

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigilancia Mineducación	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Código F-AC-DBL-007	Fecha 10-04-2012	Revisión A
Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO		Pág. i(129)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	JOSE CARLOS AGUDELO PABON, CÓDIGO: 172126		
	YENNY MARCELA BAYONA CORONEL, CÓDIGO: 172443		
FACULTAD	INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA CIVIL		
DIRECTOR	DIBREY PAOLA QUINTERO CRIADO		
TÍTULO DE LA TESIS	PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACION DE LAS REDES DE DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PELAYA, EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR.		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL PRESENTE TRABAJO DE GRADO EJECUTADO BAJO LA MODALIDAD DE INVESTIGACION, TIENE COMO OBJETIVO PRINCIPAL PROPONER LA OPTIMIZACION DE LAS REDES DE DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO EN PROCURA DE MEJORAR EL SERVICIO DEL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE PARA LOS HABITANTES DEL MUNICIPIO DE PELAYA, SIENDO ESTE DE VITAL IMPORTANCIA PARA LOS SERES HUMANOS, TENIENDO EN CUENTA QUE LA RED CON QUE ACTUALMENTE CUENTA SU SISTEMA DE ACUEDUCTO SE ENCUENTRA EN CONDICIONES OBSOLETA, RUDIMENTARIA Y PRESENTE UN SINFIN DE DIFICULTADES QUE AFECTAN SU CORRECTO FUNCIONAMIENTO.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 129	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 32	CD-ROM: 1



PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACION DE LAS REDES DE DISTRIBUCION DEL
SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PELAYA, EN
EL DEPARTAMENTO DEL CESAR.

AUTORES:

JOSE CARLOS AGUDELO PABON, CÓDIGO: 172126

YENNY MARCELA BAYONA CORONEL, CÓDIGO: 172443

Trabajo de grado presentado como requisito para Optar por el Título
De Ingeniero Civil.

DIRECTOR (A): DIBREY PAOLA QUINTERO CRIADO

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

Índice

Capítulo 1. Propuesta para la optimización de las redes de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar.	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Delimitaciones	12
1.5.1 Delimitación geográfica.	12
1.5.2 Delimitación temporal.....	15
1.5.3 Delimitación conceptual.....	16
1.5.4 Delimitación operativa.	16
Capitulo 2. Marco referencial	18
2.1 Marco teórico.	18
2.2 Marco conceptual.	37
2.3 Marco legal.....	40
Capitulo 3. Diseño metodológico.....	42
3.1 Tipos de estudios.....	43
3.1.1 Fase 1. Análisis, estudio y diagnóstico de la red de distribución.....	43
3.1.2 Fase 2. Construcción del modelo digital:.....	43
3.1.3 Fase 3. Comparación del modelo digital con lo realmente existente en la red:	43
3.1.4 Fase 4. Propuesta de optimización:.....	43
3.1.5 Fuentes de información.....	44
3.1.6 Técnicas e instrumentos de recolección de información	44
3.2 Enfoque.....	45
3.3 Población	45
3.4 Cálculos	46

Capitulo 4. Desarrollo del proyecto.....	47
4.2 Recopilar información del catastro de la red de distribución del casco urbano del municipio de Pelaya, departamento del cesar.	47
4.2.1 Trabajo de campo.....	47
4.2.2 Trabajo de oficina.....	48
4.2.3 Descripción de la red de distribución de agua potable existente.....	48
4.3 Elaborar un diagnóstico técnico-operativo de las condiciones y estructuras de las redes de distribución para identificar las fallas y oportunidades de mejora.....	56
4.3.1 Aspectos del diagnóstico técnico.....	56
4.3.2 Aspectos del diagnóstico operativo	58
4.3.3 Identificación de las problemáticas presentes en la red.....	58
4.4 Proponer alternativas de optimización técnica y/o operativa de la red de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya que satisfaga los requerimientos de la población actual y al horizonte de diseño según la normativa.....	61
4.4.1 Análisis y evaluación de alternativas de optimización de la red bajo la normativa Colombiana vigente.....	61
4.4.1.1 Proyección de la población.	61
4.4.1.2 Estudio de la demanda de agua, evaluación de la oferta hídrica y cálculo de caudales de diseño.....	66
4.4.1.3 Modelación digital.	68
4.4.1.4 Desarrollo del modelo digital contexto existente.	76
4.4.1.5 Alternativas de optimización.....	83
4.5 Seleccionar una alternativa de solución y presentar planos constructivos y/o manual de operación de la red de distribución estudiada.....	88
4.5.1 Descripción de la alternativa de mayor conveniencia para implementar en la red teniendo en cuenta aspectos técnicos, operativos y económicos.....	88
4.5.2 Producto final.....	89
Capitulo 5. Conclusiones	91
Capitulo 6. Recomendaciones	94
Referencias.....	95
Apéndices	97

Lista de tablas

Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según altura sobre nivel del mar.....	35
Tabla 2. Caudales de diseño	40
Tabla 3. Profundidades mínimas a cota clave de la tubería	44
Tabla 4. Calculo de pérdidas en tuberías.....	47
Tabla 5. Normas para el correcto tratamiento y distribución de agua potable	52
Tabla 6. Información de tanques existentes.	64
Tabla 7. Información de la tubería existente	65
Tabla 8. Porcentajes de tubería por material	66
Tabla 9. Aspectos del diagnóstico técnico	69
Tabla 10. Aspectos del diagnóstico operativo	71
Tabla 11. Asignación del nivel de complejidad de acueductos según número de habitantes	76
Tabla 12. Resultados censo poblacional 1985.....	77
Tabla 13. Resultados censo poblacional 1993.....	77
Tabla 14. Resultados censo poblacional 2005.....	77
Tabla 15. Resultados censo poblacional 2018.....	78
Tabla 16. Resultados censo poblacional.....	78
Tabla 17. Proyección poblacional al periodo de diseño	80
Tabla 18. Proyección de caudales.	83
Tabla 19. Proyección de demandas de agua y caudales finales.	83
Tabla 20. Parámetros requeridos para la modelación de la red de distribución en Epanet	88
Tabla 21. Especificaciones de las líneas de conducción.	89
Tabla 22. Topología de red extraída de Epanet.	113
Tabla 23. Información de nodos o conexiones en Epanet.	125

Lista de figuras

Figura 1. Información estadística del Censo de 2018.....	18
Figura 2. Cantidad de suscriptores activos del servicio de acueducto	19
Figura 3. Certificado de la cantidad de suscriptores de servicios públicos del municipio de Pelaya	20
Figura 4. Mapa de la ubicación del municipio de Pelaya, dentro del departamento del Cesar	24
Figura 5. Mapa del municipio de Pelaya, Cesar.....	25
Figura 6. Catastro de cobertura del sistema de acueducto de Pelaya, Cesar	26
Figura 7. Descripción del sector 1 de la red de distribución	62
Figura 8. Cantidad de suscriptores activos del servicio de acueducto	62
Figura 9. Descripción del sector 2 de la red de distribución	63
Figura 10. Red de distribución de agua potable del municipio de Pelaya	68
Figura 11. Proyección poblacional.....	81
Figura 12. Modelación en Epanet escenario existente.	90
Figura 13. Trazado de la red por diámetros en AutoCAD.	93
Figura 14. Diferencia de cotas en Epanet.	94
Figura 15. Diferencia de diámetros en Epanet.	95
Figura 16. Diferencia de coeficiente de rugosidad en Epanet	96
Figura 17. Diferencia de presiones de servicio en Epanet	96
Figura 18. Diferencia de caudales en Epanet	97
Figura 19. Diferencia de velocidades en Epanet	97
Figura 20. Rugosidad del PVC en Epanet	100
Figura 21. Presiones de servicio de la red optimizada en Epanet	101
Figura 22. Presiones de servicio de la red población futura en Epanet	102
Figura 23. Velocidades de la red pob. Futura en Epanet	103
Figura 24. Presiones en red actual y red optimizada.....	104

Resumen

El presente trabajo de grado ejecutado bajo la modalidad de investigación, tiene como objetivo principal proponer la optimización de las redes de distribución del sistema de acueducto en procura de mejorar el servicio del suministro de agua potable para los habitantes del municipio de Pelaya, siendo este de vital importancia para los seres humanos, teniendo en cuenta que la red con que actualmente cuenta su sistema de acueducto se encuentra en condiciones obsoleta, rudimentaria y presente un sinnúmero de dificultades que afectan su correcto funcionamiento.

El trabajo consiste en una propuesta para la optimización que permita establecer las condiciones de la situación actual y futura de la red de distribución del sistema de acueducto de Pelaya, Cesar, tomando como punto de partida análisis de las características generales de los elementos del sistema involucrados en el estudio, con el fin de comprender su comportamiento y funcionalidad para posteriormente determinar las deficiencias de las estructuras existentes y de esta forma realizaran sugerencias que permitan proteger y conservar dichos componentes del sistema de acueducto mejorando su funcionabilidad.

Este documento representa gran importancia, ya que sirve para la implementación de posibles soluciones a problemas evidentes en la actualidad, partiendo desde lo técnico y operativo para establecer y desarrollar mejoras significativas en la prestación del servicio de agua potable en el municipio de Pelaya, Cesar, basadas en modelos por medio de programas digitales.

Plantea la identificación de mejoras en toda la red de distribución del sistema de acueducto

actualmente en servicio, teniendo en cuenta las necesidades de la actualidad y futuro para prevenir el constante deterioro y falta de eficiencia a causa de la posible mala operación y mantenimiento del componente del sistema en estudio.

Introducción

Al momento de catalogar una red de distribución de agua potable como óptima, se enfatiza en que la misma cumple a cabalidad con las normativas y reglamentos que se encuentren actualmente vigentes a lo largo de toda su extensión. Las condiciones anteriormente mencionadas, permitirán de una u otra forma que los diseños de una red cumplan todas las condiciones hidráulicas específicas para su operación y puesta en servicio, con el fin de realizar un análisis comparativo que identifique el más económico y factible, y de esta forma tomar una decisión sobre los diseños para su posible ejecución y construcción.

Un sistema de acueducto en conjunto con todos sus componentes, tienen la importante tarea de captar y suministrar agua potable a los habitantes de una población. Sin embargo, existen muchos casos en donde dichos sistemas son obsoletos, ya sea por motivos de aumento poblacional o por ineficiencia de sus estructuras, se hace necesaria la búsqueda de alternativas cuya finalidad sea mejorar su servicio y así cumplir los objetivos para los cuales fueron diseñados cada uno de los componentes.

Este proyecto de investigación, tiene como finalidad optimizar la red de distribución de agua potable del municipio de Pelaya Cesar, atendiendo las necesidades de la población durante un periodo determinado y fijando los lineamientos y alternativas que mejoren el funcionamiento hidráulico para el componente, apoyado en modelos hidráulicos desarrollados en el software EPANET; es necesario evaluar y diseñar nuevas alternativas que puedan corregir problemas y dar soluciones al sistema.

Por dicha razón se direcciono el trabajo de grado como un proyecto que busca suplir las

necesidades de la población actual y futura, teniendo como punto fundamental la calidad, continuidad, cantidad y ajustada a la normativa vigente en todo el territorio Colombiano. Es por esto que cada capítulo de este documento se centra en la optimización de la red de distribución de agua potable de Pelaya, reflejando el desarrollo del problema sin alteraciones, con el fin de aportar mejoramiento en las condiciones de vida de cada uno de los habitantes del municipio, buscando opciones tanto técnicas como económicas que se ajusten a las condiciones que la población.

Capítulo 1. Propuesta para la optimización de las redes de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar.

1.1 Planteamiento del problema

Desde el principio de los tiempos, la humanidad en búsqueda de la supervivencia se ha visto en la necesidad de aprovechar los recursos del ambiente que lo rodean para satisfacer sus necesidades teniendo como prioridad el suministro de agua potable, ello por la importancia de este líquido en todos los procesos fundamentales para la vida y el desarrollo de la civilización tales como el consumo de agua para la alimentación, riego de cosechas, aseo personal, ganadería, entre otras; Pero, con el pasar de los años y el crecimiento poblacional acelerado se ha hecho una labor cada vez más difícil la distribución de este vital líquido.

Un sistema de acueducto o sistema de abastecimiento de agua potable es aquella estructura que es capaz de captar agua de una fuente, ya sea una quebrada o un río, y es llevada a través de tuberías con el fin de ubicarla hasta cada uno de los hogares de una población luego de un proceso de potabilización (López Cualla, 1995).

En Colombia se evidencia un considerable déficit cuantitativo y cualitativo en los sistemas de acueducto, lo que año tras año ha sido muy poco atendido. Según las cifras obtenidas en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) se encontró que más de 3 millones de personas no cuentan con el servicio de acueducto en el país, lo que equivale al 7,7% de la población con déficit cuantitativo de acueducto, y en donde se encuentra que del 92,3% de la población que posee el servicio de acueducto, el 35% de estos poseen déficit cualitativo; siendo este último valor un dato revelador de la mala calidad en la prestación del servicio y de

las deficientes estructuras existentes en los acueductos del país. (DANE, 2019).

Se le da el nombre de “Red de distribución” al conjunto de tuberías cuya función principal es suministrar de agua potable a los consumidores de una población (López Cualla, 1995). El presente proyecto pretende intervenir uno de los componentes más importantes dentro de un sistema de acueducto como lo es la red de distribución, la cual presta su servicio en el municipio de Pelaya, ubicado en el departamento del Cesar.

Actualmente, la red de distribución del acueducto del municipio en consideración no ha sido objeto de estudios, por lo que presenta deficiencias en su estructura generando malestar e inconformismo en la población respecto al servicio prestado.

La red de distribución del casco urbano del municipio de Pelaya no es ajena a los problemas en su estructura causados por múltiples razones, como lo son el crecimiento descontrolado de la población, la calidad y el deterioro de las estructuras que en su momento fueron construidas, el gran número de instalaciones informales que impactan la tubería matriz, y además la falta de inversión por parte de los organismos públicos; esto ha causado una deficiencia en el servicio de abastecimiento de agua potable.

Los habitantes del municipio de Pelaya cuentan con una red de distribución en condiciones obsoletas y rudimentaria, construida por etapas y sin ningún tipo de proyección, tampoco un cálculo adecuado en función del crecimiento poblacional; como consecuencia, se desconoce a ciencia cierta los elementos que la conforman; actualmente ni la secretaria de planeación municipal ni la empresa de servicios públicos, EMSOPEL, cuentan con documentación técnica de la red de distribución. Con el paso del tiempo se ha venido recopilando información de la red por medio de la memoria histórica de los trabajadores de la empresa, teniendo cierta

incertidumbre con la información que estos suministran, ya que no recuerdan a cabalidad la conformación de la red, la distribución de tuberías, sus diámetros, materiales que en muchos casos no cumplen con los estipulados técnicamente por la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017, sentidos de flujo, la ubicación y función de los accesorios instalados como llaves de paso y válvulas, la falta de válvulas de regulación que permitirán controlar la distribución durante reparaciones por lo que el suministro es intermitente, también el sistema es operado bajo un esquema de racionamiento por sectores, no existe ningún tipo de medición que dimensione el consumo de agua potable de los usuarios por cuanto solamente se cuenta con un micro medidor ubicado al inicio de la malla de distribución dentro del casco urbano del municipio (el cual desde hace un tiempo no funciona con normalidad), de igual forma, no se tiene en cuenta los consumos de viviendas ubicadas arriba de dicho medidor ni las pérdidas que se van efectuando a lo largo y ancho de la red. Por otra parte, el sistema se encuentra conformado por tuberías que en su mayoría son de Asbesto Cemento, estas fueron instaladas hace más de 40 años superando la vida útil que es de 25 años, trayendo como consecuencia problemas de mantenimiento, obstrucción interna de tuberías que produce una disminución en las presiones perjudicando así la calidad del servicio.

Con las necesidades actuales en el uso eficiente del recurso hídrico, muchas ciudades y municipios han presentado proyectos para el mejoramiento de sus redes de distribución basados en resultados obtenidos de programas y modelos digitales que permite optimizar el funcionamiento hidráulico de sus redes, obteniéndose una mejora considerable en los sistemas de abastecimiento. El municipio de Pelaya, no posee estudios en esta área, lo que hace prioritario comenzar a implementar este tipo de estudios en el municipio en pro del mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

El proyecto contempla dentro de sus objetivos la modelación del comportamiento hidráulico actual de la red de distribución del casco urbano del municipio de Pelaya, lo cual permitirá proponer una optimización para una mejor prestación del servicio.

Existe un sinnúmero de ocasiones donde se ha tratado de mejorar cada uno de los componentes que hacen parte de un sistema de abastecimiento de agua potable en diferentes partes del mundo, esto porque se está generando un constante crecimiento de las comunidades y dichos sistemas tienden a tornarse insuficientes en su funcionalidad. Para las redes de distribución en particular, existen varios trabajos relacionados con el tema de investigación que se presenta en este proyecto, pero no estudian en su totalidad el conjunto de objetivos planteados para esta. Por ejemplo, a nivel internacional, el trabajo de grado realizado por **Ramírez** en el año 2015 denominado **“Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora de la red de distribución de agua potable y riego del municipio de Buñol (Valencia)”**, la cual consistía en desarrollar un estudio a profundidad de la red de distribución desde el ámbito técnico e hidráulico para representar cada una de las problemáticas que se daban en dicho componente, y en base a ello, plantear unas mejoras para el correcto funcionamiento de la estructura estudiada. Dentro de las recomendaciones que hace Ramírez al término de su trabajo de investigación, se encuentra la sustitución de diferentes tramos de tuberías por unas de mayor diámetro con el fin de disminuir pérdidas dentro del sistema.

Por otra parte, dentro del esquema nacional se cuenta con investigaciones relacionadas a lo estudiado en el presente proyecto, es el caso de la **“Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable del municipio de Madrid, Cundinamarca”** propuesto por **Florián**, en el año 2017. Este realiza una evaluación de la red de distribución del sistema de acueducto del municipio de Madrid en el departamento de Cundinamarca en la cual describe el

sistema y el estado actual de las estructuras y equipos que conforman el mismo. La evaluación tiene como resultado el descubrimiento de fallas en distintos tramos de tubería y válvulas. Florián además presenta posibles soluciones de los problemas presentados en la estructura analizada.

Por último, a nivel regional o municipal no data ningún estudio similar al planteado en el presente proyecto de investigación, es decir, no existe como tal un proyecto que enmarque en su totalidad los objetivos de la presente investigación, ya que esta propone la optimización de las redes de distribución del municipio de Pelaya, así como la modelación por medio de programas digitales que permitan una evaluación certera de los aspectos fundamentales en el funcionamiento del componente en estudio.

El alcance al que se pretende llegar con la ejecución de esta tesis es realizar una propuesta de optimización de las redes de distribución de agua potable al servicio de la comunidad de Pelaya, en el departamento del Cesar; además brindar un concepto sobre el estado actual del servicio que presta la red de distribución de agua potable del mismo municipio, proponiendo un mejoramiento general del componente mediante la aplicación de medios digitales y así generar un documento con toda la información obtenida a lo largo de la investigación con sus respectivas recomendaciones técnicas para el componente en cuestión, con el propósito de que se puedan generar mejoras a las estructuras existentes que garantice un buen servicio.

1.2 Formulación del problema

¿Es necesaria la realización de una propuesta de optimización sobre la red de distribución de agua potable del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya con el fin de poder proporcionar a la comunidad un mejor servicio teniendo en cuenta que sus condiciones

actuales son precarias?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar una propuesta de optimización de las redes de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Recopilar información del catastro de la red de distribución del acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, departamento del Cesar.
- Elaborar un diagnóstico técnico-operativo de las condiciones y estructuras de las redes de distribución para identificar las fallas y oportunidades de mejora.
- Proponer alternativas de optimización técnica y/o operativa de la red de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya que satisfaga los requerimientos de la población actual y el horizonte de diseño según la normativa vigente.
- Seleccionar una alternativa de solución y presentar planos constructivos y/o manual de operación de la red de distribución estudiada.

1.4 Justificación

En el actual desarrollo de la humanidad se ha establecido que con una buena calidad en la cobertura de los servicios públicos se evidencian parte de los cimientos para construir una sociedad más equitativa y solidaria. Es por ello que el presente estudio es de gran importancia,

puesto que el recurso hídrico es considerado como un elemento primordial para la existencia humana. El mayor problema del siglo XXI es el de la calidad y la gestión del agua, ya sea que se trate de temas de salud o de saneamiento de la misma. Por lo anterior se hace necesario desarrollar estrategias de gestión de agua a nivel nacional, regional y local con el fin de favorecer un acceso equitativo, un abastecimiento adecuado y de buena calidad del agua.

El medio de transporte por excelencia del agua potable se le denomina sistema de acueducto, se define como el conducto artificial que tiene como objeto trasladar el agua para el consumo humano desde una fuente de abastecimiento hasta cada uno de los hogares de una comunidad luego de haber sido sometida a procesos industriales que la convierten en apta para el consumo y uso de los habitantes (Florián, 2017).

El servicio de acueducto que existe actualmente en el municipio de Pelaya funciona por gravedad, el cual toma los líquidos de la quebrada Singararé. Este servicio es suministrado por la Empresa de Servicios Públicos de Pelaya, EMSOPEL, a dicha empresa se encuentran afiliados en la actualidad 3982 usuarios y el servicio es cobrado mediante tarifas fijas planteadas por la estratificación socioeconómica que corresponde con una cobertura de un poco más del 90% del casco urbano. La empresa utiliza la fuente de captación, la red de aducción, desarenador, red de conducción, sistemas de tratamiento, tanques de almacenamiento y red de distribución de forma inapropiada, desconociendo las restricciones que para tal efecto ha planteado la ley, por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua, y se expiden normas técnicas de calidad de agua potable, entre otras; originando problemas ambientales que afectan la salud y calidad de vida de los habitantes de la población que vulneran derechos constitucionales, tales como la vida, el derecho a un ambiente sano, entre otros que ameritan la importancia de este proyecto. El municipio de Pelaya cuenta actualmente en su casco urbano con 12.361 habitantes

y solo 10.140 cuentan con el servicio de acueducto, es decir, la cobertura del sistema está en aproximadamente el 81%, como se ilustra a continuación. .

Departamentos y municipios		Total			Cabecera			Resto		
		Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Pelaya		18.243	9.486	8.757	12.361	5.933	6.428	5.882	3.553	2.329

Figura 1. Información estadística del Censo de 2018. Fuente: DANE, 2019.

Uso / Estrato	Totales por Servicio										Total por Estrato
	Acueducto	Alcantarillado	Barrido y LL	R. y Transporte	T. Disposición	Tramo Excsd.	C. y Recaudo	Carg. Variable	Otros	Estrato	
Uso : 01 - Residencial											
01 - BAJO BAJO E1	3,361	2,971	0	0	0	0	0	0	0	0	3,388
02 - BAJO E2	430	425	0	0	0	0	0	0	0	0	433
03 - MEDIO BAJO E3	23	22	0	0	0	0	0	0	0	0	23
Total Uso : 01 - Residencial	3,814	3,418	0	0	0	0	0	0	0	0	3,844
Uso : 02 - Comercial											
00 - CATEGORIA UNICA	138	122	0	0	0	0	0	0	0	0	141
Total Uso : 02 - Comercial	138	122	0	0	0	0	0	0	0	0	141
Uso : 03 - Oficial											
00 - CATEGORIA UNICA	23	21	0	0	0	0	0	0	0	0	24
Total Uso : 03 - Oficial	23	21	0	0	0	0	0	0	0	0	24
Uso : 04 - Industrial											
00 - CATEGORIA UNICA	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Total Uso : 04 - Industrial	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Uso : 08 - Suspensión Mutuo Acuerdo											
00 - CATEGORIA UNICA	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Total Uso : 08 - Suspensión Mutuo Acuerdo	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Totales:	3,982	3,565	0	0	0	0	0	0	0	0	4,018

Figura 2. Cantidad de suscriptores activos del servicio de acueducto. Fuente: (EMSOPEL).

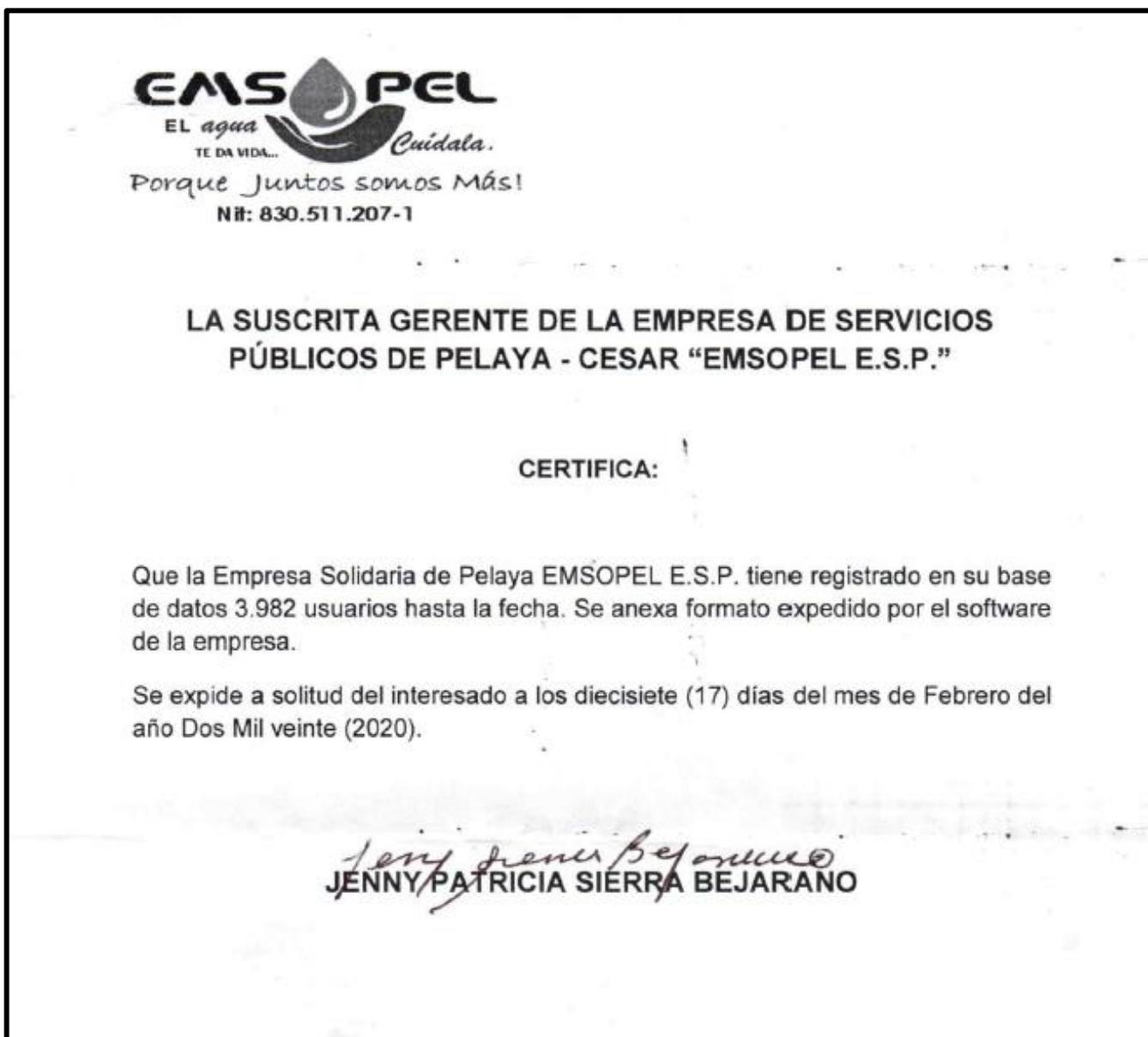


Figura 3. Certificado de la cantidad de suscriptores de servicios públicos del municipio de Pelaya. Fuente: Gerencia de EMSOPEL.

