

**ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE
ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ZAPATOCA SANTANDER**

STEFAN ALEJANDRO FAJARDO TORRES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

**ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE
ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ZAPATOCA SANTANDER**

STEFAN ALEJANDRO FAJARDO TORRES

**Trabajo de grado en la modalidad investigación para optar por el título de
Ingeniero Civil**

Director:

MARIO GARCÍA SOLANO

Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Para mis padres, por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos, mis amigos y a mi pareja por su motivación y compañía durante este proceso tan importante.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de culminar este nuevo reto, por su fortaleza motivación y guía, a él quiero expresar mi mayor agradecimiento por la sabiduría, conocimiento y apoyo que me ha regalado, pues sin su respaldo no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

A mis padres, por su esfuerzo y apoyo durante de este proceso, por sus consejos para obtener siempre los mejores resultados y poder alcanzar este maravilloso logro.

A mi Director de proyecto, Mario García Solano, por su colaboración, disponibilidad y calidad de orientación durante todo este proceso, por su gran aporte de ideas y correcciones en pro del mejoramiento de este valioso trabajo.

A los todos los docentes, quienes durante la trayectoria de mi carrera aportaron con sus conocimientos y orientaciones para el logro de la meta deseada.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. ANTECEDENTES.....	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
3. MARCO TEÓRICO.....	20
3.1 DATOS GENERALES DEL MUNICIPIO.....	20
3.1.1 Localización y extensión.....	20
3.1.2 Limites.....	20
3.1.3 Clima.....	20
3.1.4 Hidrología.....	21
3.1.5 Actividad socioeconómica y cultural.....	22
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ACUEDUCTO.....	23
3.2.1 Sistema de captación y conducción.....	23
3.2.2 Proceso de tratamiento de agua potable.....	27
3.2.3 Red de distribución.....	34
4. METODOLOGÍA.....	35
4.1 RESULTADOS ENCUESTA REALIZADA.....	36
4.2 PARÁMETROS PARA EL DIAGNOSTICO DE LA RED.....	38
4.2.1 Datos de población en el último censo.....	39
4.2.2 Calculo de proyección de la población.....	40
4.2.3 Censos poblacionales.....	44
4.2.4 Periodo de diseño.....	45
4.2.5 Dotación.....	47
4.3 DESARROLLO DEL PROYECTO.....	52
4.3.1 Simulación en EPANET 2.0 para el caudal máximo diario de 24.85Lps.....	53

4.4 COMPARACION ENTRE MODELAMIENTO HIDRAULICO RED COMPLETA
Y REDES PRINCIPALES76

5. CONCLUSIONES79

BIBLIOGRAFIA.....81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Detalle bocatoma quebrada El Ramo	24
Figura 2. Bocatoma Quebrada el Ramo.....	24
Figura 2. Desarenador Quebrada el Ramo	25
Figura 3. Bocatoma Piedras Blancas	26
Figura 4. Desarenador Piedras Blancas	26
Figura 5. Canaletas Parshall presedimentador	27
Figura 6. Llegada de conducciones	27
Figura 7. Presedimentador	28
Figura 8. Válvulas de purga	28
Figura 9. Foto 2 canaleta Parshall	29
Figura 10. Foto 1 canaleta Parshall	29
Figura 11. Canaletas de floculación 1	30
Figura 12. Canaletas de floculación 2.....	30
Figura 13. Tanques sedimentadores	31
Figura 14. Filtros.....	31
Figura 15. Bomba inyección cloro.....	32
Figura 16. Cloro gaseoso.....	32
Figura 17. Tanque de almacenamiento 1.....	33
Figura 18. Tanque de almacenamiento 2.....	33
Figura 19. Grafico comportamiento histórico de la población.....	44
Figura 20. Curva de Modulación acueducto de Zapatoca	53
Figura 21. Modelo hidráulico red de distribución agua potable	54
Figura 22. Sector sur red de distribución	57
Figura 23. Presiones bajas presentadas en el sector sur.....	58

Figura 24. Curva de la bomba	67
Figura 25. Ubicación nuevo tanque de almacenamiento.....	69
Figura 26. Sector centro red de distribución.....	69
Figura 27. Presiones en el sector centro del municipio	70
Figura 28. Nuevas presiones con las modificaciones.....	72
Figura 29. Presiones en el sector norte del municipio	73
Figura 30. Nuevas presiones sector norte	74
Figura 31. Tuberías instaladas en asbestocemento.....	75
Figura 32. Presiones con todos los elementos que componen la red	77
Figura 33. Presiones solo con las mallas principales	78