Es prioritario que las empresas prestadoras de servicios públicos comprendan que los usuarios son la razón de ser de su existencia y cambien la concepción subjetiva que tienen del mismo, puesto que el usuario es visto por ellos como la persona que con su presencia entorpece el trabajo, desconociendo de ese modo su condición de desventaja manifiesta en el momento que

se requiere su atención.

El presente trabajo tiene como finalidad el estudio en detalle de la red de distribución que opera en el casco urbano del municipio de Pelaya, el cual contemplara un diagnóstico técnico y operativo detallado de las condiciones que actualmente se presentan en dicho componente, adaptado a criterios de ingeniería, a la normativa actualmente vigente (Resolución 0330 del 8 de junio de 2017) y así mismo a las características demográficas del municipio Pelaya, específicamente en el área de servicio de acueducto.

Actualmente, la red de distribución de agua potable está conformada por tuberías en PVC y Asbesto Cemento, las cuales han sido sometidas a una serie de ampliaciones conforme a cómo va creciendo poblacionalmente la comunidad desde su inauguración. EMSOPEL no dispone de registros históricos de las ampliaciones realizadas en la red, sin embargo, para documentarse sobre dichas ampliaciones se ha usado como referencia los planos empleados por la Alcaldía Municipal para delimitar la zona urbana del municipio durante los años 1990, 2001, 2010 y 2017, en los que se observa las zonas de expansión y tipos de uso de suelo (Planeación Municipal, 2019).

Se pretende contemplar dentro de los estudios a realizar, la favorabilidad de llevar a cabo la reposición de las tuberías fabricadas en materiales que restringe la norma como lo es el Asbesto Cemento, ya que las nuevas disposiciones legales están obligando a realizar este tipo de cambios.

El municipio de Pelaya, consciente de la necesidad de manejar en buena medida el agua, requiere un análisis del funcionamiento de sus estructuras hidráulicas con el fin de tomar decisiones que conlleven al mejoramiento de la prestación del servicio de acueducto. Teniendo

en cuenta estas necesidades se utilizaran las ventajas de los programas digitales de modelación hidráulica para conocer el funcionamiento actual de la red de distribución y con los resultados obtenidos presentar una propuesta de mejoramiento.

“Los modelos digitales para el análisis y diseño de redes de distribución de agua, han existido desde hace varias décadas. Durante este tiempo muchos avances se han hecho en la sofisticación de los mismos y sus aplicaciones” (Ormsbee y Lingireddy, 1997), por la facilidad y uso de la tecnología se trabajara con el programa EPANET 2.0. La validez de los resultados obtenidos dependerá en gran medida de la precisión de los datos ingresados al programa.

Ante los precedentes anteriormente mencionados, surge la iniciativa de elaborar este proyecto de investigación que lleva por título **“Propuesta para la optimización de las redes de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar”** como un aporte a la población ofreciendo ideas innovadoras que logren una mejor calidad de vida a los habitantes acorde a las necesidades de los mismos con el fin de generar desarrollo en la población.

El presente trabajo de investigación es de gran importancia, ya que pretende plantear una serie de ideas que al ser ejecutadas podrían garantizar un mejoramiento en la prestación del servicio de agua potable en el municipio de Pelaya. El proyecto servirá como representación esquematizada de los tramos de tubería y su respectivo funcionamiento, así como de válvulas o cualquier tipo de dispositivo que mejore en gran medida el servicio de la red de distribución. Un buen funcionamiento del sistema de agua potable beneficiara a todos los usuarios brindando bienestar, higiene y confort de manera continua e ininterrumpida. Finalmente, desde el punto de vista académico, esta investigación proporcionara a los estudiantes de la Universidad Francisco

de Paula Santander Ocaña y posiblemente demás instituciones de estudio con la misma finalidad, una herramienta para plantear mejoras en un sistema de distribución de agua potable, basándose y cumpliendo lo establecido en la Resolución 0330 del 8 de junio del 2017, norma actualmente vigente dentro del territorio Colombiano. Así mismo, servirá de apoyo para la búsqueda de información y referencias para la línea de investigación estudiada del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación geográfica. La zona de estudio y desarrollo del proyecto será el casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar.

Límites del municipio: Pelaya limita al norte con el municipio de Pailitas, por el sur con La gloria, al oeste con Tamalameque y al este con el departamento de Norte de Santander. Tiene una expansión total de 371.3 km² y se encuentra a una altura aproximada de 70 metros sobre el nivel del mar. La temperatura promedio que se presenta en la localidad es de 30°C.



Figura 4. Mapa de la ubicación del municipio de Pelaya, dentro del departamento del Cesar. Fuente: (www.google.com/maps/pelaya).



Figura 5. Mapa del municipio de Pelaya, Cesar. Fuente: (www.google.com/maps/pelaya).

Teniendo en cuenta que los habitantes del municipio de Pelaya no cuentan en su totalidad con el servicio de acueducto, es decir, la red de distribución no cubre el 100% del área que ocupa el casco urbano de la población, la investigación se limitara a estudiar la cobertura total donde se presta el servicio de la red de distribución del sistema de acueducto municipal. A continuación, se representa el catastro de cobertura de la red de distribución en estudio.

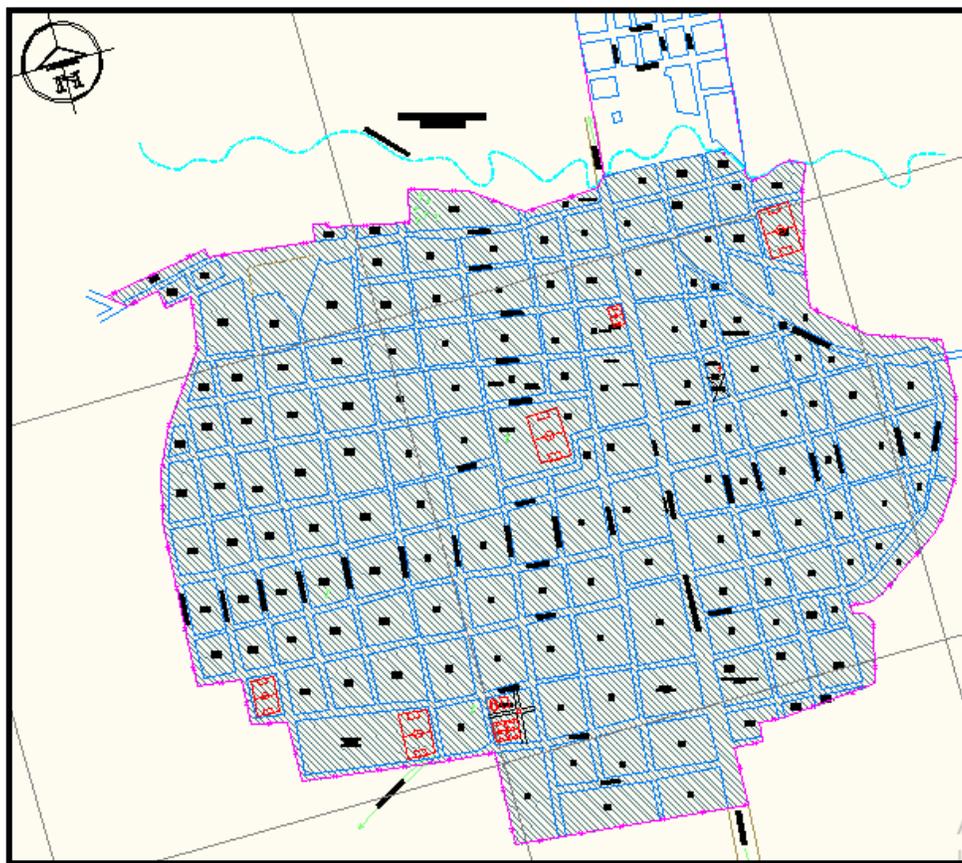


Figura 6. Catastro de cobertura del sistema de acueducto de Pelaya, Cesar. Fuente: (www.google.com/maps/pelaya).

1.5.2 Delimitación temporal. El tiempo estimado para el desarrollo de los objetivos planteados en la presente investigación será de 9 meses aproximadamente, los cuales están comprendidos entre diciembre del año inmediatamente anterior y agosto del año en curso; durante todo el tiempo que ya ha transcurrido se ha venido adelantando todo lo concerniente a procesos logísticos e informativos que hacen parte de la investigación.

1.5.3 Delimitación conceptual. Los conceptos más relevantes a comprender en la temática del presente trabajo son: Línea de investigación de abastecimiento de agua potable, optimización de sistemas de acueducto, impactos negativos en el diseño de acueductos cuando no se cuentan con estudios previos necesarios para la ejecución y operación de los mismos, Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Resolución 0330 de 2017, redes de distribución, presiones de agua, abastecimiento a poblaciones futuras, entre otras.

1.5.4 Delimitación operativa. Toda la información obtenida de la red de distribución en estudio, será recolectada por medio de formatos que ayuden a recopilar la mayor cantidad de datos, características y condiciones presentes que se puedan detectar y analizar. Posteriormente se realizarán cálculos ingenieriles para determinar capacidades y especificaciones presentes y necesarias para el buen funcionamiento del componente estudiado, de esta manera se podrá determinar la forma más adecuada de optimizar o darle mejor uso a la red de distribución que opera en el casco urbano del municipio de Pelaya.

Además, se tiene previsto el uso de las tecnologías, más específicamente un software para determinar el comportamiento actual que está presentando la red de distribución, así como también modelar el sistema para que este funcione de manera óptima realizando algunas modificaciones.

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán herramientas que muy posiblemente sean de difícil acceso para los autores, sin embargo, se hará el mayor esfuerzo para cumplir a cabalidad los objetivos propuestos en el proyecto y obtener resultados acertados. El municipio de Pelaya consciente de la necesidad de manejar en buena medida el agua, requiere un análisis del funcionamiento de sus estructuras hidráulicas con el fin de tomar decisiones que conlleven al

mejoramiento de la prestación del servicio de acueducto. Teniendo en cuenta estas necesidades se utilizarán las ventajas de los programas digitales de modelación hidráulica para conocer el funcionamiento actual de la red de distribución y con los resultados obtenidos presentar una propuesta de mejoramiento.

La principal limitación que tiene el presente trabajo de investigación es la falta de información, ya que el sistema de acueducto del municipio de Pelaya en general no cuenta con un documento técnico que represente las características del mismo, tampoco con un registro continuo de caudales presentes dentro del sistema, planos de las diferentes estructuras existentes y mucho menos manuales para la operación de los mismos.

Capítulo 2. Marco referencial

A continuación se define el marco teórico, en donde se representara el procedimiento y algunas teorías que sirvieron de apoyo para el desarrollo del presente proyecto de investigación. Por otra parte, es incluido un marco conceptual, en este se presentara la información general de todo el proyecto.

2.1 Marco teórico.

El proyecto **“Propuesta para la optimización de las redes de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar”** tiene como premisa fundamental todo lo dispuesto y relacionado legalmente en la **Resolución 0330 del 8 de junio del 2017**, teniendo en cuenta que es la norma vigente que contempla todas los criterios básicos, requisitos mínimos , valores específicos y límites que deben tenerse en cuenta en los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento de todos y cada uno de los componentes que hacen parte de los sistemas de acueducto que se ejecuten dentro de la Republica de Colombia, de los cuales se espera que garanticen seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad técnica, eficiencia de operación, sostenibilidad y redundancia. Por otra parte, el **Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS**, también contempla documentación importante que sirve de apoyo para el desarrollo de la investigación.

A continuación, se hará una breve descripción de los elementos básicos que se deberán tener en cuenta durante el desarrollo del presente proyecto de investigación, tomando como base

la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017 y el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS; de esta última se tomara como base el titulo B.

Teniendo en cuenta que todo lo dispuesto en las normas anteriormente mencionadas hacen parte de un detalle general sobre los sistemas de acueducto en Colombia, se tendrá en cuenta todo lo referente a la temática objeto de esta investigación, es decir, la articulación expuesta para los componentes de los sistemas que no tengan nada que ver con la red de distribución no se traerán a cuestión, ya que no se utilizara o se tendrá en cuenta dicha información.

Toda acción relacionada con el diseño, construcción, operación, mantenimiento y/o supervisión técnica de cualquier tipo de sistema de acueducto en cada uno de sus componentes, debe seguir un procedimiento general, a continuación se presentaran los pasos que necesariamente se deben ejecutar a la hora de conceptualizar y planificar un proyecto que tenga como componente principal el estudio de una red de distribución de agua potable (RAS, 2000).

1. Se debe representar un diagnostico detallado de la situación del municipio: Se deben describir las condiciones físicas, económicas y sociales del municipio en estudio y del área objeto de la intervención. Además se presenta un estado general de la prestación de los servicios públicos, en relación con la cobertura, continuidad, eficiencia y calidad.

2. Descripción de la población afectada: En este paso se determina la población objeto o beneficiada con la ejecución del proyecto en la actualidad, así como también, la población que se presume será la calculada en un periodo de tiempo determinado.

3. Características socio-culturales de la población y participación: En este ítem, deberá incluirse características específicas como condiciones especiales de la población, distribución

espacial, estratificación, densidad poblacional y el crecimiento de la población esperado, niveles de ingreso y actividades económicas predominantes.

4. Cuantificación de la demanda y/o necesidades: Se deben revisar las demandas actuales y futuras del sistema conforme al EOT (Esquema de Ordenamiento Territorial) o alguna herramienta de planeación, con el objetivo de estimar la capacidad necesaria de las obras existentes y las posibles mejoras que se puedan plantear con el fin de mejorar el componente.

5. Diagnóstico y evaluación del sistema existente: Es necesario evaluar el componente objeto del proyecto con el fin de obtener la mayor información posible a cerca de su funcionamiento general, la capacidad máxima real, la condición tecnológica, la eficiencia y los criterios operacionales del mismo, con el fin de hacer un diagnóstico sobre la posibilidad de mejorar los niveles de eficiencia en la red de distribución estudiada. En este apartado, se tienen en cuenta 3 pasos fundamentales: 1. La recolección y análisis de información. 2. Análisis del sistema existente o componente en particular. 3. Formulación del plan de rehabilitación.

Es necesario conocer los requisitos, parámetros y procedimientos técnicos mínimos que obligatoriamente deben reunir los diferentes procesos involucrados en la planeación, diseño, construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento de cada uno de los componentes de un sistema de acueducto, cuya finalidad es que garanticen su estabilidad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia. .

Periodo de diseño: es el tiempo durante el cual un sistema de acueducto o cada uno de sus componentes va a prestar un servicio eficiente a la población. En el presente proyecto se adopta un periodo de 25 años. El factor principal para adoptar dicho periodo se resume en que es el que exige la norma actualmente vigente en todo el territorio Colombiano.

Proyección de la población: Para este proyecto de investigación, la estimación de la proyección de la población se realizara teniendo en cuenta los datos establecidos por el DANE y la oficina del SISBEN en la Alcaldía Municipal de Pelaya, tanto para la definición del nivel de complejidad como para la proyección poblacional.

Para llevar a cabo la proyección de la población objeto del estudio, se deben tener en cuenta las proyecciones de DANE, las cuales se encuentran en la página oficial del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, DANE, hasta el año en que estas se encuentren disponibles.

Los métodos de cálculo o modelos matemáticos que se emplearan para esta investigación con el fin de obtener la proyección de la población serán el método aritmético, geométrico y exponencial.

El *método aritmético* supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y migración (RAS, 2000). La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} * (Tf - Tuc) \quad (1)$$

Dónde:

Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tci = Año correspondiente al censo inicial con la información.

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

El *método geométrico* es útil en poblaciones que muestran una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades (RAS, 2000). La ecuación que se emplea para este método se expresa a continuación:

$$Pf = Puc * (1 + r)^{Tf - Tuc} \quad (2)$$

Dónde:

r = Tasa de crecimiento anual en forma decimal

Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} \right)^{\frac{1}{(Tuc - Tci)}} - 1 \quad (3)$$

El *método exponencial* requiere conocer por lo menos 3 censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, en donde el último censo corresponde a la proyección del DANE. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión (RAS, 2000). La ecuación empleada para este método se presenta a continuación:

$$Pf = Pci * e^{k*(Tf - Tci)} \quad (4)$$

Dónde: k es la tasa de crecimiento de la población, la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca} \quad (5)$$

Dónde:

Pcp = Población del censo posterior (proyección del DANE)

Pca = Población del censo anterior (habitantes).

Tcp = Año correspondiente al censo posterior.

Tca = Año correspondiente al censo anterior.

ln = logaritmo natural o neperiano.

Dotación neta: esta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, dependiendo de la forma de proyección de la demanda

de agua, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto (RAS, 2000).

Teniendo en cuenta que para la presente investigación no se cuenta con datos históricos sobre consumos de agua potable por cada habitante, se utilizaran la dotación por habitante establecida en la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017 según la altura sobre el nivel del mar de la zona de estudio. Los valores de dotación neta máxima se pueden ver a continuación.

Tabla 1.

Dotación neta máxima por habitante según altura sobre nivel del mar

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACION NETA MAXIMA (L/HAB*Dia)
> 2000 m.s.n.m.	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m.	140

Fuente: Resolución 0330 de 8 de junio de 2017.

Dotación bruta: de acuerdo con la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017, la dotación bruta para el diseño de cada uno de los elementos que conforman un sistema de acueducto, indistintamente del nivel de complejidad, se debe calcular teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1-\%p} \quad (6)$$

Dónde:

d_{bruta} = dotación bruta.

d_{neta} = dotación neta.

$\%p$ = pérdidas máximas admisibles.

Nota: El porcentaje de pérdidas técnicas máximas en la ecuación anterior engloba el total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema y no deberá superar el 25%.

Para obtener los valores de caudales en el diseño de un sistema de acueducto o cada uno de sus componentes, existen dos formas que dan como resultado la proyección de la demanda de agua; una utiliza como variable principal el número de suscriptores proyectados al horizonte de diseño del sistema en cuestión, y la otra, utiliza el número de habitantes proyectados a un periodo de diseño teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Para el desarrollo de la presente investigación, se ejecutara la proyección de la demanda de agua utilizando las ecuaciones de caudales que tienen como variable principal la población proyectada.

Caudal medio diario: o también llamado Q_{md} , es el caudal calculado para la población proyectada, el cual tiene en cuenta la dotación bruta obtenida. Corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal en un periodo de un año (RAS, 2000). El caudal medio diario o Q_{md} debe calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{p * d_{bruta}}{86400} \quad (7)$$

Para este caso, la variable **p** representa el número de habitantes proyectado a un periodo de diseño y la dotación bruta en unidades de L/hab*día.

Para los cálculos que se pretende ejecutar a continuación, es necesario utilizar los coeficientes de consumo k_1 y k_2 como factores de mayoración; k_1 , se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un periodo mínimo de un año. k_2 , Se obtiene de la relación entre el caudal máximo horario Q_{MH} y el caudal máximo diario Q_{MD} registrados durante un periodo mínimo de un año, sin incluir los

días en que ocurren fallas relevantes en el servicio. Para este caso en particular, existe una condición excepcional, y trata de que los datos requeridos no están disponibles, es decir, el sistema estudiado no cuenta con información histórica sobre los consumos registrados, de tal forma, los coeficientes de diseño k_1 y k_2 se tomarán de la resolución 0330 del 8 de junio del 2017, donde se expone que de acuerdo a la población proyectada estos coeficientes no podrán superar unos valores máximos y que para el desarrollo de la investigación como datos de entrada para el diseño se usarán valores pico de ambos coeficientes; la resolución citada en el párrafo anterior expresa textualmente lo siguiente:

“Para poblaciones menores o iguales de 12.500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor k_1 será superior a 1,3, ni el factor k_2 superior a 1,6. Para poblaciones mayores a 12.500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor k_1 será superior a 1,2, ni el factor k_2 superior a 1,5” (Res. 0330, 2017).

Caudal máximo diario: o también llamado Q_{MD} , corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un periodo de un año. Se obtiene multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , según sea el caso:

$$Q_{MD} = Q_{md} * k_1 \quad (8)$$

Dónde:

Q_{MD} = caudal máximo diario.

Q_{md} = caudal medio diario.

k_1 = coeficiente de consumo diario.

Caudal máximo horario: o también llamado Q_{MH} , corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año sin tener en cuenta el caudal de incendios. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k_2 , según sea el caso (RAS, 2000):

$$Q_{MH} = Q_{MD} * k_2 \quad (9)$$

Dónde:

Q_{MH} = caudal máximo horario.

Q_{MD} = caudal máximo diario.

k_2 = coeficiente de consumo máximo horario.

Dentro de la evaluación de las dotaciones netas o consumos de agua para el diseño de cada uno de los componentes del sistema de acueducto de una población, se deben tener en cuenta los usos de agua que existan en el mismo, tales como residencial, comercial, industrial, institucional, fines públicos, escuelas y usos en zonas rurales anexas al municipio; todos ellos deben ser considerados en las dotaciones o caudales y en las demandas de agua, tanto actuales como proyectadas. Teniendo en cuenta que los consumos totales de uso residencial dentro del sistema de acueducto del municipio de Pelaya representan más del 90% del consumo total de agua potable, el cálculo de agua se realizara teniendo en cuenta únicamente la dotación neta residencial sumándole a esta un porcentaje que tenga en cuenta los otros uso en forma agrupada según los datos de consumo existentes.

También se deben incluir las fugas en tuberías y accesorios, así como también en cada una

de las estructuras de un sistema de acueducto, como reboses en tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento, etc. Para establecer el porcentaje de pérdidas físicas deben tenerse en cuenta los datos registrados disponibles en el municipio sobre pérdidas de agua en el sistema de acueducto desde las plantas potabilizadora, incluidos los consumos requeridos para las operaciones en la red de distribución. Para este caso en particular, se tendrá en cuenta un porcentaje de pérdidas en el sistema de máximo el 10% del caudal máximo diario, Q_{MD} .

Para efectos del presente proyecto de investigación, teniendo en cuenta que la complejidad del sistema en cuestión es nivel medio, se opta por no considerar una demanda de caudal contra incendios, es decir, la protección contra incendios en el municipio de Pelaya se considera innecesaria.

Según la resolución 0330 del 2017, los caudales de diseño para el estudio de cada uno de los componentes de un sistema de acueducto, según las variaciones diarias y horarias que puedan presentarse, se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 2.

Caudales de diseño

COMPONENTE	CAUDAL DE DISEÑO
Captación fuente superficial	Hasta 2 veces QMD
Captación fuente subterránea	QMD
Desarenador	QMD
Aducción	QMD
Conducción	QMD
Tanque	QMD
Red de distribución	QMH

Fuente: Artículo 47, Res. 0330 del 8 de junio de 2017

De la anterior tabla, se puede establecer que el caudal de diseño a emplear en la mayor

parte del desarrollo del proyecto es el caudal máximo horario, QMH, ya que el componente principal a estudiar es la red de distribución del municipio de Pelaya en el departamento del Cesar.

Las redes de distribución son el conjunto de tuberías destinadas al suministro en ruta de agua potable a las viviendas y demás establecimientos municipales, públicos y privados. Estas redes tienen como inicio los tanques de almacenamiento e incluyen además de las tuberías, los nodos, válvulas de control, válvulas reguladoras de presión, ventosas, hidrantes, acometidas domiciliarias y todos los demás accesorios y estructuras complementarias necesarias para la correcta operación del sistema.

Se hace necesaria la inclusión de estudios previos, condiciones generales, parámetros de diseño, aspectos de la puesta en marcha, aspectos operacionales y aspectos del mantenimiento de todas y cada una de las estructuras y accesorios que conforman la red de distribución. Existen disposiciones que tienen como objetivo conseguir la durabilidad, la seguridad, la economía, y la correcta prestación del servicio con respecto a las condiciones de uso requeridas para cada uno de los casos que se presenten en el desarrollo, teniendo en cuenta los objetivos de saneamiento e higiene perseguidos para atender una población.

Para la ejecución de proyectos de sistemas de acueducto o componentes del mismo, se debe realizar una concepción del mismo, donde se definen los criterios técnicos y económicos que permiten comparar todas las alternativas posibles para la red de distribución de un municipio, a partir de datos de campo, geológicos, urbanísticos, demográficos y de consumo de la población que se va a abastecer. Algunos de los requisitos principales que se deben cumplir a cabalidad en los sistemas de distribución o redes de distribución son los siguientes:

- Suministrar agua potable a todos los usuarios en la cantidad y calidad necesarias y exigidas por la legislación pertinente y vigente en la actualidad.
- Proveer agua para todos los tipos de usos, tales como fuentes, servicios públicos, entre otros.

Para el caso de estudio, se deben identificar las principales obras de infraestructura construidas dentro de la zona de influencia de la red de distribución objeto de estudio, tales como calles, avenidas, puentes, vías de transporte masivos y ferrocarriles, líneas de transmisión de energía eléctrica, sistemas de alcantarillado y en general cualquier tipo de obra existente de infraestructura de importancia. Dentro del análisis de la infraestructura existente, se debe incluir un estudio sobre el sistema de las redes de distribución, en el cual se establezca tanto el catastro de tuberías y accesorios como el estado estructural actual de las tuberías y su forma de operación hidráulica.

El respectivo dimensionamiento de una red de distribución debe justificarse con estudios económicos comparativos, los cuales permitan determinar el diámetro óptimo de cada una de las tuberías que harán parte de la red, que se encuentren dentro de los requisitos permisibles por la norma vigente, las etapas de construcción y la viabilidad económica financiera del proyecto. La distribución espacial de la demanda se calculara teniendo en cuenta el esquema de ordenamiento territorial del municipio.

Todas las redes de distribución de un sistema de acueducto, deben contar con un modelo hidráulico, a través del cual se pueda predecir el comportamiento frente a diferentes condiciones operativas, de mantenimiento o de expansión. Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La modelación debe realizarse en periodo extendido, con frecuencia horaria, incorporando en los nodos los parámetros de consumo medidos en campo. Para el presente proyecto, como se tienen condiciones excepcionales debido a información requerida no se encuentra disponible, se justificara la selección de los patrones a emplear dentro de la modelación.
2. El programa que se emplee para la modelación hidráulica debe incorporar el método del gradiente para sus respectivos cálculos. En este caso específico, el software a emplear es llamado EPANET 2.0.
3. Todos los modelos hidráulicos deben estar calibrados y validados con base en las series disponibles de presión, caudal y niveles de tanques.
4. La validación de los modelos hidráulicos, es necesario realizarlos con una frecuencia mínima de cinco años, o cada vez que se realice un cambio que afecte significativamente las condiciones operativas del componente.
5. El diseño de la red debe contemplar los sitios de salida para mediciones piezometricas, de caudal y puntos de muestreo en red de distribución.
6. Se deberá implementar un escenario de modelación que contemple la operación de la red de distribución bajo la premisa de contingencia por incendio; para este estudio no se tendrá en cuenta este numeral, ya que el cálculo del caudal de incendios será omitido.

Todas las redes de un sistema de distribución de agua potable deben estar sectorizadas, con el fin de lograr la racionalización del servicio. El diseño de la sectorización debe estar

basado en los resultados obtenidos en la modelación hidráulica. Por medio de la sectorización del servicio de la red de distribución se buscan los siguientes objetivos:

- Controlar en su mayoría las pérdidas de agua.
- Controlar en su mayoría las fugas en zonas de presión.
- Controlar en su mayoría la presión en las diferentes zonas de la red.
- Facilitar labores de mantenimiento preventivo.
- Facilitar labores de mantenimiento correctivo.
- Facilitar la reparación de daños.
- Optimizar la operación del servicio.
- Prever la concesión de la operación de la red a diferentes personas prestadoras del servicio.

Todos los sectores hidráulicos definidos deben contar con equipos de medición de caudal en todas las entradas, así como en todas las salidas hacia otros sectores.

Las profundidades máximas y mínimas para la instalación de tuberías enterradas en las redes de distribución no deben exceder de 1,5 metros medidos desde la clave de la tubería hasta el nivel superficial del terreno. También se deben tener en cuenta profundidades mínimas de instalación, las cuales se definen según la servidumbre y la zona de implementación; en la tabla ilustrada a continuación, se representan las profundidades mínimas de instalación según la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017.

Tabla 3.*Profundidades mínimas a cota clave de la tubería*

SERVIDUMBRE	PROFUNDIDAD A LA CLAVE DE LA TUBERIA (Metros)	
	Zona Urbana	Zona Rural
Vías peatonales o zonas verdes o agrícolas	0,60	1,00
Vías vehiculares	1,00	1,00

Fuente: Res. 0330 del 8 de junio de 2017

De ninguna manera se deben modificar las profundidades mínimas permitidas por la norma en vigencia, únicamente se puede establecer una profundidad diferente presentando un estudio detallado que justifique la profundidad adoptada, así como el comportamiento estructural de la tubería a emplear.

El diámetro mínimo de tuberías en las redes de distribución no deberá ser inferior a 75mm en sectores urbanos, mientras que para sectores rurales no deberá ser inferior a 50mm. Es necesario realizar los cálculos que permitan garantizar que, con el diámetro interno real de la tubería seleccionada, se cumplan las condiciones mínimas establecidas (Res. 0330, 2017).

Dentro de las redes de distribución existen elementos fundamentales que contribuyen en la funcionalidad del sistema, algunos de estos son:

- Válvulas de corte o cierre en la red de distribución.
- Válvulas reguladoras de presión.
- Válvulas de ventosa.
- Válvulas de purga.

- Cajas de válvula.

En todos los sistemas se deben instalar instrumentos de medición en las tuberías y respetando las condiciones de instalación del tipo de medidor, que permitan la lectura y/o captura y almacenamiento de datos. Dentro de la red de distribución, se requiere como mínimo obtener la medición de caudales y presión en la entrada de los sectores hidráulicos. Dentro de la red de distribución se debe contar con equipos que tengan la capacidad de tomar y almacenar mínimo 50.000 datos de presión al mes.

La herramienta digital de modelación EPANET, está diseñado para definir el movimiento y el destino de agua dentro de una red de distribución, es decir, se puede saber el comportamiento de la misma, no tiene límite del tamaño de la red, calcula las pérdidas por fricción en la conducción mediante expresiones de Hasen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning, este modela el comportamiento de una sustancia química tanto si aumenta o disminuye su concentración a lo largo del tiempo. El programa arroja resultados de cálculo hidráulico en estado cuasi estáticos.

La modelación hidráulica dentro de EPANET debe contemplar la información planimétrica y altimétrica de la zona objeto de estudio. Es recomendable que dicha información provenga del sistema de información geográfica existente en la empresa prestadora de servicios públicos. El diseño debe tener en cuenta la información de caudales de consumo, la proyección de demanda, las curva de consumo de agua potable a lo largo del día, etc., que existan en las bases de datos de la empresa prestadora del servicio.

“EPANET modeliza una red de distribución de agua como una serie de líneas conectadas a nudos. Las líneas representan tuberías (pipes), bombas (pumps) y válvulas de control (valves).

Los nodos representan conexiones (junctions), tanques (tanks) y depósitos (reservoirs)”. (Epanet, 2006).

Las conexiones también llamadas nudos, son los puntos por donde se unen las líneas, normalmente tiene cota, demanda y calidad de agua inicial, los resultados que se obtienen de las conexiones son la presión, altura piezométrica y calidad de agua. Es importante, a la hora de realizar el dibujo de la red, verificar que los nudos estén en balance, ya que de lo contrario este no podrá calcular.

Los tanques son nudos con capacidad de almacenamiento, donde el volumen varía a lo largo del tiempo de simulación. Los datos que se le suministran al tanque son cota, diámetro, valores iniciales máximos y mínimos del nivel de agua y calidad del agua inicial.

Las tuberías con las líneas que llevan el agua de un punto a otro de la red. EPANET, asume que todas las tuberías se encuentran completamente llenas en todo momento, los datos principales de las tuberías son nudo de entrada y salida, diámetro, longitud, coeficiente de rugosidad dependiendo si se trabaja con el método de Hazen-Williams, método de Darcy Weisbach o método de Chezy-Manning, y el estado de las tuberías (abierta, cerrada, retención). En la tubería se tiene el caudal, velocidad en los diferentes tramos, pérdidas y factor de fricción.

En la tabla que se presenta a continuación, se representan las fórmulas que EPANET maneja para la ejecución de sus cálculos según sea el método de preferencia del operador, para el desarrollo del proyecto en cuestión se dará uso al método expuesto por Darcy-Weisbach.

Tabla 4.*Calculo de pérdidas en tuberías.*

Formula	Coefficiente de Resistencia (A)	Exponente de caudal (B)
Hazen-Williams	$4.727 C^{-1.852} d^{-4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0252 f(E, d, q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$4.66 n^2 d^{-5.33} L$	2

Fuente: EPANET, 2006

Dónde:

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams.

E: Coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (ft).

f: Factor de fricción (este depende de E, d y q).

n: coeficiente de rugosidad de Manning.

d: Diámetro de la tubería (ft).

L: Longitud de la tubería (ft).

q: Caudal (cfs).

2.2 Marco conceptual.

Accesorios: elementos componentes de un sistema de tuberías, diferentes de las tuberías en sí, tales como uniones, codos, tees, etc (RAS 2000).

Acometida: derivación de la red local del servicio de acueducto que llega hasta el registro de corte de un inmueble o vivienda. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general (ley 142 de 1994) (RAS 2000).

Agua potable: es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el decreto 1575 de 2007 y demás normas que la reglamenten, es apta para el consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal (RAS 2000).

Altimetría: rama de la topografía, que tiene por objeto el estudiar y determinar las diferencias de niveles de un terreno y las formas del mismo (morfología) (Española 2017).

Calibración: ajustar, con la mayor exactitud posible, las indicaciones de un instrumento de medida con respecto a un patrón de referencia (Española 2017).

Calidad del agua: es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia (RAS 2000).

Casco urbano: hace referencia al suelo cuyo uso es urbano de un municipio o ciudad (ABC 2017).

Catastro de red: sistema de registro y archivo de información técnica estandarizada y

relacionada con todos los detalles técnicos de ubicación de tuberías, diámetros, válvulas, hidrantes y todo tipo de accesorio de la red (RAS 2000).

Caudal: cantidad de fluido (volumen) que pasa por determinado elemento en una unidad de tiempo (RAE 2019).

Cota clave: nivel del punto más bajo de la sección transversal externa de una tubería o colector (RAS 2000).

Densidad de una sustancia: se trata del coeficiente de la masa contra el volumen que ocupa dicha sustancia, este es variable según sea el material (García 2017).

Densidad poblacional: número de personas que habitan dentro de un área bruta o neta determinada (RAS 2000).

Diagnóstico: reconocimiento que permite identificar la actividad que se busca por medio de una secuencia de actividades (Florián 2017).

EOT: Esquema de Ordenamiento Territorial, conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo (RAS 2000).

Infraestructura: conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para la creación y funcionamiento de una organización cualquiera (Rivas 2008).

Modelos digitales: son representaciones matemáticas del objeto real, a través de un lenguaje informático, almacenadas en la memoria de una computadora (RAE 2019).

Modelo hidráulico: formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema

hidráulico a estímulos externos (RAS 2000).

No contabilizada: son pérdidas que corresponden a la suma de efectos de un caudal que entra a un sistema, pero que al pasar pierde caudal (Bulnes 2017).

Optimización: proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles (RAE 2019).

Pérdidas: diferencia entre el volumen de agua que entra a un sistema de acueducto y aquel que sale o es facturado, dependiendo del sistema (RAS 2000).

Periodo de diseño: tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de este, en el cual sus capacidades permiten atender la demanda proyectada para este tiempo (RAS 2000).

Planimetría: rama de la topografía, que tiene por objeto el estudiar y determinar las diferencias planimétricas de un terreno, entendiéndose por ellos todos los elementos naturales y artificiales del mismo que forman parte de su revestimiento (Española 2017).

Población de diseño: comunidad que se espera atender con la ejecución de un proyecto, considerándose el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para un periodo de diseño estipulado (RAS 2000).

Red de distribución: conjunto de tuberías, accesorios y estructuras cuya función es la de suministrar de agua potable a los consumidores de una localidad (Cualla 1995).

Sectorización: corresponde a la división del área total de una red de distribución, en zonas de estudio que permiten determinar diferencias en los factores de pérdidas de manera más

detallada, y tomar acciones operativas. Es la división de una red de distribución en dos o más sectores hidráulicos, en la que cada sector con puntos definidos de alimentación o entrada de agua, opera independientemente, garantizando la prestación óptima del servicio a los usuarios comprendidos dentro de cada sector (Res 0330, 2017).

Sistema de acueducto: conjunto de elementos y estructuras cuya función es la captación de agua, el tratamiento, transporte, almacenamiento y entrega al usuario final, de agua potable con unos requerimientos mínimos de calidad, cantidad y presión (RAS 2000).

Suministrar: es proveer a alguien de algo que necesita para desarrollar su vida cotidiana (española 2017).

Suscriptor: persona natural o jurídica con la cual se ha celebrado un contrato de condiciones uniformes de servicios públicos (RAS 2000).

Tramo: cada una de las partes en que está dividida o se puede dividir una extensión lineal (española 2017).

Presión: cociente entre la fuerza ejercida sobre una superficie y el área de dicha superficie (García 2017).

Válvula: accesorio cuyo objetivo es regular y controlar el caudal y la presión de agua en una red de distribución de agua potable (RAS 2000).

2.3 Marco legal

Para el desarrollo de la presente investigación, se tienen en cuenta las siguientes normativas que se ven a continuación.

Tabla 5.*Normas para el correcto tratamiento y distribución de agua potable*

AÑO	TITULO	OBJETO
1994	Ley 142 de 1994	Establece el Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios.
1997	Ley 373 de 1997	Establece el Programa de ahorro y uso eficiente del agua.
2000	Resolución 1096	Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, Título B
2001	Decreto 849	Se definen los requisitos que deben cumplir los municipios y distritos en materia de agua potable.
2009	Resolución 2320	Modificaciones del artículo 67 y 69 del RAS 2000
2017	Resolución 0330	Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS

Fuente: Autores, 2020.

En la actualidad, dentro de todo el territorio nacional de la República de Colombia, para todo tipo de proyectos que contemplen sistemas de acueductos, se debe regir o implementar la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017, esta es la normativa actualmente vigente para tal fin.

Capítulo 3. Diseño metodológico

Para llevar a cabo el desarrollo de los objetivos planteados de este proyecto de investigación, se toma como punto de partida el concepto y fundamento al derecho fundamental del agua expuesto por la Corte Constitucional de Colombia, la cual expresa que “El agua se considera como un derecho fundamental y, se define, de acuerdo con lo establecido por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, como “el derecho de todos de disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal o doméstico”. El agua se erige como una necesidad básica, al ser un elemento indisoluble para la existencia del ser humano. El agua en el ordenamiento jurídico colombiano tiene una doble connotación pues se erige como un derecho fundamental y como un servicio público. En tal sentido, todas las personas deben poder acceder al servicio de acueducto en condiciones de cantidad y calidad suficiente y al Estado le corresponde organizar, dirigir, reglamentar y garantizar su prestación de conformidad con los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad”, de esta manera se tendrán en cuenta las normas y requisitos descritos en el marco legal que actualmente tengan vigencia dentro del territorio nacional.

Se plantea una metodología basada en cuatro fases que se llevaran a cabo para la ejecución del proyecto. La primera fase consiste en el estudio y análisis de la red de distribución de agua potable del municipio de Pelaya, Cesar, con el objetivo de plantear un diagnóstico general del servicio prestado por el mismo. En la segunda fase, se ejecutara la construcción del modelo digital usando el software EPANET 2.0. Para la tercera fase, se hará la comparación del modelo digital obtenido con lo que se presenta realmente en la red existente, y, como cuarta y última fase, se pretende establecer la propuesta de optimización de la red de distribución en cuestión.

3.1 Tipos de estudios

3.1.1 Fase 1. Análisis, estudio y diagnóstico de la red de distribución. Para la ejecución del análisis, estudio y diagnóstico de la red de distribución del servicio de la red de distribución de agua potable del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya en el departamento del Cesar, se hizo una solicitud de permiso y autorización para el uso y manejo de los datos a la empresa prestadora del servicio de acueducto en el municipio EMSOPEL, seguido a ello, EMSOPEL nos suministra toda la información que previamente se le solicitaron como el catastro de redes, caudales que se manejan y problemáticas presentes dentro de la red. Esta solicitud se hizo en el mes de octubre del año 2019.

3.1.2 Fase 2. Construcción del modelo digital. Con los datos suministrados por la empresa EMSOPEL, se comienza a realizar el análisis de la información obtenida tanto en campo como en los documentos de la empresa, se a organizar la misma para empezar a construir el modelo digital en el programa EPANET 2.0, estando sujetos a la veracidad y confiabilidad de la información que EMSOPEL suministro.

3.1.3 Fase 3. Comparación del modelo digital con lo realmente existente en la red. Con los datos reales obtenidos en el modelo digital se comienza la comparación de la modelación hidráulica determinada por el software EPANET con el comportamiento determinado en la red actual del acueducto del municipio de Pelaya. De esta manera se definirán los puntos críticos de la red de distribución que necesariamente se deben intervenir para mejorar el servicio.

3.1.4 Fase 4. Propuesta de optimización. Después de las anteriores fases, se comienza a generar la propuesta de optimización de la red de distribución del municipio de Pelaya, teniendo

en cuenta las problemáticas encontradas durante todo el estudio de la misma con el fin de mejorarla, dando las recomendaciones pertinentes acerca del proceso y mejoras que se deben ejecutar según sea el caso; sectorización, diámetros, antigüedad, reposición de tubería, calidad de materiales, rugosidad en la red, fugas en la red, entre otras. También, la elaboración de planos de detalles y esquemas que recopilen las recomendaciones del diseño hidráulico obtenido para la red de distribución en cuestión.

3.1.5 Fuentes de información. La fuente de información principal para la ejecución del proyecto fue la empresa de servicios públicos de Pelaya, EMSOPEL, quienes nos facilitaron toda la información que tenían a su disposición sobre las características de la red de distribución de agua potable.

También la Alcaldía Municipal de Pelaya por medio de su Secretaria de Planeación Municipal y Obras Públicas, facilitó algunos artículos de interés como lo fue el EOT actualmente en vigencia del municipio e información que aporta aspectos sobre la morfología urbana. Otras fuentes fueron consultadas en internet, como la información obtenida desde la página oficial del DANE, bases de datos y algunos libros digitales, así como también, mediante inspecciones visuales se logró recolectar información valiosa de la red.

3.1.6 Técnicas e instrumentos de recolección de información. Para la recolección de información aplicada al objeto de estudio se tiene previsto realizar: una inspección visual estructurada a la mayor parte de la estructura de la red de distribución del municipio en cuestión, en la cual existe una menor libertad de escogencia respecto a las características que constituyen el contenido de la observación o inspección, puesto que los investigadores saben de antemano que aspectos son relevantes y cuáles no, para los propósitos investigativos (Garzón, 1999).

La inspección visual se concentrara en definir y precisar las principales características de la red de distribución estudiada, detallando las falencias que esta presencia y que contribuyan en el fortalecimiento de la optimización que se desea proponer.

Los medios digitales a utilizar se pueden catalogar como instrumentos que ayudan en la recolección de información, ya que a medida que se suministran datos de interés, estos van siendo archivados y ejecutados dentro de programas digitales con utilidad para la presente investigación.

3.2 Enfoque

En el proyecto de investigación **“Propuesta para la optimización de las redes de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar”** se emplearon los tipos de investigación cuantitativa y cualitativa debido a que se recolecto información sobre la red, se ejecutó un análisis de la misma y se obtuvieron deducciones para mejorar el servicio.

3.3 Población

La comunidad del municipio de Pelaya, actualmente está comprendida por 12.361 habitantes que hacen parte de las 3.982 suscripciones con las cuales cuenta la empresa de servicios públicos EMSOPEL. Ya que la población a estudiar también se define como la proyectada a un periodo futuro, se hace necesario emplear alguno de los métodos para el cálculo de población futura expuesto dentro del marco teórico expuesto en el desarrollo del presente anteproyecto.

3.4 Cálculos

Para la realización de los cálculos y con el fin de obtener en lo posible resultados con un margen de error nulo o muy cercano a ello, se efectuaran los procedimientos matemáticos utilizando herramientas digitales como hojas de Excel, calculadoras científicas, entre otras herramientas muy prácticas.

Capítulo 4. Desarrollo del proyecto

Con el fin de lograr el desarrollo integral del proyecto **“Propuesta para la optimización de las redes de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar”**, cuyo componente principal se encuentra en condiciones precarias por efectos de la antigüedad y faltas de intervención como mantenimientos, fue necesario llevar a cabalidad cada uno de los objetivos específicos planteados, que a medida de su realización y cumplimiento permitieron finalizar el trabajo de grado de manera satisfactoria. A continuación se contextualizaran cada uno de ellos.

4.2 Recopilar información del catastro de la red de distribución del casco urbano del municipio de Pelaya, departamento del Cesar.

Para abordar este objetivo, se desarrolla parte de la fase uno definida en los tipos de estudios planteados en el diseño metodológico plasmados para dicha investigación.

4.2.1 Trabajo de campo. El presente proyecto se ejecuta con datos e información suministrada por la Empresa de Servicios Públicos de Pelaya EMSOPEL y, la Secretaria de Planeación y obras públicas de Pelaya. Ninguna de las dos entidades colaboradoras, quienes son las directamente responsables del funcionamiento del sistema de acueducto tiene planeado realizar un plan para conocer el estado real y actual de la red de distribución del municipio de Pelaya, por tal razón, la ejecución de este proyecto es de gran aporte para la comunidad y las entidades públicas de Pelaya, ya que agrupa información y datos de la red de distribución actual del municipio.

El trabajo de campo realizado en el municipio de Pelaya fueron inspecciones visuales a la red de distribución, línea de conducción y tanques de almacenamiento de su sistema de acueducto, con el respectivo acompañamiento de operadores de la empresa con el fin de validar

datos e información suministrada por las entidades colaboradoras y los mismos operadores.

Se recopilaron y organizaron datos sobre la red de distribución en general; material de tuberías, diámetros, longitudes, profundidad de las tuberías, posición de válvulas e información de la sectorización.

4.2.2 Trabajo de oficina. La mayor parte del desarrollo de la investigación se ejecutó como trabajo de oficina, teniendo en cuenta que este comprende la recolección, recopilación y organización de información, análisis, estudios, diagnósticos, diseños, propuestas de optimización, entre otros aspectos., que denotan una indagación exhaustiva de todos los datos obtenidos del campo, así como de la Empresa de Servicios Públicos EMSOPEL y la Secretaria de Planeación del municipio de Pelaya, con el fin de cumplir con todos y cada uno de los objetivos planteados. El trabajo ejecutado en este ítem se ve reflejado detalladamente en el siguiente ítem del objetivo en desarrollo.

4.2.3 Descripción de la red de distribución de agua potable existente. El sistema de acueducto que actualmente opera en el municipio de pelaya cuenta en su red de distribución con 53.806,60 metros de longitud de tubería, las cuales están conformadas en su mayoría por PVC y Asbesto Cemento.

La distribución de agua potable para la cabecera municipal de la población en estudio se realiza a través de 4 líneas de conducción las cuales abastecen a las 3 partes en las que esta subdividido el municipio por efectos de la sectorización. Para el desarrollo de la investigación, el sector 1 comprende los barrios San Jose, las Florez, Alfonso López, jardín central, San Juan., el sector 2 parte del barrio las flores, Gaitán, 2 de febrero, las palmas, las delicias, centro, parte de jardín central, parte de San Juan, las Marías I, las Marías II, tucero, minuto de Dios., y, el

sector 3 lo comprenden parte de los barrios las palmas, 2 de febrero, Gaitán, y en su totalidad el barrio las Américas y mata de bijao; a continuación se representara la sectorización en esquemas con su respectiva cobertura del servicio en cada uno.

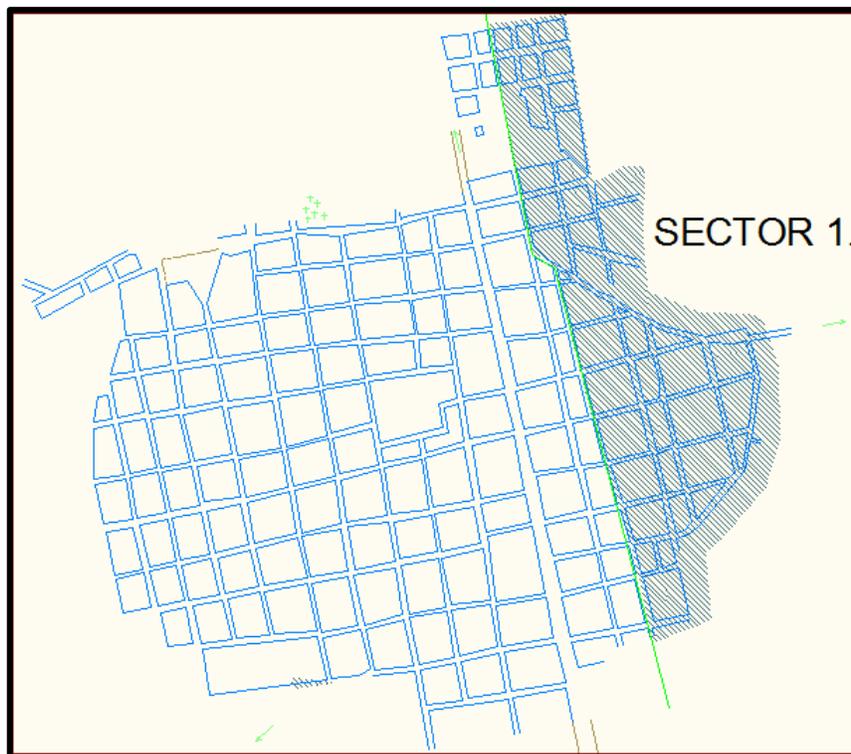


Figura 7. Descripción del sector 1 de la red de distribución de acueducto. Fuente: Autores 2020.

El sector 1, lo comprenden los barrios anteriormente mencionados, las válvulas están ubicadas por toda la carrera 6ªA interceptando con las calles 16, 15, 14, 13 y 12, luego toma la transversal 7ª hasta llegar a la carrera 6ª, a partir de allí se ubican en dirección de la carrera 6ª interceptando con las demás calles; 11, 10, 9, 8, 7, 6 y 5.

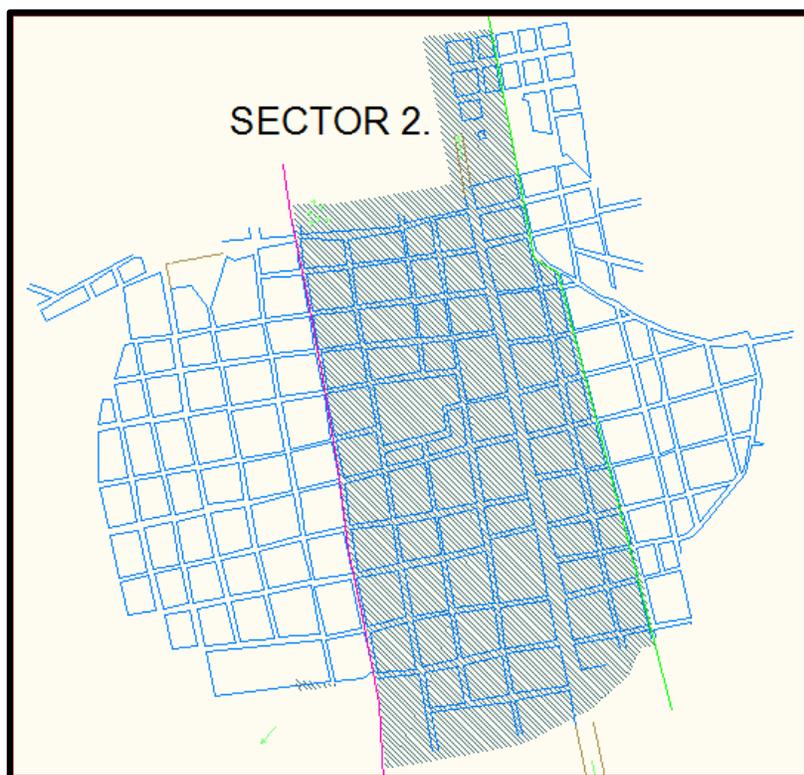


Figura 8. Descripción del sector 2 de la red de distribución de acueducto. Fuente: Autores 2020.

El sector 2 se define como el más grande entre la sectorización contemplada, cubre aproximadamente un 50% del área de servicio total. Dicho sector lo comprenden los barrios mencionados en el párrafo inicial, las válvulas son las mismas del sector 1 que están ubicadas por toda la carrera 6ª interceptando con las calles 16, 15, 14, 13 y 12, luego toma la transversal 7ª hasta llegar a la carrera 6ª, a partir de allí se ubican en dirección de la carrera 6ª interceptando con las demás calles; 11, 10, 9, 8, 7, 6 y 5. Y la otra línea de válvulas que bloquea el paso del agua potable está ubicada a lo largo de la carrera 12 interceptando con todas las calles del municipio.

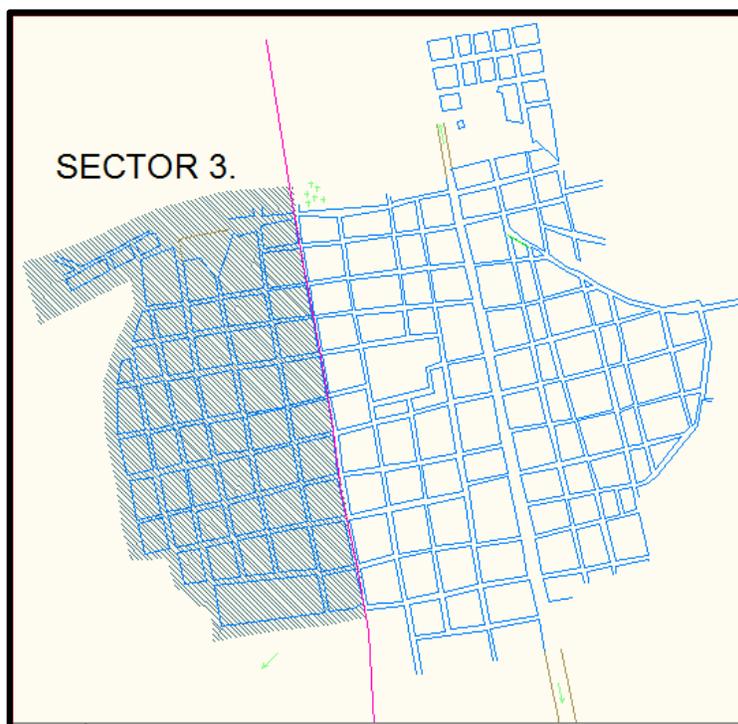


Figura 9. Descripción del sector 3 de la red de distribución de acueducto. Fuente: Autores 2020.

El sector 3 lo comprende la zona delimitada por la carrera 12 a largo de todas las calles del municipio hasta las últimas viviendas ubicadas por la carrera 18, es ahí donde cierra la red de distribución del sistema de acueducto del municipio de Pelaya.

La sectorización en el municipio de Pelaya se realizó con el fin de disminuir pérdidas técnicas y comerciales dentro del sistema, esta no incluye el reconocimiento de la delimitación de la red de distribución en sectores homogéneos. Una de las recomendaciones a plantear radica en la posibilidad de medir los volúmenes de agua suministrado y el volumen facturado por sectores, esto es imposible, ya que el sistema no cuenta con medición alguna para controlar dicho aspecto; además, para optimizar el servicio del vital recurso, es necesario calcular los índices de agua no contabilizada, conocer las causas de las pérdidas y partes del sistema con

mayores afectaciones.

Para plantear un modelo de sectorización en una red de distribución, es necesario desarrollar una serie de instrucciones para lograr un servicio equitativo e integral; para definir los tres sectores con que actualmente funciona la red de distribución del municipio de Pelaya no se tuvo en cuenta ningún tipo de planteamiento ni cálculos, tampoco se realizaron análisis de cada uno de los elementos que hacen parte de la red con el fin de conocer las condiciones y aspectos de la misma.

Actualmente, la red de distribución de agua potable no cuenta con datos 100% reales, gran parte del catastro se conoce por memoria histórica de los trabajadores de la empresa de servicios públicos, lo que hace más complejo conocer el funcionamiento y/o comportamiento real de la red.

El sistema de acueducto cuenta para el almacenamiento del agua con dos tanques de sección circular con una capacidad total de 1210 metros cúbicos (m^3), en la siguiente tabla se puede observar la información de los tanques de almacenamiento.

Tabla 6.

Información de tanques existentes.

Tanque	Material de construcción	Área interna (m^2)	Altura interna (m)	Volumen interno (m^3)
1	Concreto reforzado	172	2.5	430
2	Concreto reforzado	289	2.7	780

Fuente: EMSOPEL.

Teniendo en cuenta que los tanques se encuentran a una distancia aproximada de 3455

metros del inicio de la red de distribución y como se mencionó anteriormente, el sistema cuenta con 4 líneas de conducción en tubería de PVC y Asbesto Cemento las cuales se encargan de transportar el preciado líquido desde la planta de tratamiento donde se encuentran los tanques de almacenamiento hasta la cabecera municipal.

La distribución de agua potable a cada uno de los sectores definidos se realiza mediante gravedad. En su mayoría, los componentes que comprenden el sistema de acueducto del municipio de Pelaya no están en óptimas condiciones para su normal funcionamiento, algunos casos presentan fugas en las tuberías, lo que ocasiona una disminución en el rendimiento real del sistema; en otros casos no se garantiza la estabilidad y funcionamiento en sus estructuras, tuberías deterioradas, entre otros problemas evidenciados durante la realización del proyecto (Planeación, 2019).

De los 53.806,60 metros de tubería existente de la red de distribución, se pueden definir distintas especificaciones en dicha estructura como diámetros y materiales, así como redes principales y además de tuberías condenadas que no tienen ninguna funcionalidad pero continúan enterradas dentro de la cabecera municipal. En la siguiente tabla se puede observar la información de la red de distribución.

Tabla 7.

Información de tuberías existentes.

Diámetro (in)	Longitud total (m)	PVC (m)	Asbesto Cemento (m)
3"	32580,6	19248,11	13332,49
4"	1606,91	1406,31	200,6
6"	11766,64	4650,77	7115,87
8"	601,26	402,08	199,18
10"	3653,43	3615,78	37,65
16"	3597,77	3597,77	0

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 8.*Porcentajes de tuberías por material.*

Material	Longitud (m)	Porcentaje
PVC	32812	60,98
AC	20994,605	39,02
Total	53806,605	100

Fuente: Autores, 2020.

Dentro del sistema se presentan fugas, conexiones en mal estado, informalidad, malas instalaciones de tuberías (esto por ser construidas por la misma comunidad sin supervisión de la empresa de servicios públicos), utilización del servicio para otros fines y no para agua potable, obstrucciones naturales por sedimentos, efectos de la naturaleza como crecimiento de raíces de árboles, entre otras afectaciones.

Las presiones más bajas dentro de todo el sistema son reportadas en los barrios el tucero, las marías I, las marías II y minuto de Dios; estos se encuentran ubicados en las partes más alejadas de la zona céntrica municipal, a ello se le suma las malas y erradas conexiones que se han realizado para poder suministrar de agua a los habitantes de dichos sectores, siendo ellos mismos quienes las han ejecutado.

La sectorización está condicionada por un número de válvulas de cierre, las cuales se encuentran en regulares condiciones, esto genera deficiencias en el sellado de las mismas a la hora de cerrarlas. Dichas válvulas tienen en su mayoría aproximadamente 40 años de uso.

Trazado de la red de distribución existente.

Gracias al análisis, estudio y categorización de la información obtenida de todos los medios, se logra materializar un aspecto importante como lo es representar por medio del

software AutoCad la distribución de tuberías que componen la red de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya; este elemento será de gran utilidad para futuras intervenciones por parte de los entes encargados, ya que no se cuenta con el catastro de la red.

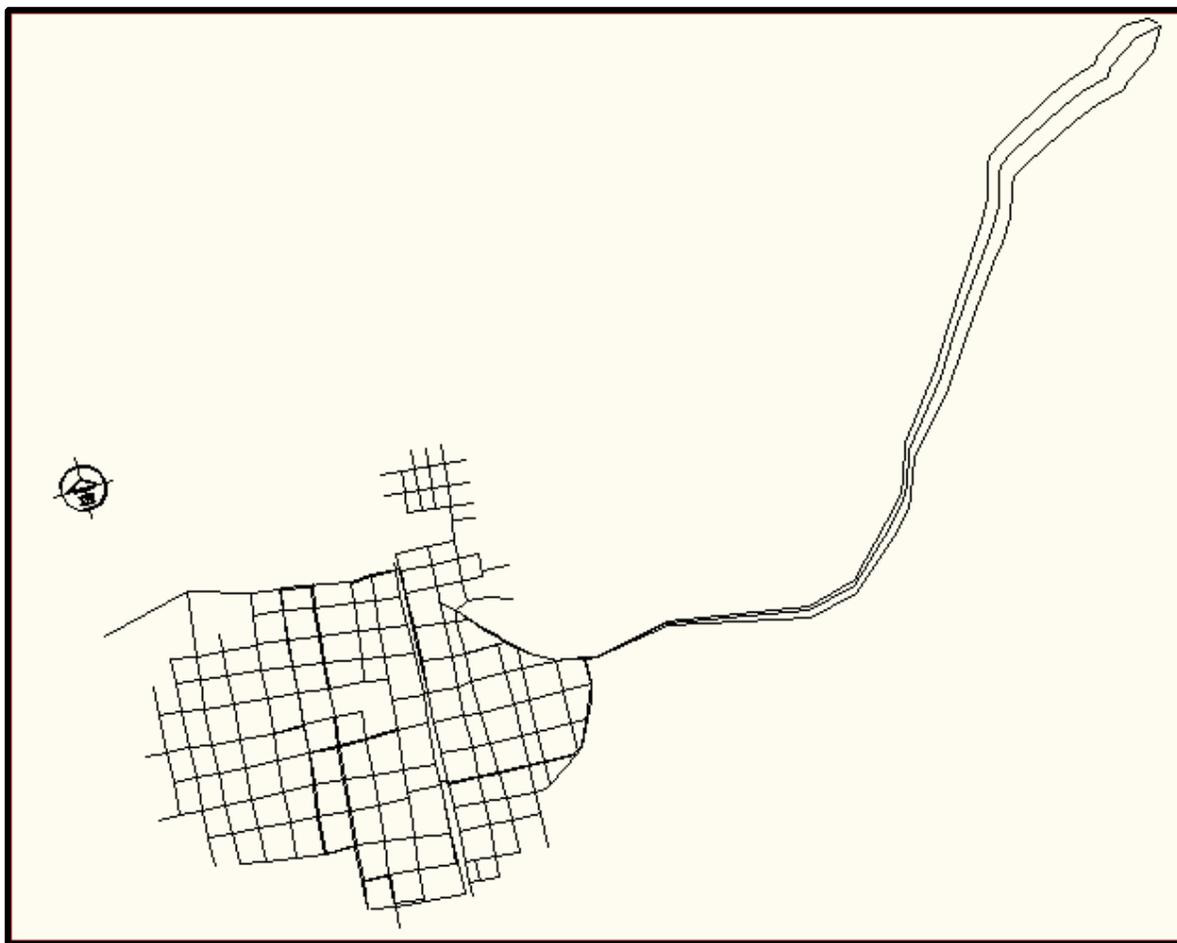


Figura 10. Red de distribución de agua potable del municipio de Pelaya. Fuente: Autores 2020.

En la figura anterior, se observa el catastro de la red de distribución del sistema de acueducto del municipio de Pelaya, Cesar, donde se esquematiza la distribución de la red en toda su extensión; con el fin de ampliar la información de la misma, en los anexos del proyecto se

hará entrega del archivo del programa utilizado con la nomenclatura de las tuberías según su material de construcción y diámetro.

4.3 Elaborar un diagnóstico técnico-operativo de las condiciones y estructuras de las redes de distribución para identificar las fallas y oportunidades de mejora.

El diagnóstico técnico-operativo se ilustra por medio de tablas con la intención de mostrar ordenadamente toda la información.

4.3.1 Aspectos del diagnóstico técnico.

Tabla 9.

Aspectos del diagnóstico técnico.

DIAGNOSTICO TECNICO DE LA RED DE DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO URBANO DEL MUNICIPIO DE PELAYA			
COMPONENTE	CONDICION ACTUAL	CRITERIOS NORMATIVOS	OBSERVACIONES
líneas de conducción	Las componen conductos cerrados en materiales de PVC y Asbesto Cemento con diámetros diferentes, longitudes similares, en algunas partes de su trayecto los conductos se encuentran expuestos, esto se genera por actividades de remoción de masas tanto por efectos de la naturaleza como por el hombre.	1. Condiciones geológicas. 2. Condiciones geotécnicas 3. Capacidad. 4. Demanda de agua.	Se hace necesaria realizar una evaluación con el fin de cambiar algunos tramos de las líneas de conducción, ya que el terreno tiene gran porcentaje de vinculación a procesos de remoción en masa, esto también se ve afectado significativamente porque la longitud de enterramiento de las tuberías es mínima, se encuentran a distancias muy superficiales en los tramos donde se enterraron. La capacidad de transporte es adecuada, ya que se logran transportar caudales significativos.

Tanques de almacenamiento	Este elemento está compuesto por dos tanques cuya base es rectangular construidos en concreto reforzado, las fisuras o grietas no son evidentes al ojo humano pero si se presentan fugas por el constante derramamiento del preciado líquido que se aduce son por mínimas fisuras o grietas que presenta la estructura. La ubicación de los tanques es dentro del mismo predio de la PTAP.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Demanda de agua. 2. Demanda horaria. 3. Topografía de la zona. 4. Condiciones geológicas. 5. Calidad del agua 	No se evidencia un mantenimiento periódico, ya que se logró ver formas de capas vegetales creciendo en las paredes de los tanques. Aunque a simple vista se logra verificar las buenas condiciones estructurales de los tanques, estos presentan fugas, lo que genera pérdidas para el sistema de acueducto.
Red de distribución	la red de distribución está construida en su totalidad por dos tipos de material: PVC y Asbesto cemento, y también diferentes diámetros a lo largo de toda su extensión	<ol style="list-style-type: none"> 1. Demanda de agua. 2. Análisis de costos. 3. Topografía de la zona. 4. Condiciones geológicas. 5. Calidad del agua 6. Criterios de ampliación 	Presenta a lo largo de todas sus redes perdidas no calculadas por el deterioro y mal estado de toda su estructura. Se hace necesario plantear una reposición de tuberías teniendo en cuenta los aspectos normativos actualmente vigentes en el país ya que las condiciones actuales no son las mejores.

Fuente: Autores, 2020.

4.3.2 Aspectos del diagnóstico operativo

Tabla 10.

Aspectos del diagnóstico operativo.

DIAGNOSTICO OPERATIVO DE LA RED DE DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO URBANO DEL MUNICIPIO DE PELAYA			
COMPONENTE	CONDICION ACTUAL	CRITERIOS NORMATIVOS	OBSERVACIONES
Cobertura	La cobertura del servicio del sistema de acueducto en el municipio de Pelaya comprende un 91% aproximadamente.	1. Cobertura.	Según la normativa vigente, para un sistema con nivel de complejidad medio como mínimo la cobertura debe ser del 95%, por consiguiente este criterio no está dentro de los parámetros estipulados de cobertura.
Micro medición y macro medición	No se presenta micro medición en ninguna de las acometidas de la red, tampoco macro medición a la salida de los tanques de almacenamiento para saber la cantidad de agua que sale de la PTAP.	1. Micro medición. 2. Macro medición.	No se tienen datos de macro medición y micro medición, no hay la cultura del pago por el servicio público de acueducto prestado, tampoco se llevan registros el SUI.

Fuente: Autores, 2020.

4.3.3 Identificación de las problemáticas presentes en la red. Luego de evidenciar y documentar las características técnicas de la red de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar, se procedió a identificar las principales problemáticas del funcionamiento actual del sistema. Estas se caracterizan principalmente por:

- **Falta de continuidad en el servicio, además de las constantes y prolongadas interrupciones del mismo.** Una de las principales razones de descontento de los habitantes del

municipio de Pelaya, es que el servicio de agua potable no es constante, y las suspensiones del servicio son persistentes y en muchos casos se extienden por largos periodos de tiempo.

- **Las presiones de servicio con las que opera la red son muy bajas, esto conlleva a la negativa operación de algunos artículos sanitarios en las viviendas.** Actualmente, el llamado sector 2 se denomina como el mejor en el aspecto de las presiones de servicio, aun así, algunas puntos donde se recibe el líquido dentro de las viviendas son inservibles, ya que no alcanza el agua a llegar hasta dichos puntos, más específicamente en las ducha. Para mitigar dicha problemática, algunos habitantes han optado por la construcción de tanques aéreos para de esta forma poder abastecer todas las estructuras sanitarias en las viviendas.

- **El índice de perdidas dentro de la red de distribución es muy alto:** este concepto es una característica difícil de contextualizar o definir, ya que no existen herramientas que cumplan dicha función, pero en muchas conexiones que se pueden visualizar, es evidente el exagerado derroche del preciado líquido, esto gracias a conexiones erradas o el mismo deterioro de los componentes, bien sea por efectos naturales o largos periodos de vida de las estructuras.

- **La operación del sistema se realiza por personal no especificado:** el recurso humano con que cuenta la empresa para poner en funcionamiento cada uno de los componentes del sistema de acueducto es personal no capacitado para dichas funciones, algunas ameritan profesionales en áreas específicas y no se cuenta con ello.

- **La construcción de algunas estructuras de redes de distribución de agua potable han sido realizadas por la comunidad sin un seguimiento y control técnico adecuado:** Este fenómeno es muy visible en los barrios nuevos, ya que los habitantes en su afán por contar con agua potable en sus viviendas, se encargan de realizar conexiones necesarias para lograr lo antes

dicho sin tener en cuenta los errores que se puedan cometer ni las afectaciones que ello podría producir al funcionamiento y servicio de las estructuras.

- **La falta de cultura en los habitantes del municipio hace que le den un mal uso al agua potable:** en muchos casos, los usuarios poseen malos hábitos en cuanto al consumo del agua y frecuentemente se desperdicia el recurso por mal manejo del mismo.

- **Red de distribución en condiciones obsoletas y rudimentarias:** se puede definir como con más campo de acción sobre el funcionamiento y servicio general de la red de distribución de agua potable del municipio de Pelaya. Esta la conforman tuberías en mal estado, mal instaladas, presencia de importantes fugas con las cuales se convive a diario, conexiones fraudulentas y erradas, tuberías con un significativo periodo en funcionamiento, algunas ya cumplieron su vida útil hace mucho tiempo. Por la antigüedad de la red y falta de mantenimiento la red presenta un sin número de roturas constantemente que afectan el funcionamiento de la misma.

- **Conexiones en la red no idóneas, las cuales son instaladas para trabajo pesado como tubería a presión:** dentro del sistema se encuentran conexiones con fines agropecuarios como riego de cultivos, esto amerita la instalación de herramientas para succionar agua que provoque una mayor presión de servicio; esto afecta en general el funcionamiento del sistema, ya que dichas conexiones toman en mayor proporción el agua dejando al resto de habitantes con el preciado líquido en menor relación y presión.

- **Falta de documentación técnica para el servicio y funcionamiento eficiente de la red de distribución:** el municipio no cuenta con información real sobre la red de distribución que opera, no existe un catastro de redes; esta problemática es visible al momento de intervenir la estructura para realizar mantenimientos o adecuaciones, ya que no tienen información de redes en

los sitios a inspeccionar. La presente problemática fue muy notoria en el desarrollo del proyecto, ya que los datos e información de campo es indispensable para cumplir con los objetivos; el catastro que se conoce es por memoria histórica de los trabajadores, estos a su vez no pueden dar certeza ni claridad de la información de la red de distribución.

4.4 Proponer alternativas de optimización técnica y/o operativa de la red de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya que satisfaga los requerimientos de la población actual y al horizonte de diseño según la normativa.

Con toda la información recopilada sobre la red de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya y demás datos, se da inicio a desarrollar y plantear alternativas de optimización basadas en modelos digitales en el programa EPANET; este proceso se define como el más importante en todo el desarrollo del proyecto, ya que los resultados serán elementos que podrán utilizar las entidades públicas encargadas de la operación del sistema de acueducto para su intervención. Este proceso requiere de mucha atención y concentración, ya que cualquier dato incorrecto podría generar daños en la simulación del modelo.

4.4.1 Análisis y evaluación de alternativas de optimización de la red bajo la normativa Colombiana vigente.

4.4.1.1 Proyección de la población. En el artículo 43 de la resolución 0330 del 8 de junio del 2017, se establece que la dotación neta debe determinarse haciendo uso de información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores disponible por parte de la persona o entidad prestadora del servicio de acueducto, o en su defecto, recopilada en el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD),

siempre y cuando los datos sean consistentes. Teniendo en cuenta que la empresa prestadora del servicio de acueducto no cuenta con la información suficiente para obtener información sobre demanda y consumos, se obliga a utilizar los métodos expuestos en el Reglamento Básico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), con el fin de obtener datos de proyección poblacional y demanda.

Para definir el nivel de complejidad del sistema, se tendrá en cuenta lo establecido en el capítulo A. 3. del título A del RAS, el cual decreta la clasificación de los proyecto de acueducto y/o alcantarillado en un nivel de complejidad dependiendo del número de habitantes y su capacidad económica tal como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 11.

Asignación del nivel de complejidad de acueductos según número de habitantes.

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: RAS, Título A.

La población actual de la cabecera del municipio de Pelaya es de 12.361 habitantes, en su mayoría pertenecen a los estratos 1 y 2, lo que significa que se tiene un nivel de complejidad MEDIO del sistema.

Para la determinación del periodo de diseño se tiene en cuenta el artículo 40, capítulo 1 de la resolución 0330 del 2017, donde contempla que para todos los componentes de un sistema de acueducto se debe adoptar un periodo de diseño de 25 años.

A continuación se expondrán los resultados de los últimos censos realizados en el municipio de Pelaya.

Tabla 12.

Resultados censo poblacional 1985.

											
XV CENSO NACIONAL DE POBLACION Y IV DE VIVIENDA - 1985 Población total censada, por área y sexo, según departamentos y municipios											
Departamentos y municipios	Total			Cabecera			Resto				
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres		
Pelaya	12.833	6752	6081	7.149	3191	3958	5.684	3561	2123		

Fuente: DANE.

Tabla 13.

Resultados censo poblacional 1993.

											
XVI CENSO NACIONAL DE POBLACION Y V DE VIVIENDA - 1993 Población total censada, por área y sexo, según departamentos y municipios											
Departamentos y municipios	Total			Cabecera			Resto				
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres		
Pelaya	13.812	7089	6723	8.162	4037	4125	5.650	3052	2598		

Fuente: DANE.

Tabla 14.

Resultados censo poblacional 2005.

											
XVII CENSO NACIONAL DE POBLACION Y VI DE VIVIENDA - 2005 Población total censada, por área y sexo, según departamentos y municipios											
Departamentos y municipios	Total			Cabecera			Resto				
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres		
Pelaya	16.242	8426	7816	10.558	4973	5585	5.684	3453	2231		

Fuente: DANE.

Tabla 15.

Resultados censo poblacional 2018.

Departamentos y municipios		Total			Cabecera			Resto		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	
Pelaya	18.243	9.486	8.757	12.361	5.933	6.428	5.882	3.553	2.329	

Fuente: DANE.

En la siguiente tabla se recopila la información a utilizar para el desarrollo del proyecto de los censos anteriormente expuestos, ya que solo se necesita la información de la cabecera municipal.

Tabla 16.

Resultados censos poblacionales.

Año	Población
1985	7149
1993	8162
2005	10558
2018	12361

Fuente: Autores, 2020.

A continuación se detallara los resultados de la proyección de la población con los modelos matemáticos aritmético, geométrico y exponencial, expuestos con anterioridad en el desarrollo del proyecto, los cuales fueron ejecutados con la ayuda de plantillas en Excel. Para determinar las proyecciones de la población se tomaron los rangos de censos entre el último censo para el año 2018 y el censo del año 1985.

Tabla 17.

Proyección poblacional al periodo de diseño.

PROYECCION POBLACIONAL		PERIODO DE DISEÑO	
		25	AÑOS
AÑO	POBLACION # DE HABITANTES	TASA DE CRECIMIENTO	
		r	0,01673158
2018	12361	k1	0,01212788
2005	10558	k2	0,02144955
1993	8162	k3	0,01656459
1985	7149	K PROM.	0,01671401
FUENTE	DANE (Informacion estadistica)		
AÑO	M. ARITMETICO	M. GEOMETRICO	M. EXPONENCIAL
2019	12519	12568	12620
2020	12677	12778	12832
2021	12835	12992	13049
2022	12993	13209	13268
2023	13151	13430	13492
2024	13309	13655	13720
2025	13467	13883	13951
2026	13625	14116	14186
2027	13782	14352	14425
2028	13940	14592	14668
2029	14098	14836	14915
2030	14256	15084	15167
2031	14414	15337	15422
2032	14572	15593	15682
2033	14730	15854	15947
2034	14888	16120	16215
2035	15046	16389	16489
2036	15204	16664	16767
2037	15362	16942	17049
2038	15520	17226	17337
2039	15678	17514	17629
2040	15836	17807	17926
2041	15994	18105	18228
2042	16152	18408	18535
2043	16309	18716	18848
2044	16467	19029	19165
2045	16625	19347	19488

Fuente: Autores, 2020.

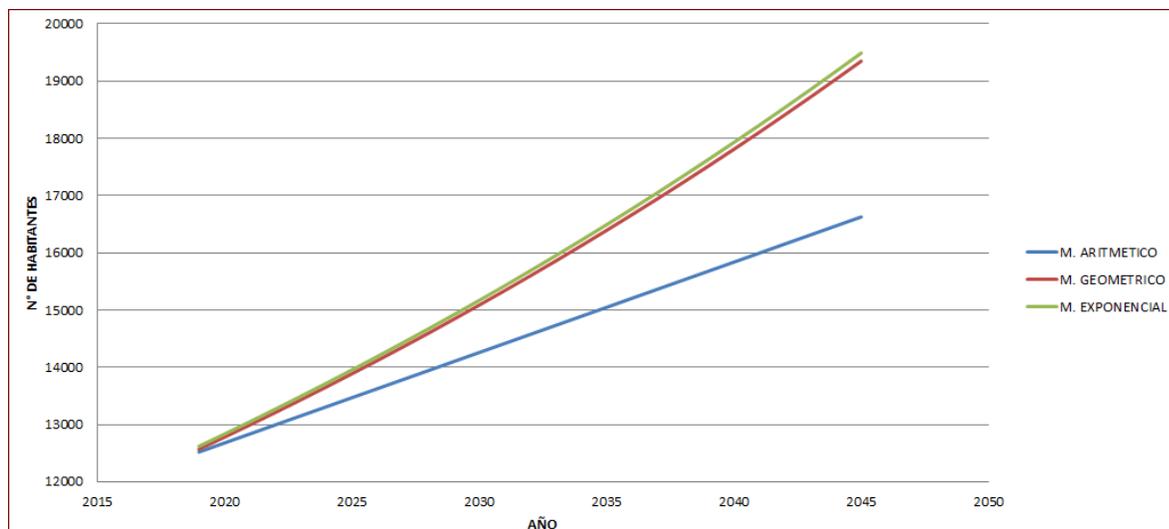


Figura 11. Proyección poblacional. Fuente: Autores 2020.

En la anterior gráfica, se puede observar la manera en cómo va creciendo la población según los modelos matemáticos para obtener dicha proyección.

Dentro de los parámetros que expresa el Esquema de Ordenamiento Territorial del año en curso que se encuentra en proceso de aprobación, realiza una proyección poblacional, en la cual precisa que para el año 2045 el municipio contara con una población de 19.258 habitantes, este dato se obtiene mediante modelos estadísticos proporcionados por la oficina del SISBEN municipal. (EOT, 2020).

4.4.1.2 Estudio de la demanda de agua, evaluación de la oferta hídrica y cálculo de caudales de diseño

Dotación neta: De acuerdo con la resolución 0330 del año 2017, se debe asumir una dotación neta de 140 L/HAB*DIA, para lo que se tiene en cuenta la altura promedio sobre el nivel del mar; el municipio de Pelaya se encuentra a una altura sobre el nivel del mar inferior a 1000 metros.

Para las pérdidas técnicas máximas admisibles, se asume el 25%; este es el valor máximo que permite la resolución 0330 del 2017.

Con el fin de obtener de manera rápida los datos de Dotación bruta, caudal medio diario y caudal máximo diario, se hizo uso de plantillas de Excel. A continuación, se registra la información obtenida en las hojas de cálculo ejecutadas.

Tabla 18.

Proyección de caudales.

CONSUMO DE AGUA		
DOTACION. NETA MAX	140	L/HAB/DIA
% DE PERDIDAS TECNICAS	25%	
K1	1,2	
K2	1,5	
CALCULO DE CAUDALES		
DOTACION BRUTA (Dbruta)	186,67	L/HAB/DIA
CAUDAL MEDIO DIARIO (Qmd)	41,80	L/SEG
CAUDAL MAXIMO DIARIO (QMD)	50,16	L/SEG
CAUDAL MAXIMO HORARIO (QMH)	75,24	L/SEG

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 19.

Proyección de demandas de agua y caudales finales.

DOTACION NETA SEGÚN EL USO DEL AGUA					
USOS	CANTID AD	DOTACION UNITARIA		DOTACION TOTAL	
ALCALDIA (COMERCIAL)	900	20		0,21	L/SE G
MERCADO (COMERCIAL)	60	100		0,07	L/SE G

LOCALES (COMERCIAL)	10000	6	0,69	L/SE G
BEBIDAS (INDUSTRIAL)	2	17	0,00	L/SE G
EDUC. ELEMENTAL (ESCOLAR)	2261	20	1,05	L/SE G
EDUC. MEDIA Y SUP. (ESCOLAR)	2675	25	1,55	L/SE G
HOSPITAL (SALUD)	130	800	1,20	L/SE G
CUARTEL (SEGURIDAD)	50	150	0,09	L/SE G
HOTELES (INSTITUCIONAL)	156	400	0,72	L/SE G
DOTACION TOTAL POR USOS			5,58	L/SE G
PERDIDAS EN EL SISTEMA (10% QMD)	5,5740230 06			L/SEG
CAUDAL MAXIMO DIARIO TOTAL (QMD)	61,31			L/SEG
CAUDAL MAXIMO HORARIO (QMH)	91,97			L/SEG

Fuente: Autores, 2020.

4.4.1.3 Modelación digital. El modelo hidráulico se realiza con el fin de representar matemáticamente un sistema real de distribución ilustrado mediante una interface gráfica que simula o imita el comportamiento del sistema replicando las condiciones dinámicas de la operación. Es importante aprovechar el uso de los modelos digitales para satisfacer algunos procesos como la evaluación de la capacidad de la red actual, también para definir la red matriz y formular de la manera más óptima la sectorización.

Con el fin de identificar y definir las obras adicionales necesarias para un mejor funcionamiento de la red de distribución del sistema de acueducto del municipio de Pelaya, se tienen en cuenta fundamentos teóricos relacionados con sentidos de flujo, velocidad, presiones,

continuidad, energía, pérdidas menores, entre otras. El proceso de modelación hidráulica se ejecutara haciendo uso del programa EPANET.

Es importante resaltar que los datos suministrados por parte de las entidades públicas que operan el sistema de acueducto municipal fue muy resumida, por tal razón, fue necesaria la intervención por parte de los realizadores del proyecto para lograr obtener una información más amplia y detallada.

Para la Empresa de Servicios Públicos de Pelaya EMSOPEL, una de las mayores dificultades que se presenta, es el tener que tomar decisiones que influyen en el funcionamiento de su sistema desde el punto de vista hidráulico, ya que no conocen con certeza la forma en que se verá afectado el mismo; disposiciones sobre la instalación de válvulas, definición de la sectorización, reposición de tuberías averiadas, entre aspectos., suelen ser planeados y ejecutados sin tener idea de las consecuencias que esos van a tener sobre la totalidad de la red de distribución de agua potable y su servicio. De esta forma se corre el riesgo de tener resultados negativos imprevistos en el comportamiento o funcionamiento de la red y/o también cometer equivocaciones que influyen no solo en perjuicios económicos, sino también en una disminución en la calidad del servicio prestado.

Por todo lo anteriormente mencionado, se hace necesario el apoyo permanente de herramientas que permitan evaluar el estado o funcionamiento operativo no solo de la red de distribución, sino también del sistema de acueducto en general para de esta manera tomar decisiones operativas, constructivas y de mantenimiento de forma rápida y acertada.

El uso de EPANET nos permitirá conocer los caudales que circulan por cada una de las tuberías de la red, presiones en los nudos, niveles de agua en cada tanque, tiempo de

permanencia del agua en las tuberías, entre otros aspectos que seguidamente serán verificados para manifestar si cumplen o no con los requerimientos de buen funcionamiento de una red de distribución de agua potable según la Resolución 0330 del 2017.

Proceso de modelación.

Con el objetivo de llevar a cabo la modelación hidráulica que suministre información del comportamiento de la red de distribución de agua potable del municipio de Pelaya, Cesar, es necesario ejecutar las etapas que se resumen fundamentalmente en la introducción de parámetros de entrada, cálculo hidráulico, obtención de resultado y análisis de resultados. Las actividades a llevar a cabo son las siguientes:

- Delimitar la zona de estudio con el fin de obtener un alcance del proyecto y familiarizarse con la red de distribución del acueducto del municipio de Pelaya.

- Se hacen visitas con personal de la empresa y/o sin ellos para tomar los datos que se necesitan y de esta manera generar una base de datos que será usada para la simulación en Epanet y consignarlos de manera organizada para entregarle a la empresa.

- Datos de catastro: inexistente, en su totalidad fueron obtenidas con mediciones propias de los autores del proyecto y memoria histórica de trabajadores de la empresa.

- Estudiar el software Epanet.

- Determinar los parámetros de Epanet y sus respectivas unidades:

Caudal: l/s; al indicar en el software este parámetro, el mismo automáticamente toma los siguientes parámetros con las unidades correspondientes: Longitud de tubería: metros (m),

diámetros: milímetro (mm), rugosidad: depende del tipo de material (mm), velocidad: (m/s), presión: (m.c.a.), cota: (m.s.n.m.), demanda: (l/s), Ecuación de pérdidas tomamos Darcy Weisbach.

Parámetros de entrada.

- **Caudal de diseño:** Teniendo en cuenta el nivel de complejidad medio para el proyecto en ejecución, la red de distribución debe ser diseñada en base al Caudal Máximo Horario (Q_{MH}), el cual es de 91,97 L/s.

- **Materiales de construcción:** Los materiales que serán utilizados para las tuberías en la modelación del sistema son:

Policloruro de vinilo (PVC).

Asbesto cemento (AC).

- **Contextos:** El programa concede la realización de diferentes contextos o escenarios de modelación que permiten comparar el sistema modelado con diferentes alternativas de funcionamiento introduciendo algunos cambios. Para este proyecto en específico se configuraron 4 contextos los cuales se describen a continuación:

Contexto existente: Para este caso, se modelaron los tanques de almacenamiento, las líneas de conducción y todas las tuberías existentes en la actualidad, con sus respectivos accesorios y un porcentaje de pérdidas del sistema teniendo en cuenta que dicho dato no es posible definirlo.

Contexto proyectado: En este contexto se llevarán a cabo 2 modelaciones, cada una con diferencias significativas que sean evidentes en el funcionamiento y/o comportamiento de la red de

distribución siempre y cuando los resultados cumplan con los lineamientos estandarizados en la norma vigente en Colombia. Se hará modificación en las tuberías y se planteara el modelo con la población futura en las mismas condiciones actuales.

Información de la infraestructura existente.

Todos los datos e información de la infraestructura de los elementos hidráulicos de los tanques de almacenamiento, línea de conducción y red de distribución, se basa en la introducción de diferentes parámetros físicos propios de cada uno de los elementos o estructuras de los elementos del sistema en estudio. Estos parámetros están comprendidos en la siguiente tabla:

Tabla 20.

Parámetros requeridos para la modelación de la red de distribución en Epanet.

Tubería	Tanques de almacenamiento	Válvulas
Diámetros	Área	Diámetro
Longitudes	Sección	Coefficiente de perdidas
Caudal	Elevación de la base (cota)	Tipo de material
Rugosidad	Nivel de lámina de agua inicial	Estado (abierta o cerrada)
Velocidad	Nivel de lámina de agua mínima	Nivel de elevación
	Nivel de lámina de agua máxima	
	Demanda de salida (caudal)	

Fuente: Autores, 2020.

La construcción geométrica del modelo se realizó con base en el plano de catastro de redes de acueducto de Pelaya ejecutado en el presente proyecto, en este se dibujó toda la tubería existente incluyendo las que conectan la red de distribución con los tanques de almacenamiento. Se realiza la asignación de nodos en los cambios de diámetros de tubería o cambios de dirección en la misma, donde existen accesorios y puntos importantes de la red.

A continuación se presentan los datos de entrada usados para la alimentación del modelo digital de la red actualmente existente:

- Tanque 1: se modela con una elevación en la base de 96,5 m.s.n.m., con una elevación de la lámina de agua inicial de 98,7 m.s.n.m., una elevación mínima de 96,6 m.s.n.m. y una elevación máxima de la lámina de agua de 98,9 m.s.n.m. El área de la sección del tanque es de 172 m² con sección rectangular.

- Tanque 2: se modela con una elevación en la base de 97,2 m.s.n.m., con una elevación de la lámina de agua inicial de 99,5 m.s.n.m., una elevación mínima de 97,3 m.s.n.m. y una elevación máxima de la lámina de agua de 99,8 m.s.n.m. El área de la sección del tanque es de 289 m² con sección rectangular.

- Líneas de conducción: en la siguiente tabla se presentan los datos de las 4 líneas de conducción encargadas de transportar el agua potable desde los tanques de almacenamiento hasta la red de distribución.

Tabla 21.

Parámetros requeridos para la modelación de la red de distribución en Epanet.

Especificaciones	Líneas de conducción			
	1	2	3	4
Diámetro de tubería (pulgadas)	6"	6"	10"	16"
Tipo de material	Asbesto Cemento	Asbesto Cemento	PVC	PVC
Numero de válvulas ventosa	6	4	5	8
Numero de válvulas de purga	1	0	0	5

Fuente: EMSOPEL.

Calculo hidráulico.

Antes de ejecutar la modelación de la red, se visualiza la situación mientras la red se encuentre en funcionamiento en su totalidad. Se hace un análisis de la red con los componentes tal y como se encuentran en la actualidad. Es evidente que la topología de la red prácticamente es inexistente, puesto que la empresa prestadora del servicio ni los entes gubernamentales no cuentan con un registro o base de datos en donde se encuentren consignadas las propiedades de dicha red, por esta razón, es necesario dirigirse a los inspectores de la empresa con el fin de determinar los elementos que hacen parte del sistema, su ubicación, diámetros y materiales de construcción; esta información es imprecisa, pues los inspectores presentan dudas y olvidos en algunos de los datos que muy difícilmente se pudieron corroborar durante la ejecución del proyecto. Es por ello, que necesariamente se debe indicar que no se tiene la topología de la red adecuada para realizar una simulación totalmente precisa, la mayoría de los datos de entrada de los elementos de la red quedan a criterio propio de los autores del proyecto, lo cual genera imprecisiones en las mediciones de la red actual, generando una idea amplia y general de dicho sistema de acueducto.

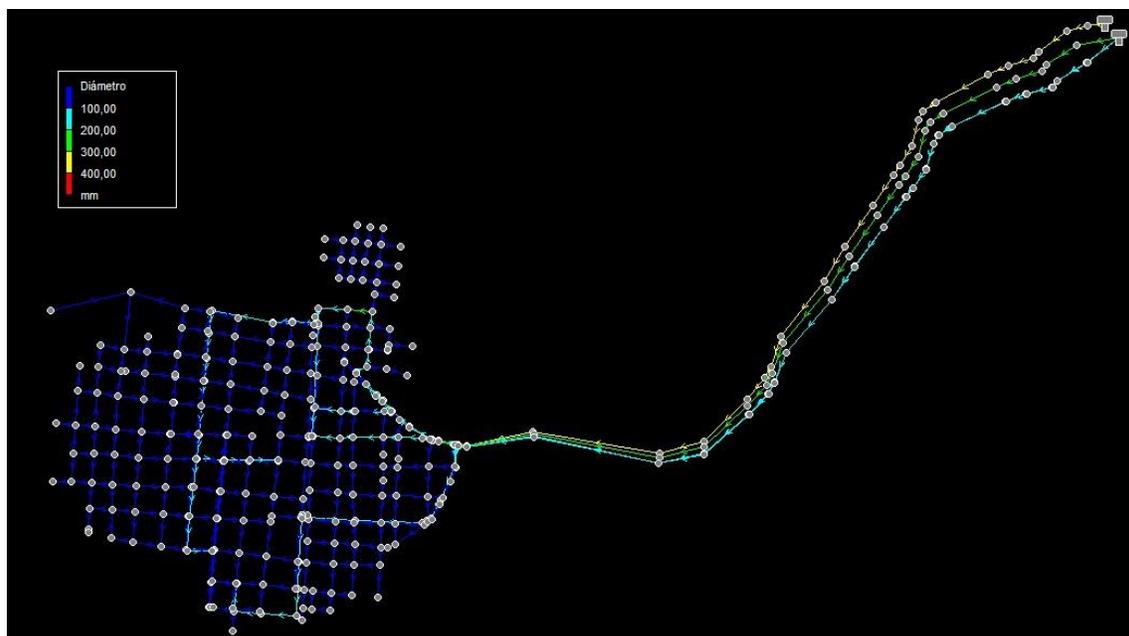


Figura 12. Modelación en Epanet escenario existente. Fuente: Autores 2020.

Alguna información fue necesaria asumirla de la manera más lógica posible, como los sentidos de flujo, diámetros internos reales, calibre o relación diámetro espesor de las tuberías, disposición de entrega de la demanda, entre otros., estos fueron investigados pero no se encontró una amplia información, por lo cual fue necesario asumir algunos basados en la experiencia de profesionales en el asunto colaboradores del proyecto. La empresa de servicios públicos EMSOPEL, no cuenta con bases de datos, planos record, memorias de cálculo, ni mucho menos la modelación de la red en un software como Epanet.

Para el cálculo de la red actual, se hicieron los respectivos cálculos con la población al año 2019, contando entonces con una cantidad de 12.361 habitantes para el casco urbano. La demanda suministrada corresponde al caudal máximo horario, repartido equitativamente, ya que no se conoce con exactitud la distribución de los habitantes de Pelaya, sumando a ello los caudales institucionales de entidades como la alcaldía, hospital, colegios, entre otros.

Teniendo en cuenta los objetivos plantados para el proyecto, se tiene como valor agregado que se realizaron planos en AutoCad, con coordenadas y cotas reales de cada uno de los nodos de la red tomadas en campo por medio de un GPS, obteniendo así las longitudes de cada tubería.

Obtención de resultados

Se generan el catastro de la red modelado en Epanet, se indica la información de las tuberías como longitudes, diámetros y tipo de material. En los nodos se representa la cota y su ubicación, las velocidades y presiones en cada tramo de tubería, exponiendo si cumplen o no con las disposiciones establecidas en la normativa actualmente vigente dentro del territorio nacional para las redes de distribución de los sistemas de acueductos, además, se indican la cantidad en metros lineales de la disposición de las tuberías teniendo en cuenta el material, diámetros y su respectivo porcentaje respecto a la totalidad de la red.

Análisis de resultados

Este paso se ejecuta con el fin de comparar las condiciones suministradas por la modelación respecto a los aspectos hidráulicos expuestos en la norma actualmente vigente en Colombia, especialmente aspectos como diámetros, material, presiones, caudales y velocidades.

4.4.1.4 Desarrollo del modelo digital contexto existente. Para la situación o contexto existente de la red de distribución del municipio de Pelaya, se incorporan para la modelación los dos tanques que hacen parte del sistema con sus respectivos volúmenes, las 4 líneas de conducción y además de todos los tramos de tubería que hacen parte de la red de distribución. Fue necesario generar información como planos topográficos, cotas, distribución de tuberías y flujos.

A continuación se refleja la simulación de la red de distribución de Pelaya y su comportamiento desde distintitos aspectos como cotas, diámetros, materiales (coeficiente de rugosidad), presiones, caudales y velocidades.

Información generada

- Planos en AutoCad: se asumió la elaboración de los planos por parte de los autores en donde se muestra el trazado de la red. En él se pueden identificar los diámetros de tuberías.

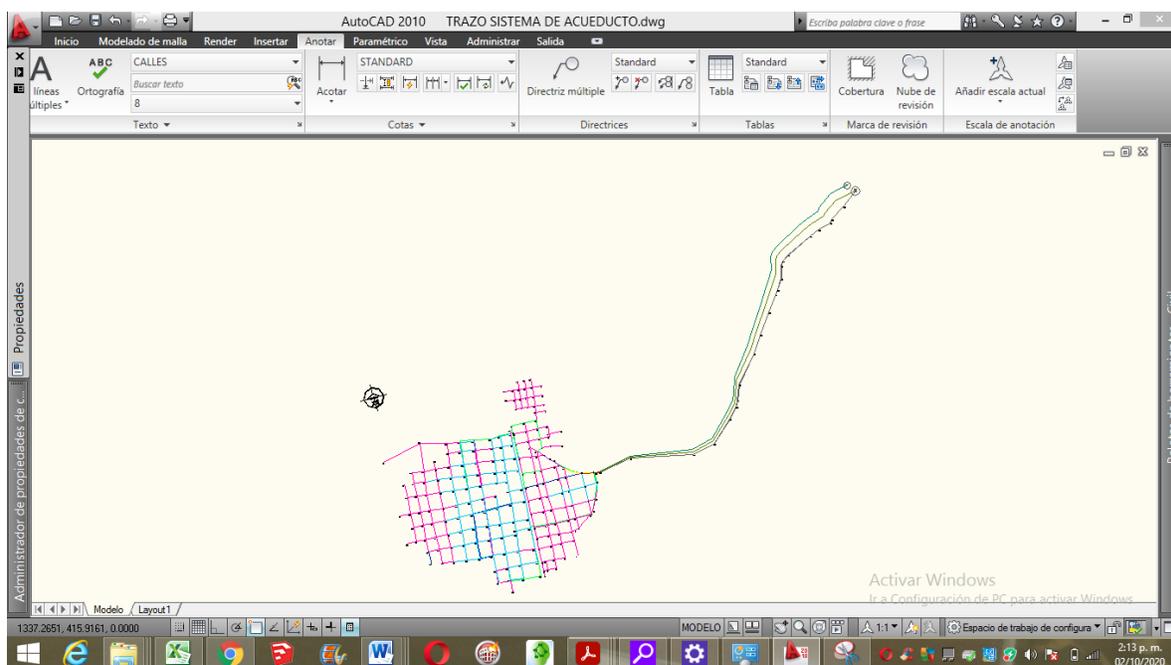


Figura 13. Trazado de la red por diámetros en AutoCad. Fuente: Autores 2020.

- Topografía: se tomaron las cotas en cada cruce de calles y/o donde fueran evidentes los cambios de dirección en las tuberías, cambios de material o donde hubieran intercepciones entre las tuberías. Para esta actividad fue necesario el uso de un GPS y la elaboración se realizó por los autores. Los valores de cota por cada nodo se aplican

al modelo en el software de Epanet y cada uno de ellos está especificado en los anexos del proyecto.

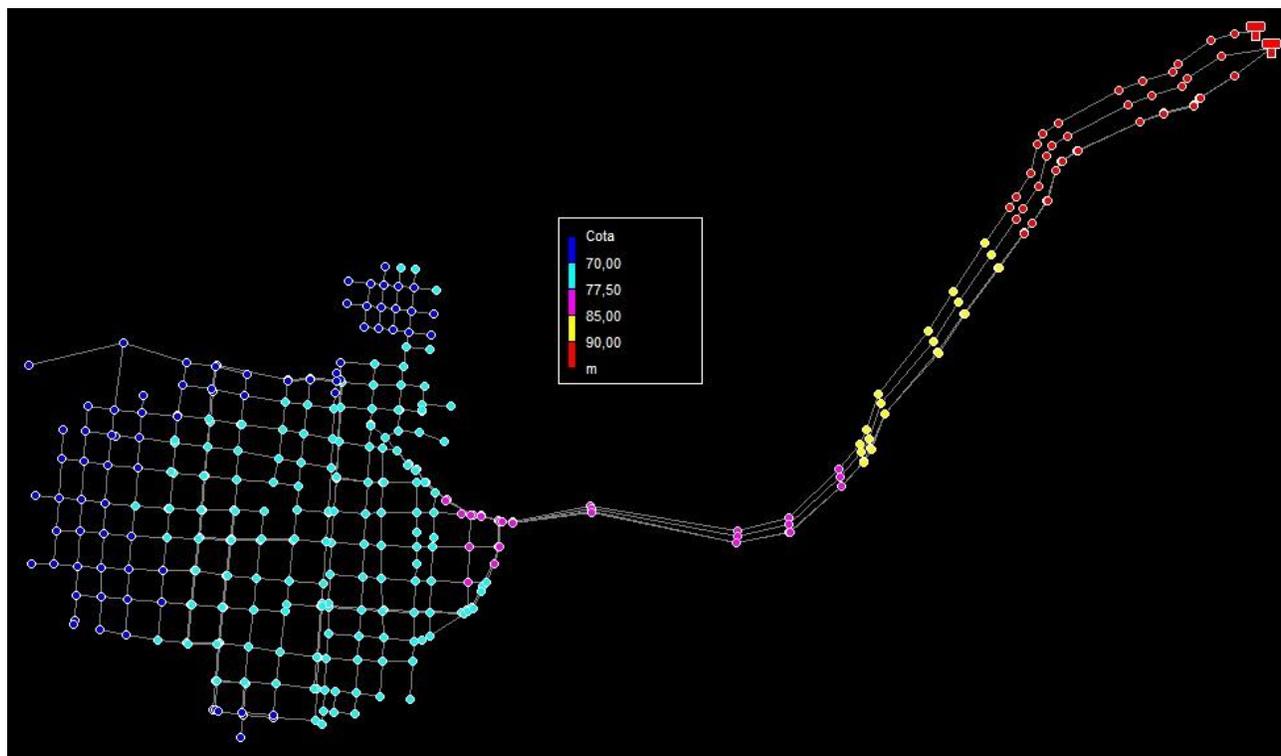


Figura 14. Diferencia de cotas en Epanet. Fuente: Autores 2020.

En la figura 14 se pueden visualizar las diferencias de alturas sobre el nivel del mar o cotas por nodos, se pudo definir que el punto más alto de la red se encuentra en uno de los tanques de almacenamientos a una altura de 97,2 m.s.n.m. y el más bajo en la red se encuentra en el nodo n250 a una altura de 65,8 m.s.n.m. Se determina que la topografía es relativamente plana, ya que las diferencias de alturas entre un nodo y otro no son tan considerables, es decir, las pendientes en las tuberías no son tan significativas.

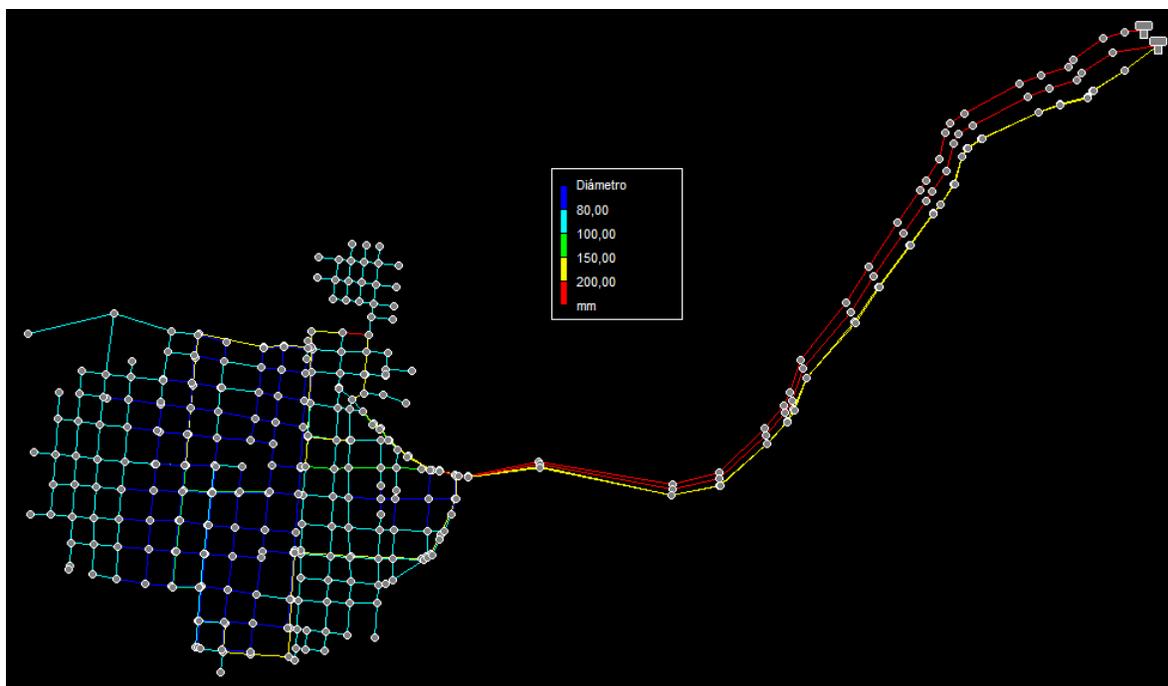


Figura 15. Diferencia de diámetros en Epanet. Fuente: Autores 2020.

En la figura 15, es notable las diferencias en los diámetros que se usan a lo largo de la red de distribución del municipio de Pelaya, se define que los diámetros están dentro de los márgenes permitidos contemplados en la norma actualmente vigente en el territorio Colombiano, Resolución 0330 del 2017. Los diámetros están entre los rangos de 16" (406,40 mm) para la conducción y en la red de 3" (76,2 mm).

En la red de distribución estudiada, se presentan tramos en Asbesto Cemento y PVC, por lo cual se hace necesario representar el modelo con los diferentes coeficientes de rugosidad los cuales cambian según el material en el que estén construidos. Cabe aclarar que para el asbesto cemento se asumió un coeficiente de rugosidad de 0,03 y PVC igual a 0,0015. En la figura a continuación se puede visualizar el comportamiento de la red según el coeficiente de rugosidad por cada tramo de tubería.



Figura 16. Diferencia de coeficiente de rugosidad en Epanet. Fuente: Autores 2020.

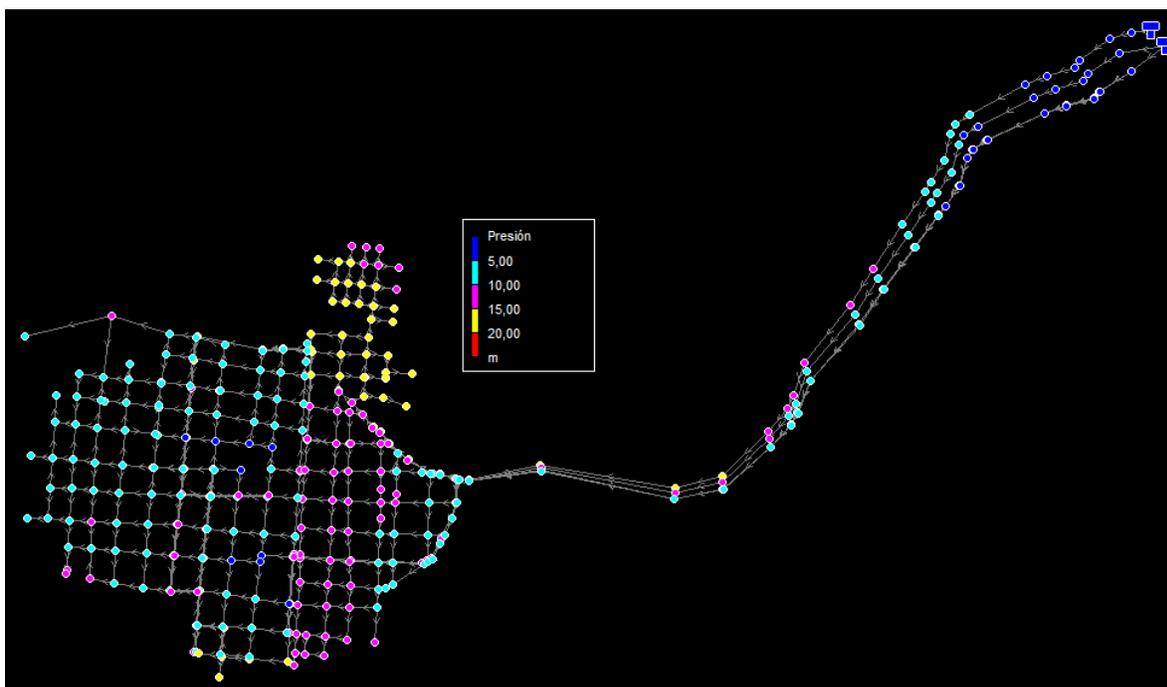


Figura 17. Diferencia de presiones de servicio en Epanet. Fuente: Autores 2020.

En la figura 17, se muestran las presiones de servicio en la red de distribución de agua

potable del municipio de Pelaya, departamento del Cesar. La presión de servicio máxima que se evidencia es de 18,91 m.c.a. y la menor de 4,91 m.c.a. Se define que un alto porcentaje del área de servicio no cumple con el aspecto de presión dentro de la red de distribución, este determina que la presión de servicio mínima en una red de distribución debe ser mayor o igual a 10 m.c.a. según la Resolución 0330 del 2017, y el sistema estudiado está representando presiones menores a 5 m.c.a. Dentro de los anexos expuestos se encuentra toda la información de las presiones presentadas por cada nodo.

Aunque el caudal no está condicionado dentro de los parámetros a cumplir por parte de la normativa actual, el software Epanet documenta el comportamiento de los caudales que se dan en la red de distribución. La figura a continuación representa los caudales que se generan en la red.



Figura 18. Diferencia de caudales en Epanet. Fuente: Autores 2020.

Según la figura 18, la red dentro del área urbana del municipio de Pelaya representa en sus caudales de servicios diferencias insignificantes, es decir, el comportamiento de las velocidades a lo largo de toda la red es muy similar. Solo en las líneas de conducción se puede observar un aumento considerable en los caudales.

Luego de verificar y estudiar el comportamiento de las presiones de servicio dentro de la red de distribución, es de esperarse que las velocidades que se registran dentro de la misma sean bajas y no cumplan en algunos tramos de tuberías con los parámetros de velocidad exigidos por la Resolución 0330 del 2017.



Figura 19. Diferencia de velocidades en Epanet. Fuente: Autores 2020.

En la imagen 19, se evidencia que las velocidades más pequeñas se efectúan en la periferia de la población, esto se debe a que en estas zonas se generan menores consumos. Contrario a lo anterior sucede en la zona céntrica donde se encuentran las zonas comerciales, institucionales y

demás, pues en ella se generan velocidades bastante altas, además de que la densidad poblacional es mayor en dicho sector.

A manera de información proporcionada por Epanet, se deduce que los tanques en la situación actual generan los siguientes caudales: para el tanque 1 se da un caudal de 28,36 l/s en su única línea de salida, mientras que el tanque 2 ofrece un caudal de 34,52 l/s; 12,45 l/s y 10,90 l/s respectivamente en sus 3 líneas de salida, lo que genera un total de 86,23 l/s entre los dos tanques en situaciones críticas de funcionamiento del sistema.

La información expuesta y los resultados obtenidos por Epanet, ofrecen una idea general y poco precisa respecto al funcionamiento de la red de distribución del acueducto de Pelaya, pues como se ha enfatizado anteriormente, se presentan muchas inconsistencias en la distribución de la red, dudas e inquietudes en la información suministrada por la empresa de servicios públicos EMSOPEL y su personal, cuya información no fue verificada en su totalidad por motivos ajenos al proyecto. Es por ello que este proyecto de grado debe ser de gran importancia para la empresa y a quien pueda interesar en el municipio, pues se puede empezar a tecnificar y modernizar el sistema de distribución.

4.4.1.5 Alternativas de optimización. Para efectos de un mejoramiento de la red de distribución en estudio, se hace necesario sustituir las líneas o tuberías que se encuentran en asbesto cemento por material PVC, ya que estas tienen varios años de antigüedad y por la normativa Colombiana actualmente vigente este material se debe sustituir. Actualmente la red cuenta con 20,99 kilómetros en dicho material, el cual debería ser sustituido por un material que apruebe la legislación en Colombia. Para este caso en particular, se implementara el PVC para efectos de la modelación.



Figura 20. Rugosidad del PVC en Epanet. Fuente: Autores 2020.

La figura 20 muestra la igualdad de la rugosidad en toda la red, ya que al asumir el mismo material para la red se verá reflejada simplemente en el coeficiente de rugosidad, el cual será el mismo para todo el sistema.

Se asumen las alturas de las cotas y los diámetros de las tuberías iguales a los que se encuentran en la actualidad.

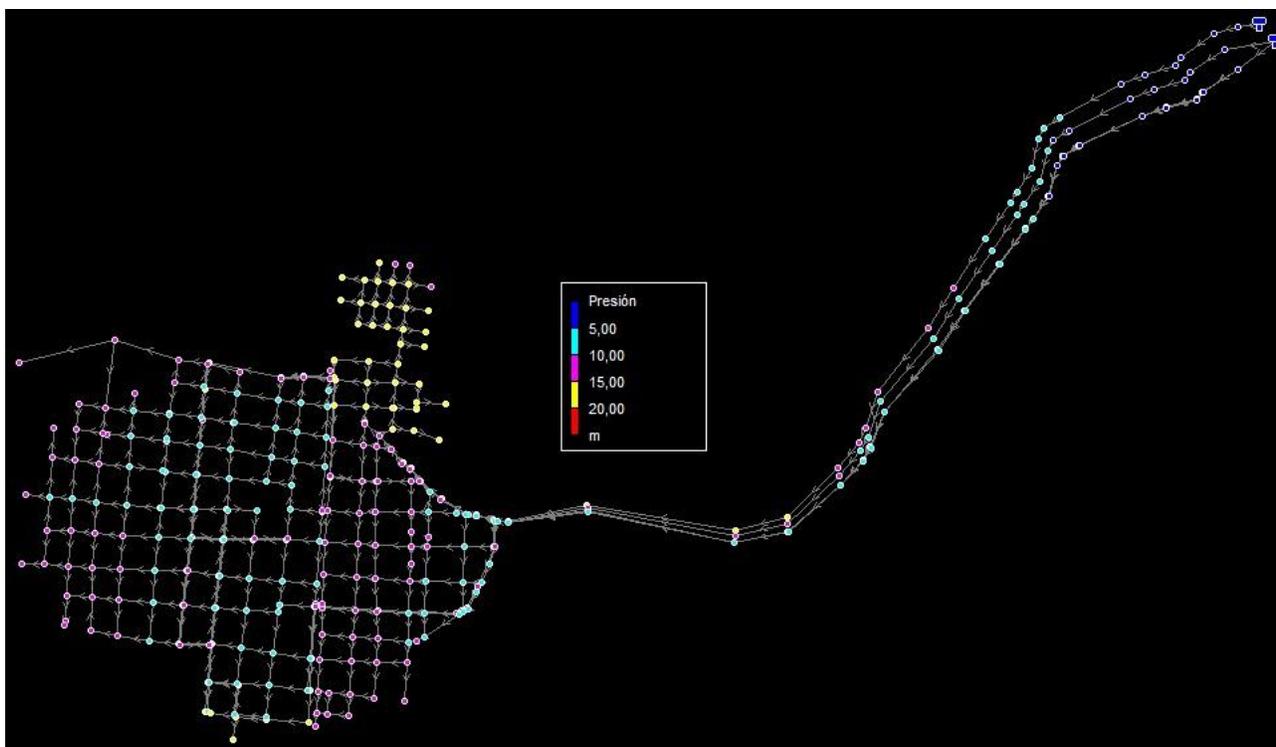


Figura 21. Presiones de servicio de la red optimizada en Epanet. Fuente: Autores 2020.

En la figura 21, solo planteando como propuesta de optimización la reposición de las tuberías que se encuentran en material de asbesto cemento y simulando la situación, se puede evidenciar una mejora notoria en las presiones de servicio presentes en la red, se podría concluir que con realizar estos cambios en la red las presiones de servicios cumplirían con la normativa vigente ya que la mínima se encuentra en 9,24 m.c.a y la máxima en 19,08 m.c.a.

Realizando el respectivo análisis de los datos ofrecidos por Epanet, se concluye que los cambios no son tan notorios en términos de velocidad y caudal, ello posiblemente se deba a que las pérdidas por fricción son insignificantes como para generar cambios importantes en el funcionamiento de la red. Caso contrario sucede con las presiones, en donde los sectores que estaban muy por debajo del nivel mínimo de presiones de servicio expuesto en la resolución 0330 ya se acercan al rango permitido. Esto se podría dar gracias a las modificaciones realizadas

al modelo, se pasó de una tubería con diámetro de 76,2 mm en asbesto cemento por una en PVC con diámetro 80,42 mm RDE 2; este dato se obtuvo de los manuales de materiales Pavco Colombia.

Otra de las modelaciones realizadas en Epanet, se plantea basados en una situación futura con el periodo de diseño de 25 años para el municipio de Pelaya y se adoptan los caudales de diseño obtenidos para dicha población en el año 2045 (dichos cálculos están expuestos en el numeral 4.3.1. del presente proyecto).

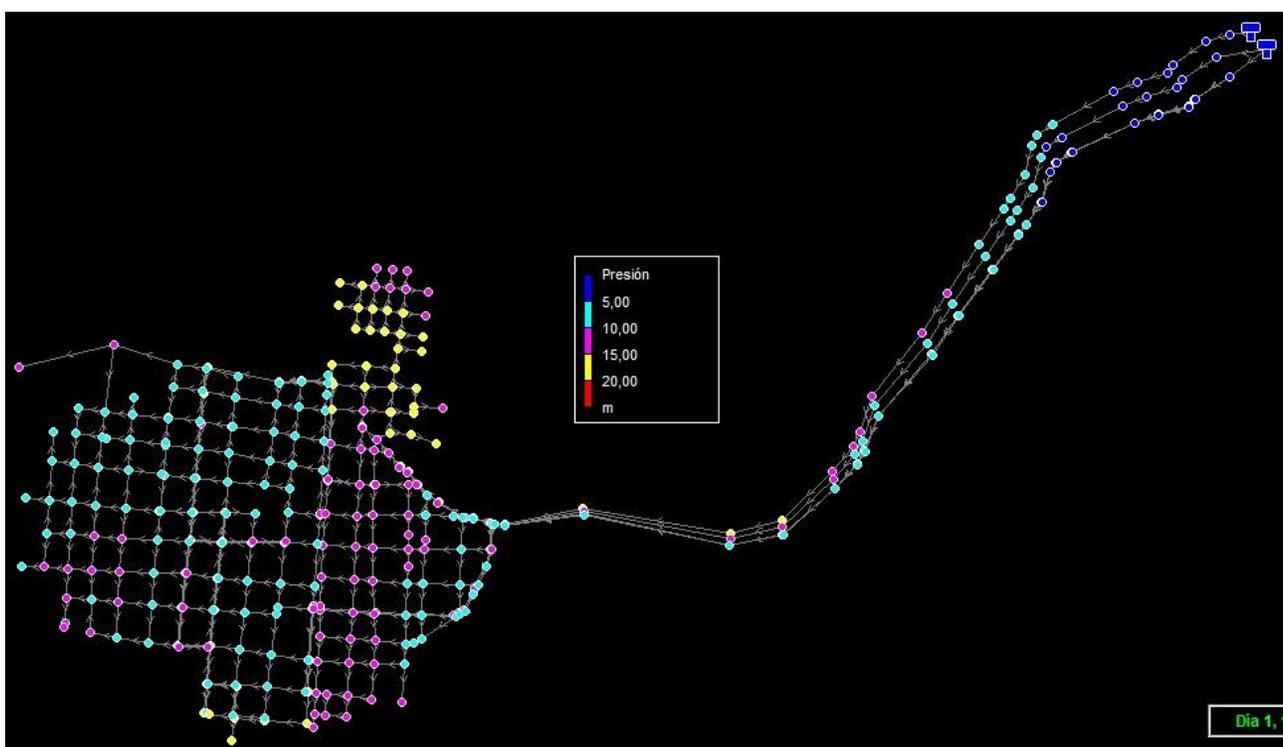


Figura 22. Presiones de servicio de la red población futura en Epanet. Fuente: Autores 2020.

De la figura 22, se puede deducir que los cambios respecto a la modelación anterior no es tan considerable desde el punto de vista de las presiones de servicio; es necesario tener en cuenta que el caudal para esta modelación es mucho mayor a la situación actual, esto conlleva a que la

demanda por nodos sencillamente sea mayor, mas no se está generando un mayor área de servicio aun con el aumento de la población.

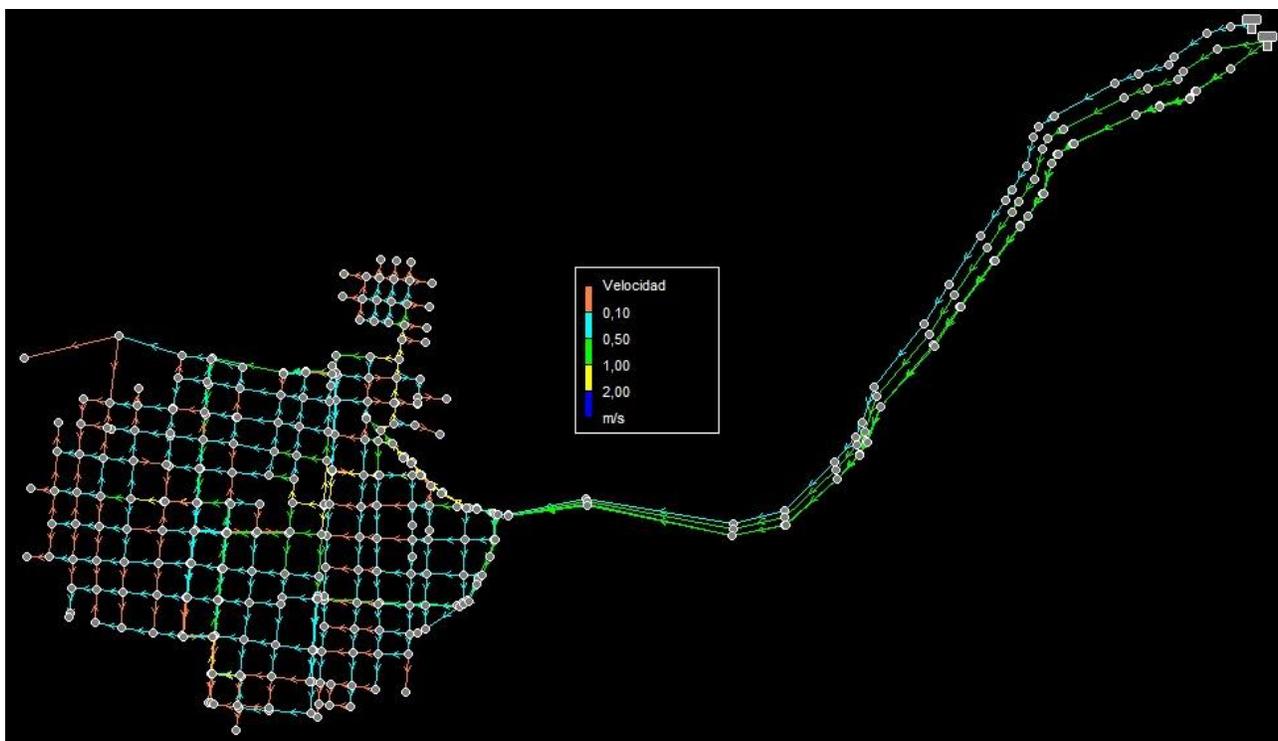


Figura 23. Velocidades de la red, con la pob. Futura en Epanet. Fuente: Autores 2020.

Para esta modelación se asume un caudal máximo horario para la red de 75,24 l/s, adicionando los consumos institucionales, comerciales, etc., se obtiene un caudal de 91,97 l/s, los tanques generan los siguientes caudales: tanque 1: 32,23 l/s; tanque 2: 39,07 l/s; 14,47 l/s y 12,72 l/s; para un total de 98,94 l/s.

4.5 Seleccionar una alternativa de solución y presentar planos constructivos y/o manual de operación de la red de distribución estudiada.

4.5.1 Descripción de la alternativa de mayor conveniencia para implementar en la red teniendo en cuenta aspectos técnicos, operativos y económicos. Teniendo en cuenta la información obtenida de los modelos digitales planteados, se desarrolla la descripción de la alternativa o propuesta de optimización con el fin de mejorar el funcionamiento de la red y de esta manera cumplir con los estándares exigidos por la Resolución 0330 del año 2017.

La optimización de la red de distribución de agua potable del municipio de Pelaya, se propone realizando la reposición de las tuberías o tramos de las mismas construidas en el material de asbesto cemento por tuberías de PVC.

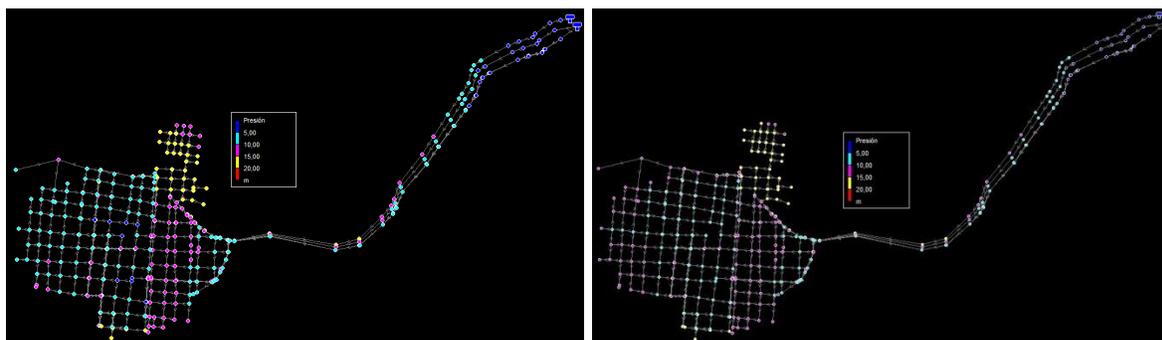


Figura 24. Presiones de servicio en red actual y optimizada. Fuente: Autores 2020.

Analizando las dos situaciones, la actual y la optimizada, se logran evidenciar considerablemente las variaciones que se dan en las presiones de servicio dentro del sistema, mejorando la misma notoriamente al realizar la reposición de las tuberías en consideración.

Es conveniente para el mejorar el funcionamiento de la red instalar mediciones al menos en las salidas de los tanques de almacenamiento, esto con el fin de tener una medición exacta y determinar realmente las pérdidas de flujos, pues para el caso de la simulación se tomó una

pérdida del 25% pero es un dato que no se conoce, el cual podría ayudar a entender mejor el funcionamiento de la red.

4.5.2 Producto final. En la actualidad se evidencia por simple observación y no por datos estadísticos, que la red de distribución del acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya funciona a pesar de las inconsistencias presentadas a lo largo del desarrollo del presente proyecto y que no se cuenta con ningún estudio o análisis que respalde el funcionamiento de la red basado en criterios técnicos expresando porque se da dicho comportamiento de la red.

Se entrega la modelación digital de los distintos contextos planteados en capítulos anteriores sobre la red de distribución del sistema de acueducto del municipio de Pelaya, para que las entidades encargadas hagan uso de los mismo teniendo en cuenta que se ejecutaron bajo los aspectos técnicos y operativos que contempla la normativa vigente en Colombia, Resolución 0330 del 2017, con el fin de mejorar el servicio de agua potable a la comunidad, ya que este municipio se encuentra en constante expansión territorial y posee un mal manejo del sistema de acueducto, en especial de su red de distribución, lo que conllevaría a un posible colapso del servicio.

Además, se entrega un documento con la base teórica y el proceso que se llevó a cabo en la elaboración del modelo digital, las recomendaciones y mejoras que se plantean para la red de distribución de agua potable de Pelaya con el fin de optimizar su funcionamiento.

Con este proyecto se pretende apoyar los procesos de la red de distribución de agua potable del municipio de Pelaya para ser de esta una mejor red; es necesario resaltar la importancia de crear vínculos que contribuyan a mantener los modelos digitales actualizados para poder manejarlo y darle utilidad las veces necesarias por las entidades que lo necesiten.

Si es posible la optimización de la red usando la información ofrecida por el programa EPANET, con este modelo digital se mejoran las condiciones y funcionalidad del componente. Con los cambios que se sugiere realizar a la red se estima disminuyan el índice de pérdidas no contabilizada y mejoren las presiones en los puntos más críticos de la red.

Capítulo 5. Conclusiones

Al momento de realizar las inspecciones visuales a la estructura general de la red de distribución de agua potable del municipio de Pelaya se tomaron los debidos datos de campo, ya que es información vital para lograr cumplir las metas propuestas para este proyecto. Adicionalmente se evidencio que la red presenta un deterioro continuo y considerable por falta de intervención y mantenimientos.

Teniendo en cuenta el análisis de la información recopilada acerca de la red de distribución, se determina que un porcentaje del elemento se encuentra en condiciones obsoleta y rudimentaria, por lo que se recomienda realizar una adecuación significativa de la red con el propósito de poder brindar un mejor servicio a la población, quienes son los directamente afectados por el mal servicio.

Se analizó la infraestructura existente de la red de distribución, encontrando el no cumplimiento de algunos parámetros exigidos en la norma actualmente vigente en el territorio colombiano, la Resolución 0330 del 2017, como materiales de construcción de las tuberías instaladas, profundidades de la tubería, insuficiencia en instrumentos para la macro y micro medición, entre otros.

Se originó el catastro de las redes de tuberías y demás elementos que conforman la red, donde se especifican cada una de las características de cada elemento, esto es de gran importancia y aporte para las entidades responsables de la operación del sistema, pues se tiene un conocimiento más preciso de la red y puede servir de base para la toma de decisiones al momento de efectuar cambios en pro del mejoramiento constante del servicio.

Se logra establecer los porcentajes de tubería por material, obteniendo que el 60,98% de la red está construida en PVC y el 39,02% se encuentra en Asbesto Cemento, lo que considera un alto índice de tubería por realizarle reposición, ya que la normativa Colombiana no enmarca el Asbesto como un material a utilizar en la actualidad para sistemas de acueducto.

Respecto al diagnóstico técnico-operativo realizado, la red de distribución de agua potable en cuestión tiene una cobertura del 91% dentro del territorio que comprende el área urbana del municipio de Pelaya, existe un inadecuado resumen de mantenimientos periódicos a la red y no se realiza un seguimiento y/o control a los caudales ofrecidos por el sistema ante la ausencia de herramientas para dicha función.

De igual manera se concluye que los aspectos más influyentes en el mal servicio de la red de distribución son el alto índice de pérdidas en la red, la falta de personal capacitado para la operación del sistema, construcción de estructuras sin seguimiento y control adecuado por parte de la empresa prestadora del servicio, la falta de cultura de la población en estudio, conexiones erradas, falta de información técnica para operación y servicio eficiente de la red, entre otras.

Se llevó a cabo un análisis de la población actual y futura, teniendo en cuenta los lineamientos dados por la Resolución 0330 del 2017 y el Reglamento Técnico Para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, con los datos extraídos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE y alguna información de estimaciones estadísticas realizada por la Secretaria de Planeación y el SISBEN del municipio de Pelaya.

Luego de realizar los cálculos necesarios respecto a la demanda de agua del municipio de Pelaya, los resultados de los caudales para el año 2045 son: $Q_{md}= 41,80 \text{ L/s}$, $Q_{MD}= 61,31 \text{ L/s}$ y $Q_{MH}= 91,97 \text{ L/s}$.

Se ejecuta la simulación de la red actual teniendo en cuenta las deficiencias que existen en la información de la misma, la cual sirvió como guía para entender el funcionamiento pero que en algunos casos se podría estar acertado como alejado de la realidad. Por otra parte, la red no cuenta con ningún dato estadístico sobre las presiones de servicio, velocidades o caudales con las que se podría generar una calibración de la misma y así poder determinar los cambios o adecuaciones necesarias y reales con el fin de optimizar el componente estudiado.

Los contextos para generar la optimización de la red se asumen por criterio de los autores, pero en términos generales de la red, se resume en el cambio de materiales que en la actualidad no son considerados dentro de la normativa vigente y por otra parte el aumento de la población para el diseño a futuro. En términos particulares, el análisis tuvo una limitante por no tener los parámetros para una calibración de la red.

En términos de presiones, se observa que estas están más cercanas al límite mínimo que plantea la resolución 0330 del 2017, el valor predominante a lo largo de la red fue de 12 m.c.a. con lo que se podría decir que la red en algunos sectores posee buenas presiones de servicio para su funcionamiento así como en otras partes está muy por debajo del límite mínimo.

Es de gran importancia mostrar a la empresa prestadora del servicio lo útil que podría ser manejar una base de datos confiable y segura sobre la red, así como tener y manejar un programa que indique el funcionamiento de la red, tanto en términos técnicos, operativos y legales, pues la resolución 0330 exige dichas simulaciones y bases de datos para la operación de los sistemas de acueductos.

Capítulo 6. Recomendaciones

Se deben realizar mantenimientos preventivos y correctivos con mayor frecuencia a las redes de distribución del sistema de acueducto del municipio de Pelaya basados en las recomendaciones estipuladas en la Resolución 0330 del 2017 como lavados, limpiezas, remoción de sedimentos y demás.

Contratar personal idóneo y capacitado para realizar las labores de operación, inspección y mantenimiento de las redes de distribución al servicio de la comunidad, ya que se deben realizar intervenciones en pro del mejoramiento del servicio y funcionamiento del sistema.

Se sugiere instalar dispositivos para la medición de agua o reguladores de consumo que permitan llevar un seguimiento y control de los volúmenes de agua gastado a diario. Esto con el fin de determinar fallas dentro de la red, desperdicios de agua o el consumo desmedido de la misma para así implementar medidas que corrijan las fallas detectadas.

Es necesario definir los tramos de tubería en zonas de riesgo, con el fin de realizar un análisis donde se indique los factores de amenaza y vulnerabilidad a los que se encuentran expuestos y plantear obras necesarias para la mitigación del mismo.

Se recomienda aplicar las sugerencias planteadas en la alternativa de optimización basada en el comportamiento del modelo digital para que mejore el servicio y funcionamiento de la red de distribución de agua potable y optimizar los procesos.

Referencias

ABC, D. (s.f.). *DEFINICIÓN ABC*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/construccion.php>

Méndez, A. K. (2013). *Rediseño del sistema de agua potable de la ciudad de Nandaine, Departamento de Granada (Nicaragua)*.

Florián, S. B. (2017). *Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable del municipio de Madrid, Cundinamarca*.

Ramírez, J. (2015). *Análisis, Diagnostico y Propuesta de mejora de la red de distribución de agua potable y riego del municipio de Buñol, Valencia (España)*.

Martinez, F. J., Iglesias P.L., Zuñiga M.G., Fuentes V. (2019). “*Diagnostico, análisis y mejora de la red de agua potable de Guano (Ecuador)*.” Caso de estudio.

Murillo, C. A., Alcivar, J.J. (2015). *Estudio y diseño de la red de distribución de agua potable para la comunidad Puerto Ebano de la parroquia Leonidas Plaza del Canton Sucre (Ecuador)*

Martínez, B. R. (2010). *Diseño de la red de distribución de agua potable para la aldea Yolwitz del municipio de San Mateo Ixtapan, Huehuetenango (Guatemala)*.

López, R. J. (2009). *Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para las comunidades Santa Fe y Cpachal, Piriri, Estado Anzoátegui (Venezuela)*.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS. Título B*.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2017). *Resolución 0330 del 8 de Junio de 2017, nuevo Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS*.

Apéndices

Tabla 22.

Topología de la red extraída de Epanet

Topología de la red de acueducto de Pelaya.					
Tubería	Nudo Inicial	Nudo final	Longitud	D. interno	Rugosidad
p1	n1	n2	81,81	80.42	0.0015
p2	n3	n1	77,22	80.42	0.0015
p3	n5	n4	85,00	80.42	0.0015
p4	n7	8	104,88	152.22	0.0015
p5	n7	n8	122,00	152.22	0.0015
p6	3	n9	129,70	80.42	0.0015
p8	n11	n12	116,60	80.42	0.0015
p9	n12	6	100,77	80.42	0.0015
p10	n14	n6	68,73	152.22	0.0015
p11	n16	7	20,23	80.42	0.0015
p12	n16	n17	104,03	80.42	0.0015
p13	n19	n15	79,99	80.42	0.0015
p14	n19	n14	89,15	152.22	0.0015
p15	n18	n11	87,53	76.2	0.03
p16	n20	n18	125,60	76.2	0.03
p17	n21	n37	50,05	80.42	0.0015
p18	n23	n22	129,20	152.22	0.0015
p19	n24	n23	36,66	152.22	0.0015
p20	n25	n24	57,36	152.22	0.0015
p21	n26	n25	98,98	152.22	0.0015
p22	n27	n26	108,40	152.22	0.0015
p23	n28	n27	31,98	152.22	0.0015
p24	n29	n28	80,97	198.21	0.0015
p25	n30	n31	82,00	198.21	0.0015
p26	n31	n32	31,90	198.21	0.0015
p27	n32	n33	108,30	198.21	0.0015
p28	n33	n34	98,91	198.21	0.0015
p29	n34	n35	58,14	101.6	0.03
p30	n35	n36	35,55	101.6	0.03
p31	n36	n21	65,26	101.6	0.03
p32	n38	n37	41,52	80.42	0.0015
p33	n38	n39	68,17	80.42	0.0015
p34	n21	n38	65,62	80.42	0.0015
p35	n40	n137	357,06	152.22	0.0015

p36	n20	n41	131,50	82.42	0.0015
p37	n9	n41	113,20	82.42	0.0015
p38	n42	n9	51,70	80.42	0.0015
p39	n37	n42	121,50	80.42	0.0015
p40	n34	n43	152,10	152.22	0.0015
p41	n43	n44	59,72	152.22	0.0015
p42	n44	n40	115,40	152.22	0.0015
p43	n45	n55	27,64	82.42	0.0015
p44	n9	n46	114,64	80.42	0.0015
p45	n42	n47	113,51	80.42	0.0015
p46	n41	n48	126,10	82.42	0.0015
p47	n46	n48	114,10	103.42	0.0015
p48	n47	n46	56,74	103.42	0.0015
p49	n49	n47	130,57	103.42	0.0015
p50	n50	n49	64,56	103.42	0.0015
p51	n51	n50	99,44	103.42	0.0015
p52	n52	n68	9,56	101.6	0.03
p53	n53	n52	30,21	203.2	0.03
p54	n54	n70	9,16	203.2	0.03
p55	n55	n49	111,90	80.42	0.0015
p56	n50	n56	75,42	80.42	0.0015
p57	n56	n45	53,66	80.42	0.0015
p58	n48	n57	115,30	80.42	0.0015
p59	n58	n57	116,10	80.42	0.0015
p60	n46	n58	114,90	80.42	0.0015
p61	n47	n59	119,16	80.42	0.0015
p62	n59	n58	62,82	80.42	0.0015
p63	n60	n59	131,50	76.2	0.03
p64	n61	n60	52,46	76.2	0.03
p65	n62	n60	58,16	76.2	0.03
p66	n63	n62	33,56	76.2	0.03
p67	n60	n64	60,72	76.2	0.03
p68	n62	n65	123,50	76.2	0.03
p69	n66	n62	134,83	76.2	0.03
p70	n67	n66	105,94	76.2	0.03
p71	n68	n66	115,52	76.2	0.03
p72	n69	n67	93,03	76.2	0.03
p73	n70	n71	94,12	152.22	0.0015
p74	n72	n73	155,20	152.22	0.0015
p75	n73	n74	88,17	152.22	0.0015
p76	n74	n75	20,92	152.22	0.0015
p77	n75	n76	22,41	152.22	0.0015
p78	n76	n77	283,20	152.22	0.0015

p79	n77	n78	203,40	152.22	0.0015
p80	n71	n79	66,20	76.2	0.03
p81	n79	n80	73,51	80.42	0.0015
p82	n66	n81	127,46	76.2	0.03
p83	n80	n81	65,96	80.42	0.0015
p84	n81	n65	135,30	80.42	0.0015
p85	n65	n82	58,12	80.42	0.0015
p86	n64	n82	63,11	80.42	0.0015
p87	n83	n82	116,70	80.42	0.0015
p88	n84	n83	58,65	80.42	0.0015
p89	n65	n84	116,90	80.42	0.0015
p90	n85	n84	122,60	80.42	0.0015
p91	n86	n85	18,74	80.42	0.0015
p92	n81	n86	106,50	80.42	0.0015
p93	n80	n87	35,66	80.42	0.0015
p94	n87	n88	69,60	80.42	0.0015
p95	n88	n86	19,36	80.42	0.0015
p96	n85	n89	148,18	80.42	0.0015
p97	n84	n89	86,46	80.42	0.0015
p98	n89	n90	34,27	80.42	0.0015
p99	n90	n91	30,01	80.42	0.0015
p100	n83	n91	103,00	80.42	0.0015
p101	n91	n92	110,90	80.42	0.0015
p102	n91	n93	76,52	80.42	0.0015
p103	n93	n94	135,00	80.42	0.0015
p104	n93	n95	110,00	80.42	0.0015
p105	n95	n92	86,05	80.42	0.0015
p106	n95	n96	128,60	80.42	0.0015
p107	n92	n97	87,72	80.42	0.0015
p108	n59	n98	121,40	80.42	0.0015
p109	n82	n98	122,50	80.42	0.0015
p110	n98	n99	119,60	80.42	0.0015
p111	n83	n99	116,90	80.42	0.0015
p112	n101	n100	118,60	80.42	0.0015
p113	n99	n101	76,16	80.42	0.0015
p114	n102	n100	123,60	80.42	0.0015
p115	n103	n102	121,40	80.42	0.0015
p116	n103	n101	121,10	80.42	0.0015
p117	n98	n103	66,94	80.42	0.0015
p118	n57	n102	112,70	80.42	0.0015
p119	n49	n61	70,19	80.42	0.0015
p120	n50	n63	90,87	80.42	0.0015
p121	n78	n104	9,62	152.22	0.0015

p122	n104	n105	23,15	152.22	0.0015
p123	n105	n117	11,72	152.22	0.0015
p124	n117	n107	184,30	152.22	0.0015
p125	n107	n108	119,00	152.22	0.0015
p126	n108	n109	114,70	152.22	0.0015
p127	n109	n110	152,30	152.22	0.0015
p128	n110	n111	111,40	152.22	0.0015
p129	n111	n112	116,30	152.22	0.0015
p130	n113	n114	127,60	76.2	0.03
p131	n114	n115	85,61	76.2	0.03
p132	n116	n115	123,90	76.2	0.03
p133	n113	n116	81,93	76.2	0.03
p134	n117	n113	2,49	76.2	0.03
p135	n113	n118	184,70	76.2	0.03
p136	n118	n119	115,60	76.2	0.03
p137	n119	n120	142,50	76.2	0.03
p138	n120	n121	119,10	76.2	0.03
p139	n122	n121	147,90	76.2	0.03
p140	n114	n122	25,22	76.2	0.03
p141	n118	n121	135,20	80.42	0.0015
p142	n121	n123	116,10	76.2	0.03
p143	n123	n124	107,40	76.2	0.03
p144	n125	n126	106,00	76.2	0.03
p145	n124	n127	134,20	76.2	0.03
p146	n128	n127	108,10	76.2	0.03
p147	n128	n123	138,70	76.2	0.03
p148	n129	n116	154,40	76.2	0.03
p149	n129	n130	118,40	76.2	0.03
p150	n130	n115	152,20	76.2	0.03
p151	n115	n131	120,80	76.2	0.03
p152	n131	n132	140,20	76.2	0.03
p153	n130	n132	121,70	76.2	0.03
p154	n130	n133	110,10	76.2	0.03
p155	n134	n133	119,10	76.2	0.03
p156	n134	n129	107,90	76.2	0.03
p157	n136	n135	15,72	152.22	0.0015
p158	n40	n136	122,10	152.22	0.0015
p160	n137	n138	111,70	152.22	0.0015
p161	n138	n139	82,29	152.22	0.0015
p162	n139	n140	262,30	152.22	0.0015
p163	n140	n141	96,07	152.22	0.0015
p164	n141	n142	110,50	152.22	0.0015
p165	n143	n142	93,25	152.22	0.0015

p166	n144	n143	106,70	152.22	0.0015
p167	n145	n144	125,10	152.22	0.0015
p168	n145	n146	100,60	103.42	0.0015
p169	n146	n147	113,40	103.42	0.0015
p170	n147	n148	109,40	103.42	0.0015
p171	n148	n149	119,40	103.42	0.0015
p172	n151	n150	30,31	80.42	0.0015
p174	n153	n152	53,26	76.2	0.03
p175	n153	n154	94,17	76.2	0.03
p176	n155	n153	111,40	76.2	0.03
p177	n155	n156	104,90	76.2	0.03
p178	n157	n155	107,30	76.2	0.03
p179	n157	n158	111,90	76.2	0.03
p180	n159	n158	88,31	76.2	0.03
p181	n133	n159	83,60	76.2	0.03
p182	n159	n160	92,54	76.2	0.03
p183	n160	n161	137,10	76.2	0.03
p184	n162	n160	86,80	76.2	0.03
p185	n158	n162	86,17	76.2	0.03
p186	n162	n199	147,04	76.2	0.03
p187	n199	n164	115,71	76.2	0.03
p188	n164	n165	118,50	76.2	0.03
p189	n165	n166	130,40	76.2	0.03
p190	n166	n167	85,78	76.2	0.03
p191	n161	n168	116,80	76.2	0.03
p192	n168	n169	115,50	76.2	0.03
p193	n171	n170	140,10	80.42	0.0015
p194	n172	n171	125,30	80.42	0.0015
p195	n145	n172	121,70	80.42	0.0015
p196	n174	n173	120,50	76.2	0.03
p197	n175	n174	118,00	76.2	0.03
p198	n132	n176	107,80	76.2	0.03
p199	n176	n175	110,40	80.42	0.0015
p200	n169	n170	128,90	76.2	0.03
p201	n177	n169	131,30	76.2	0.03
p202	n178	n177	106,80	76.2	0.03
p203	n179	n178	119,20	76.2	0.03
p204	n179	n180	118,14	76.2	0.03
p205	n126	n180	136,67	76.2	0.03
p206	n181	n175	112,40	80.42	0.0015
p207	n182	n181	130,90	80.42	0.0015
p208	n183	n182	113,00	80.42	0.0015
p209	n184	n183	138,90	80.42	0.0015

p210	n185	n184	133,70	80.42	0.0015
p211	n185	n186	105,60	80.42	0.0015
p212	n151	n187	94,10	76.2	0.03
p213	n154	n187	92,80	76.2	0.03
p214	n154	n188	82,34	76.2	0.03
p215	n189	n188	76,92	76.2	0.03
p216	n187	n189	81,49	76.2	0.03
p217	n156	n154	107,60	76.2	0.03
p218	n156	n191	81,23	76.2	0.03
p219	n191	n188	106,10	76.2	0.03
p220	n193	n192	78,01	76.2	0.03
p221	n192	n194	119,80	76.2	0.03
p222	n195	n194	81,22	76.2	0.03
p223	n193	n195	117,90	76.2	0.03
p224	n196	n193	106,50	80.42	0.0015
p225	n188	n193	153,50	80.42	0.0015
p226	n191	n197	149,06	80.42	0.0015
p227	n198	n197	119,00	76.2	0.03
p228	n199	n196	97,79	80.42	0.0015
p229	n200	n199	104,00	80.42	0.0015
p230	n201	n200	114,90	76.2	0.03
p231	n202	n201	109,60	76.2	0.03
p232	n203	n202	127,00	76.2	0.03
p233	n127	n203	116,30	76.2	0.03
p234	n204	n124	135,70	76.2	0.03
p235	n204	n205	107,70	76.2	0.03
p236	n194	n206	106,90	80.42	0.0015
p237	n207	n206	83,90	80.42	0.0015
p238	n195	n207	108,80	80.42	0.0015
p239	n198	n195	112,90	76.2	0.03
p240	n198	n208	118,20	76.2	0.03
p241	n164	n198	99,74	76.2	0.03
p242	n168	n164	104,40	76.2	0.03
p243	n174	n168	123,60	76.2	0.03
p244	n174	n209	106,00	76.2	0.03
p245	n209	n210	120,10	76.2	0.03
p246	n210	n211	123,20	76.2	0.03
p247	n211	n125	141,10	76.2	0.03
p248	n146	n212	120,70	103.42	0.0015
p249	n212	n213	124,10	103.42	0.0015
p250	n213	n214	147,50	103.42	0.0015
p251	n214	n215	105,80	103.42	0.0015
p252	n124	n125	120,80	76.2	0.03

p253	n126	n216	118,70	76.2	0.03
p254	n216	n217	96,31	80.42	0.0015
p255	n217	n218	117,30	80.42	0.0015
p256	n219	n218	99,47	80.42	0.0015
p257	n219	n216	127,60	80.42	0.0015
p258	n220	n219	121,21	76.2	0.03
p259	n179	n221	124,50	76.2	0.03
p260	n221	n219	110,70	80.42	0.0015
p261	n221	n222	121,40	80.42	0.0015
p263	n171	n223	108,60	80.42	0.0015
p264	n170	n224	111,70	80.42	0.0015
p265	n223	n224	139,80	80.42	0.0015
p266	n223	n225	110,10	80.42	0.0015
p267	n222	n225	103,00	80.42	0.0015
p268	n226	n225	126,00	80.42	0.0015
p269	n221	n226	100,90	80.42	0.0015
p270	n218	n226	106,60	80.42	0.0015
p271	n178	n222	126,70	76.2	0.03
p272	n162	n191	104,89	76.2	0.03
p273	n158	n156	105,80	76.2	0.03
p274	n135	n157	157,47	76.2	0.03
p275	n132	n202	105,30	76.2	0.03
p276	n131	n203	104,20	76.2	0.03
p277	n128	n131	113,50	76.2	0.03
p278	n122	n128	117,30	76.2	0.03
p279	n202	n209	118,90	76.2	0.03
p280	n209	n178	119,30	76.2	0.03
p281	n203	n210	123,90	76.2	0.03
p282	n210	n179	112,70	76.2	0.03
p283	n211	n220	105,25	76.2	0.03
p284	n127	n211	123,90	76.2	0.03
p285	n123	n227	127,90	76.2	0.03
p286	n120	n227	114,30	76.2	0.03
p287	n227	n204	100,20	76.2	0.03
p288	n120	n228	116,10	76.2	0.03
p289	n228	n229	115,80	76.2	0.03
p290	n229	n227	109,60	76.2	0.03
p291	n112	n185	109,30	80.42	0.0015
p292	n111	n230	91,93	80.42	0.0015
p293	n111	n231	83,70	80.42	0.0015
p294	n218	n232	92,46	80.42	0.0015
p295	n232	n233	106,10	80.42	0.0015
p296	n232	n234	90,92	80.42	0.0015

p297	n234	n235	13,81	80.42	0.0015
p298	n233	n236	127,00	80.42	0.0015
p299	n237	n236	115,80	80.42	0.0015
p300	n237	n238	140,53	80.42	0.0015
p301	n239	n238	109,66	80.42	0.0015
p302	n240	n239	92,16	80.42	0.0015
p303	n242	n241	108,72	80.42	0.0015
p304	n242	n243	145,17	80.42	0.0015
p305	n244	n243	119,50	80.42	0.0015
p306	n244	n245	121,60	80.42	0.0015
p307	n233	n245	84,22	80.42	0.0015
p308	n245	n246	80,28	80.42	0.0015
p309	n236	n244	85,78	80.42	0.0015
p310	n237	n243	85,66	80.42	0.0015
p311	n243	n247	83,46	80.42	0.0015
p312	n238	n242	82,16	80.42	0.0015
p313	n248	n240	101,30	80.42	0.0015
p314	n249	n248	90,90	80.42	0.0015
p315	n167	n249	16,71	80.42	0.0015
p316	n249	n239	95,45	80.42	0.0015
p317	n249	n224	109,20	80.42	0.0015
p318	n224	n238	86,26	80.42	0.0015
p319	n223	n237	86,33	80.42	0.0015
p320	n225	n236	85,56	80.42	0.0015
p321	n226	n233	88,60	80.42	0.0015
p322	n250	n248	247,55	80.42	0.0015
p323	n206	n250	238,80	80.42	0.0015
p324	n250	n251	353,28	80.42	0.0015
p325	n252	n248	98,00	80.42	0.0015
p326	n252	n253	64,53	80.42	0.0015
p327	n254	n255	87,23	80.42	0.0015
p328	n255	n252	128,90	80.42	0.0015
p329	n207	n255	115,20	80.42	0.0015
p330	n165	n254	8,81	76.2	0.03
p331	n169	n165	109,80	76.2	0.03
p332	n166	n252	92,30	80.42	0.0015
p333	n170	n166	109,60	80.42	0.0015
p334	n100	n256	91,33	80.42	0.0015
p335	n97	n256	113,10	80.42	0.0015
p336	n101	n97	92,65	80.42	0.0015
p337	n256	n257	94,14	80.42	0.0015
p338	n258	n257	116,10	80.42	0.0015
p339	n258	n97	88,24	80.42	0.0015

p340	n257	n259	116,80	80.42	0.0015
p341	n260	n261	78,34	80.42	0.0015
p342	n260	n258	122,60	80.42	0.0015
p343	n262	n261	76,77	80.42	0.0015
p344	n263	n259	76,77	80.42	0.0015
p345	n262	n263	39,27	80.42	0.0015
p346	n263	n264	48,20	80.42	0.0015
p347	n265	n262	77,05	80.42	0.0015
p348	n260	n265	76,65	80.42	0.0015
p349	n96	n260	88,69	80.42	0.0015
p350	n95	n258	88,30	80.42	0.0015
p351	n99	n92	93,34	80.42	0.0015
p352	n58	n103	118,40	80.42	0.0015
p353	n266	n54	37,98	203.2	0.03
p354	n267	n29	37,65	254	0.03
p355	n268	n266	289,10	152.4	0.03
p356	n269	n268	542,10	152.4	0.03
p357	n270	n269	195,50	152.4	0.03
p358	n271	n270	253,70	152.4	0.03
p359	n272	n271	120,00	152.4	0.03
p360	n273	n272	54,33	152.4	0.03
p361	n274	n273	136,20	152.4	0.03
p362	n275	n274	296,20	152.4	0.03
p363	n276	n275	170,60	152.4	0.03
p364	n277	n276	208,80	152.4	0.03
p365	n278	n277	159,10	152.4	0.03
p366	n279	n278	46,48	152.4	0.03
p367	n280	n279	98,16	152.4	0.03
p368	n281	n280	113,10	152.4	0.03
p369	n282	n281	41,08	152.4	0.03
p370	n283	n282	68,48	152.4	0.03
p371	n284	n283	250,40	152.4	0.03
p372	n285	n284	92.,4	152.4	0.03
p373	n286	n285	113,90	152.4	0.03
p374	n287	n286	34,60	152.4	0.03
p375	n288	n287	149,80	152.4	0.03
p376	n289	n30	37,81	203.2	0.03
p377	n290	n267	289,10	367.7	0.0015
p378	n291	n290	542,10	367.7	0.0015
p379	n292	n291	195,50	367.7	0.0015
p380	n293	n292	253,70	367.7	0.0015
p381	n294	n293	120,00	367.7	0.0015
p382	n295	n294	54,33	367.7	0.0015

p383	n296	n295	136,20	367.7	0.0015
p384	n297	n296	296,20	367.7	0.0015
p385	n298	n297	170,60	367.7	0.0015
p386	n299	n298	208,80	367.7	0.0015
p387	n300	n299	159,10	367.7	0.0015
p388	n301	n300	46,48	367.7	0.0015
p389	n302	n301	98,16	367.7	0.0015
p390	n303	n302	113,10	367.7	0.0015
p391	n304	n303	41,08	367.7	0.0015
p392	n305	n304	68,48	367.7	0.0015
p393	n306	n305	250,37	367.7	0.0015
p394	n307	n306	92,24	367.7	0.0015
p395	n308	n307	113,90	367.7	0.0015
p396	n309	n308	34,60	367.7	0.0015
p397	n310	n309	149,80	367.7	0.0015
p398	n311	n289	289,10	247.09	0.0015
p399	n312	n311	542,10	247.09	0.0015
p400	n313	n312	195,50	247.09	0.0015
p401	n314	n313	253,70	247.09	0.0015
p402	n315	n314	120,00	247.09	0.0015
p403	n315	n316	54,33	247.09	0.0015
p404	n317	n316	136,20	247.09	0.0015
p405	n318	n317	296,20	247.09	0.0015
p406	n319	n318	170,60	247.09	0.0015
p407	n320	n319	208,80	247.09	0.0015
p408	n321	n320	159,10	247.09	0.0015
p409	n322	n321	46,48	247.09	0.0015
p410	n323	n322	98,16	247.09	0.0015
p411	n324	n323	113,10	247.09	0.0015
p412	n325	n324	41,08	247.09	0.0015
p413	n326	n325	68,48	247.09	0.0015
p414	n327	n326	250,40	247.09	0.0015
p415	n328	n327	92,24	247.09	0.0015
p416	n329	n328	113,90	247.09	0.0015
p417	n330	n329	34,60	247.09	0.0015
p418	n331	n330	149,80	247.09	0.0015
p419	2	n288	169,66	152.4	0.03
p420	2	n331	181,91	247.09	0.0015
p421	n333	n310	87,58	367.7	0.0015
p422	1	n333	76,35	367.7	0.0015
p423	n335	n336	80,14	80.42	0.0015
p424	n336	n337	92,48	80.42	0.0015
p425	n335	n19	77,35	152.22	0.0015

p426	n22	n335	52,04	152.22	0.0015
p427	n338	n72	91,04	152.22	0.0015
p428	n339	n338	13,05	203.2	0.03
p429	n340	n339	37.,5	203.2	0.03
p452	n6	n5	73,92	80.42	0.0015
p454	n5	n384	53,75	80.42	0.0015
p455	n384	n385	83,99	80.42	0.0015
p456	n384	n386	58,57	80.42	0.0015
p457	n386	n387	50,22	80.42	0.0015
p458	n387	n3	52,47	80.42	0.0015
p459	n387	n388	77,64	80.42	0.0015
p460	n388	n389	82,35	80.42	0.0015
p461	n389	n390	69,44	80.42	0.0015
p462	n386	n391	78,06	80.42	0.0015
p463	n391	n392	82,97	80.42	0.0015
p464	n392	n393	69,19	80.42	0.0015
p465	n384	n394	78,57	80.42	0.0015
p466	n394	n395	83,60	80.42	0.0015
p467	n395	n396	70,22	80.42	0.0015
p468	n2	n397	79,63	80.42	0.0015
p469	n389	n2	49,00	80.42	0.0015
p470	n392	n389	54,42	80.42	0.0015
p471	n395	n392	57,42	80.42	0.0015
p472	n395	n398	82,59	80.42	0.0015
p473	n1	n399	74,23	80.42	0.0015
p474	n388	n1	50,78	80.42	0.0015
p475	n391	n388	52,25	80.42	0.0015
p476	n394	n391	59,88	80.42	0.0015
p477	n394	n400	80,67	80.42	0.0015
1	n348	n346	253,65	152.4	0.03
2	n342	n340	289,06	152.4	0.03
3	n344	n342	542,08	152.4	0.03
4	n346	n344	198,39	152.4	0.03
5	n350	n348	119,96	152.4	0.03
6	n352	n350	54,33	152.4	0.03
7	n354	n352	136,23	152.4	0.03
8	n356	n354	296,16	152.4	0.03
9	n358	n356	170,65	152.4	0.03
10	n360	n358	208,77	152.4	0.03
11	n362	n360	159,06	152.4	0.03
12	n364	n362	46,48	152.4	0.03
13	n366	n364	98,16	152.4	0.03
14	n368	n366	113,07	152.4	0.03

15	n370	n368	41,08	152.4	0.03
16	n372	n370	68,48	152.4	0.03
17	n374	n372	250,37	152.4	0.03
18	n376	n374	92,24	152.4	0.03
19	n378	n376	113,92	152.4	0.03
20	n380	n378	34,60	152.4	0.03
21	n382	n380	149,83	152.4	0.03
22	2	n382	168,01	152.4	0.03
23	n70	n69	7,22	203.2	0.03
24	n69	n53	63,75	203.2	0.03
25	n68	n51	32,09	101.6	0.03
26	n37	3	48,59	80.42	0.0015
27	3	n20	114,11	80.42	0.0015
28	4	5	98,48	80.42	0.0015
29	4	n18	116,49	80.42	0.0015
30	n13	n16	68,88	80.42	0.0015
31	n14	n13	85,36	80.42	0.0015
32	3	n39	79,98	80.42	0.0015
33	n39	4	58,41	80.42	0.0015
34	4	n12	87,20	80.42	0.0015
35	n12	n7	74,13	80.42	0.0015
36	n8	n137	63,08	152.22	0.0015
37	n261	n259	37,91	80.42	0.0015
38	n152	n151	44,62	80.42	0.0015
39	n135	n134	4,35	76.2	0.03
40	n42	n55	127,74	80.42	0.0015
41	n171	n222	108,82	80.42	0.03
			53806,60		

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 23.

Información de nodos o conexiones en Epanet

Conexiones			
Nombre	Cota	Coordenadas	
		X	Y
n1	69.4	1046009,48	1452804,62
n2	69.5	1046020,09	1452885,74
n3	69.2	1045999,47	1452728,05

n4	70.4	1046235,60	1452643,29
n5	70	1046151,47	1452655,35
n6	70.3	1046140,36	1452582,27
n7	70.5	1046035,84	1452591,37
n8	68.9	1045913,91	1452595,90
n9	74.1	1046011,43	1452162,64
n11	70.1	1045915,16	1452523,85
n12	71.3	1046031,63	1452517,35
n13	71.8	1046218,02	1452511,11
n14	70.2	1046132,71	1452513,97
n15	72.2	1046207,36	1452420,75
n16	72.3	1046209,95	1452442,70
n17	73.4	1046313,86	1452437,72
n18	71.1	1045910,34	1452436,45
n19	71.2	1046127,48	1452424,97
n20	71.8	1045906,29	1452310,95
n21	73.6	1046116,12	1452275,79
n22	72.9	1046074,45	1452325,87
n23	74.4	1046158,84	1452228,04
n24	75.2	1046188,69	1452206,76
n25	75.7	1046225,63	1452162,88
n26	77.55	1046299,33	1452096,80
n27	78.6	1046393,36	1452042,79
n28	79.2	1046425,08	1452038,74
n29	79.9	1046503,74	1452019,54
n30	79.9	1046503,36	1452018,11
n31	79.2	1046423,57	1452037,00
n32	78.6	1046391,96	1452041,34
n33	77.55	1046297,03	1452093,46
n34	75.7	1046222,83	1452158,86
n35	75.2	1046185,12	1452203,12
n36	74.4	1046157,10	1452225,00
n37	73.2	1046066,76	1452284,06
n38	72.9	1046072,85	1452325,13
n39	71.8	1046023,35	1452371,99
n40	72.2	1045896,75	1452176,11
n41	72.2	1045899,51	1452179,65
n42	75.1	1046063,13	1452162,59
n43	75.1	1046070,72	1452160,02
n44	74.1	1046011,00	1452159,85
n45	75.7	1046218,50	1452160,39
n46	73.8	1046002,72	1452048,33
n47	73.8	1046059,45	1452049,14

n48	73	1045888,71	1452054,00
n49	75.6	1046190,02	1452048,87
n50	76.5	1046254,58	1452048,74
n51	78	1046353,98	1452046,34
n52	78.6	1046394,97	1452038,95
n53	79.2	1046424,79	1452034,13
n54	79.9	1046503,00	1452016,69
n55	75.5	1046190,86	1452160,78
n56	76.5	1046258,01	1452124,08
n57	73.4	1045880,50	1451939,04
n58	73.9	1045996,46	1451933,57
n59	74.2	1046059,18	1451929,98
n60	75.5	1046190,65	1451926,22
n61	75.55	1046190,68	1451978,69
n62	75.8	1046248,78	1451924,45
n63	75.9	1046250,67	1451957,95
n64	75.7	1046188,46	1451865,54
n65	76.4	1046242,25	1451801,15
n66	77.8	1046383,61	1451925,14
n67	78.9	1046489,53	1451927,26
n68	78.6	1046385,56	1452040,64
n69	79.8	1046487,01	1452020,25
n70	79.8	1046494,06	1452018,68
n71	78.9	1046494,27	1451924,56
n72	78.9	1046492,04	1451927,01
n73	76.7	1046431,58	1451784,05
n74	76.8	1046392,22	1451705,15
n75	77	1046373,51	1451695,81
n76	76.9	1046353,24	1451686,24
n77	75.3	1046070,27	1451696,79
n78	72.9	1045867,22	1451708,68
n79	77.8	1046472,79	1451861,94
n80	76.7	1046443,40	1451794,57
n81	77.6	1046377,52	1451797,83
n82	75.9	1046184,15	1451802,58
n83	76.1	1046181,02	1451685,96
n84	76.5	1046239,64	1451684,29
n85	76.9	1046362,22	1451680,80
n86	77	1046377,70	1451691,37
n87	76.7	1046425,29	1451763,85
n88	76.8	1046394,11	1451701,63
n89	75.9	1046239,45	1451597,83
n90	75.8	1046208,26	1451583,61

n91	75.8	1046178,26	1451582,96
n92	73.9	1046068,13	1451595,76
n93	75.6	1046174,44	1451506,54
n94	75.4	1046167,77	1451371,70
n95	73.1	1046064,53	1451509,79
n96	72.6	1046057,10	1451381,36
n97	73.2	1045980,63	1451601,91
n98	75.1	1046061,83	1451808,59
n99	75.3	1046064,21	1451689,02
n100	72.9	1045869,99	1451702,96
n101	73.5	1045988,22	1451694,25
n102	73.3	1045874,35	1451826,52
n103	73.7	1045995,22	1451815,17
n104	72.9	1045867,75	1451718,28
n105	72.7	1045844,68	1451720,27
n107	72.4	1045830,06	1451524,80
n108	71.9	1045824,33	1451405,95
n109	70.6	1045819,55	1451291,37
n110	69.9	1045667,67	1451302,78
n111	69.7	1045556,76	1451313,16
n112	70.6	1045566,22	1451429,11
n113	72.7	1045841,28	1451708,72
n114	72.5	1045713,83	1451715,35
n115	72.4	1045723,71	1451800,39
n116	72.5	1045847,23	1451790,43
n117	72.7	1045843,76	1451708,59
n118	72.4	1045826,35	1451524,59
n119	71.9	1045817,97	1451409,29
n120	70.7	1045676,44	1451425,52
n121	71.9	1045692,49	1451543,55
n122	72.3	1045710,93	1451690,31
n123	71.8	1045577,47	1451559,39
n124	71.3	1045471,02	1451573,72
n125	71.1	1045350,28	1451575,41
n126	70.1	1045244,93	1451587,27
n127	72.4	1045486,25	1451707,10
n128	72.5	1045593,87	1451697,09
n129	73	1045859,44	1451944,38
n130	72.7	1045741,30	1451951,62
n131	71.8	1045603,35	1451810,17
n132	71.5	1045619,61	1451949,42
n133	73.1	1045751,31	1452061,21
n134	72.8	1045870,00	1452051,75

n135	72.8	1045870,24	1452056,10
n136	73	1045885,88	1452054,54
n137	69.9	1045912,26	1452532,84
n138	68.6	1045800,80	1452540,24
n139	68.5	1045718,59	1452536,76
n140	68.4	1045461,54	1452589,14
n141	68.9	1045448,62	1452493,94
n142	70.4	1045437,71	1452384,01
n143	71.3	1045428,49	1452291,21
n144	72.2	1045418,41	1452185,01
n145	71.5	1045408,45	1452060,27
n146	71.2	1045399,61	1451960,05
n147	71.6	1045512,98	1451955,88
n148	71.5	1045622,40	1451954,14
n149	72.7	1045741,76	1451956,66
n150	68.4	1045898,62	1452559,54
n151	68.9	1045895,71	1452529,36
n152	69.7	1045891,43	1452484,95
n153	70.7	1045886,33	1452431,94
n154	70.5	1045792,96	1452444,23
n155	71.5	1045882,68	1452320,55
n156	71.4	1045779,16	1452337,52
n157	72.1	1045879,17	1452213,31
n158	72	1045768,91	1452232,21
n159	73.5	1045758,76	1452144,48
n160	73	1045667,82	1452161,58
n161	72.5	1045531,18	1452172,59
n162	71.7	1045684,00	1452246,86
n164	71.3	1045424,99	1452289,63
n165	70.6	1045307,68	1452306,41
n166	68.9	1045178,39	1452323,09
n167	67.6	1045093,01	1452331,34
n168	72.2	1045415,15	1452185,74
n169	71.1	1045300,21	1452196,84
n170	69.5	1045172,46	1452213,68
n171	70.1	1045161,95	1452073,95
n172	70.8	1045286,80	1452063,40
n173	70.8	1045284,13	1452066,23
n174	71.5	1045404,57	1452062,57
n175	71.9	1045522,58	1452061,33
n176	72.8	1045632,88	1452056,43
n177	70.8	1045288,19	1452066,11
n178	70.5	1045276,39	1451959,91

n179	68.8	1045264,33	1451841,30
n180	69	1045257,73	1451723,34
n181	71.6	1045509,48	1451949,72
n182	71.5	1045494,38	1451819,65
n183	72.4	1045480,59	1451707,52
n184	71.3	1045465,56	1451569,46
n185	70.1	1045457,10	1451436,05
n186	69.4	1045447,07	1451330,89
n187	68.6	1045801,89	1452536,60
n188	70.3	1045711,47	1452456,03
n189	68.5	1045720,50	1452532,42
n191	71.1	1045699,00	1452350,67
n192	68.4	1045571,36	1452556,67
n193	69.5	1045559,77	1452479,53
n194	68.4	1045454,24	1452581,98
n195	68.9	1045443,92	1452501,42
n196	71	1045548,42	1452373,61
n197	71	1045551,46	1452371,89
n198	70.4	1045433,70	1452388,99
n199	71.4	1045539,91	1452276,19
n200	72.5	1045531,29	1452172,58
n201	71.9	1045525,65	1452057,86
n202	71.6	1045514,27	1451948,81
n203	71.5	1045499,93	1451822,62
n204	70.1	1045462,27	1451438,32
n205	69.4	1045453,62	1451330,98
n206	68.2	1045348,58	1452598,38
n207	68.5	1045336,06	1452515,42
n208	69.4	1045316,70	1452405,97
n209	71.2	1045395,66	1451956,95
n210	70.8	1045377,03	1451838,31
n211	71.8	1045362,72	1451715,98
n212	70.8	1045385,16	1451840,17
n213	71.8	1045368,13	1451717,28
n214	71.1	1045355,80	1451570,28
n215	71.3	1045461,57	1451569,25
n216	67.7	1045127,86	1451606,91
n217	66.7	1045033,43	1451625,83
n218	68.1	1045037,93	1451743,00
n219	67.5	1045137,00	1451734,15
n220	69	1045257,73	1451723,37
n221	66.9	1045139,84	1451844,82
n222	67.6	1045149,84	1451965,80

n223	68.8	1045053,95	1452085,21
n224	67.9	1045061,31	1452224,84
n225	67.4	1045047,30	1451975,31
n226	66.6	1045039,05	1451849,56
n227	70.6	1045562,34	1451432,40
n228	69.9	1045665,94	1451309,87
n229	69.7	1045550,90	1451323,36
n230	69.4	1045466,08	1451328,30
n231	69.4	1045549,33	1451229,79
n232	66.8	1044945,73	1451749,90
n233	67.2	1044950,67	1451855,87
n234	66.5	1044940,39	1451659,13
n235	66.5	1044939,58	1451645,35
n236	68	1044962,03	1451982,35
n237	68.9	1044968,56	1452097,95
n238	68.2	1044976,10	1452238,28
n239	68	1044982,09	1452347,77
n240	67.7	1044989,07	1452439,67
n241	68.1	1044900,21	1452355,26
n242	68.3	1044894,37	1452246,69
n243	68.7	1044883,00	1452101,97
n244	68.1	1044876,25	1451982,70
n245	67.4	1044866,63	1451861,43
n246	67.6	1044786,42	1451864,71
n247	68.4	1044800,04	1452111,13
n248	68.2	1045088,93	1452422,98
n249	67.6	1045076,38	1452332,95
n250	65.8	1045120,31	1452668,53
n251	67	1044776,00	1452589,46
n252	68.7	1045186,61	1452415,02
n253	67.6	1045192,62	1452479,27
n254	70.6	1045308,44	1452315,19
n255	69.4	1045314,86	1452402,19
n256	73.1	1045867,91	1451611,66
n257	72.8	1045860,25	1451517,83
n258	72.9	1045976,32	1451513,77
n259	72.2	1045853,14	1451401,21
n260	71.8	1045968,97	1451391,34
n261	71.6	1045890,91	1451398,00
n262	71.4	1045887,60	1451321,30
n263	71.6	1045848,47	1451324,59
n264	70.9	1045845,53	1451276,48
n265	71.7	1045964,37	1451314,84

n266	80.1	1046540,64	1452011,63
n267	80.1	1046541,21	1452015,87
n268	81.2	1046826,54	1452054,22
n269	82.4	1047356,44	1451939,94
n270	83.2	1047547,78	1451980,16
n271	84.5	1047737,71	1452148,28
n272	85.5	1047819,76	1452235,80
n273	86.1	1047845,29	1452283,75
n274	86.9	1047895,35	1452410,46
n275	87.8	1048089,99	1452633,66
n276	88.4	1048186,25	1452774,57
n277	89.1	1048310,50	1452942,34
n278	90.9	1048404,70	1453070,50
n279	91.3	1048432,99	1453107,38
n280	92	1048488,28	1453188,49
n281	92.5	1048520,68	1453296,82
n282	92.9	1048541,91	1453331,99
n283	93.4	1048599,75	1453368,66
n284	94.5	1048826,69	1453474,40
n285	94.9	1048912,96	1453507,05
n286	95.6	1049023,17	1453535,88
n287	95.8	1049044,15	1453563,40
n288	96.1	1049171,53	1453642,28
n289	80.1	1046540,92	1452013,68
n290	81.2	1046824,69	1452072,36
n291	82.4	1047359,53	1451984,08
n292	83.2	1047548,68	1452033,58
n293	84.5	1047730,19	1452210,77
n294	85.5	1047807,87	1452302,19
n295	86.1	1047831,02	1452351,34
n296	86.9	1047874,84	1452480,33
n297	87.8	1048058,36	1452712,77
n298	88.4	1048147,63	1452858,21
n299	89.1	1048263,54	1453031,84
n300	90.9	1048351,37	1453164,45
n301	91.3	1048377,83	1453202,67
n302	92	1048429,09	1453286,38
n303	92.5	1048456,17	1453396,16
n304	92.9	1048475,65	1453432,33
n305	93.4	1048531,64	1453471,77
n306	94.5	1048753,15	1453588,46
n307	94.9	1048837,72	1453625,29
n308	95.6	1048946,40	1453659,46

n309	95.8	1048966,01	1453687,96
n310	96.1	1049089,39	1453772,97
n311	81.2	1046825,59	1452063,85
n312	82.4	1047358,34	1451963,69
n313	83.2	1047548,54	1452008,97
n314	84.5	1047733,94	1452182,08
n315	85.5	1047813,64	1452271,74
n316	86.1	1047837,88	1452320,36
n317	86.9	1047884,56	1452448,35
n318	87.8	1048073,21	1452676,65
n319	88.4	1048165,69	1452820,06
n320	89.1	1048285,44	1452991,07
n321	90.9	1048376,21	1453121,69
n322	91.3	1048403,51	1453159,31
n323	92	1048456,62	1453241,86
n324	92.5	1048486,13	1453351,01
n325	92.9	1048506,42	1453386,73
n326	93.4	1048563,27	1453424,92
n327	94.5	1048787,32	1453536,65
n328	94.9	1048872,69	1453571,59
n329	95.6	1048982,10	1453603,33
n330	95.8	1049002,34	1453631,39
n331	96.1	1049127,58	1453713,63
n333	96.2	1049173,46	1453797,49
n335	71.7	1046121,63	1452347,84
n336	73.1	1046201,59	1452342,39
n337	74.1	1046288,91	1452311,94
n338	79.8	1046490,64	1452018,04
n339	79.9	1046503,39	1452015,25
n340	80.1	1046540,59	1452010,11
n342	81.2	1046826,49	1452052,70
n344	82.4	1047356,39	1451938,42
n346	83.2	1047550,53	1451979,28
n348	84.5	1047740,47	1452147,40
n350	85.5	1047822,52	1452234,92
n352	86.1	1047848,04	1452282,88
n354	86.9	1047898,10	1452409,58
n356	87.8	1048092,75	1452632,79
n358	88.4	1048189,01	1452773,69
n360	89.1	1048313,26	1452941,46
n362	90.9	1048407,46	1453069,63
n364	91.3	1048435,75	1453106,50
n366	92	1048491,03	1453187,62

n368	92.5	1048523,44	1453295,95
n370	92.9	1048544,66	1453331,12
n372	93.4	1048602,50	1453367,78
n374	94.5	1048829,45	1453473,52
n376	94.9	1048915,71	1453506,18
n378	95.6	1049025,93	1453535,01
n380	95.8	1049046,91	1453562,52
n382	96.1	1049174,29	1453641,40
n384	69.6	1046159,55	1452708,49
n385	69.7	1046242,91	1452698,31
n386	69.6	1046101,41	1452715,60
n387	69.6	1046051,56	1452721,69
n388	69.5	1046059,94	1452798,87
n389	69.7	1046068,83	1452880,74
n390	69.8	1046076,32	1452949,77
n391	69.7	1046111,86	1452792,95
n392	69.9	1046122,97	1452875,17
n393	70.3	1046132,23	1452943,74
n394	69.7	1046171,35	1452786,17
n395	69.9	1046180,09	1452869,31
n396	70.6	1046187,43	1452939,14
n397	68.4	1045940,87	1452893,88
n398	70.8	1046262,25	1452860,87
n399	68.6	1045935,73	1452813,03
n400	69.9	1046251,51	1452777,03
3	73.2	1046018,84	1452292,13
4	72.1	1046026,67	1452430,30
5	71.2	1046251,51	1452425,17
6	70.2	1046018,84	1452513,95
7	72.2	1046026,67	1452422,60
8	70.3	1046251,51	1452582,27
Tanque 1	96.5	1049249.20	1453807.10
Tanque 2	97.2	1049306.83	1453744.65

Fuente: Autores, 2020.