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Diámetros, longitudes y materiales de tubería en la red hidráulica.....	34
Tabla 2. Encuesta calidad del agua en el municipio.....	36
Tabla 3. Encuesta cortes de agua	37
Tabla 4. Encuesta de racionamiento hídrico	37
Tabla 5. Encuesta de frecuencia de cortes del servicio	38
Tabla 6. Población censo 2005 y proyección de población según DANE.....	39
Tabla 7. Asignación del nivel de complejidad.....	40
Tabla 8. Métodos de cálculo según el nivel de complejidad del sistema	41
Tabla 9. Información histórica de censos para el municipio de Zapatoca.....	44
Tabla 10. Periodo de diseño	45
Tabla 11. Proyección de población método geométrico	46
Tabla 12. Dotación neta.....	47
Tabla 13. Coeficiente de consumo máximo diario K1	50
Tabla 14. Coeficiente de consumo máximo horario K2	51
Tabla 15. Diámetros mínimos de la red menor de distribución.....	55
Tabla 16. Diámetros y materiales de tuberías en la red de distribución	55
Tabla 17. Presiones mínimas en la red de distribución	57
Tabla 18. Calculo de velocidades para tuberías de impulsión comerciales	60
Tabla 19. Calculo de velocidades para tuberías de succión comerciales.....	61
Tabla 20. Pérdidas por accesorios succión de la bomba	63
Tabla 21. Perdidas por accesorios impulsión de la bomba hacia tanque	63
Tabla 22. Altura dinámica total.....	64

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Calculo de proyección de población por el método aritmético	42
Ecuación 2. Calculo de proyección de población por el método geométrico	42
Ecuación 3. Calculo de tasa de crecimiento para método geométrico	43
Ecuación 4. Calculo de tasa de crecimiento para método exponencial	43
Ecuación 5. Calculo de tasa de crecimiento para método exponencial	43
Ecuación 6. Calculo de dotación bruta	48
Ecuación 7. Caudal medio diario	49
Ecuación 8. Caudal máximo diario.....	49
Ecuación 9. Caudal máximo horario	50
Ecuación 10. Caudal de bombeo	59
Ecuación 11. Ecuación de Bresse para bombeos continuos	60
Ecuación 12. Ecuación de pérdidas de Hazen-Williams	62
Ecuación 13. Ecuación de pérdidas unitarias.....	62
Ecuación 14. Altura piezometrica de succión	65
Ecuación 15. Potencia hidráulica de la bomba.....	66

ANEXOS EN CARPETA ADJUNTA EN CD

- Anexo A. Cálculos hidráulicos modelo red completa.
- Anexo B. Cálculos hidráulicos modelo simplificado.
- Anexo C. Modelo comparación red completa.
- Anexo D. Modelo comparación red mallas principales.
- Anexo E. Planta general línea de aducción.
- Anexo F. Planta perfil K0+00.00 A K1+640.
- Anexo G. Planta perfil K1+800 A K3+600.
- Anexo H. Planta perfil K1+800 A K5+400.
- Anexo I. Planta perfil K5+400 A K7+120.
- Anexo J. Planta perfil K7+120 A K8+900 .
- Anexo K. Planta perfil K9+00.00 A K10+760.
- Anexo L. Planta perfil K10+800 A K12+600.
- Anexo M. Planta perfil K12+400 A K14+160.
- Anexo N. Detalles válvulas, pasos elevados y cámaras de quiebre.
- Anexo O. Planta general red de distribución.
- Anexo P. Detalle tanque de almacenamiento parte 1.
- Anexo Q. Detalle tanque de almacenamiento parte 2.
- Anexo R. Detalle tanque de almacenamiento parte 3
- Anexo S. Red de distribución acueducto Zapatoca.
- Anexo T. Ubicación nodos, tuberías y cotas red de distribución.
- Anexo U. Ubicación nodos, tuberías y cotas red simplificada.

RESUMEN

TITULO: ANALISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA RED DE DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ZAPATOCA SANTANDER*.

AUTOR: STEFAN ALEJANDRO FAJARDO TORRES**

PALABRAS CLAVES: Acueducto, Epanet 2.0, red hidraulica, agua potable, diagnostico, optimización.

DESCRIPCIÓN:

La presente investigación tiene como objetivo realizar un estudio que permita analizar y evaluar el sistema de acueducto del municipio de Zapatoca, en el departamento de Santander; y de acuerdo a esto, presentar soluciones a las necesidades expuestas, tomando como referencia la información existente sobre el estado actual de cada uno de los componentes que conforman el acueducto, y las modificaciones que se hayan presentado durante su funcionamiento. Así mismo, se busca identificar los puntos críticos en el sistema, en donde se presentan las principales falencias, estableciendo como causas principales, el alto índice de turismo en el municipio en relación al aumento del consumo de agua y los altos índices de ocupación de población flotante.

De acuerdo a lo anterior, se hizo un análisis, desde la captación hasta la red de distribución, determinando la capacidad para la demanda de población futura, tomando como principal enfoque la malla hidráulica, la cual ha sufrido un deterioro que con el tiempo ha sido progresivo, ya que estas estructuras han tenido mantenimiento, pero no han sido cambiadas un 70% desde la constitución inicial del acueducto, situación que ha venido presentando que el suministro de agua se vuelva intermitente por los daños generados y así mismo por el tiempo que se tarda la empresa de servicios públicos en hacer las respectivas reparaciones.

A través de este diagnóstico, se determinaron los factores, que tienen principal influencia en los daños generados constantemente en el sistema de acueducto y en la red de distribución, y se logró prever la importancia de optimizar el sistema para mejorar la calidad del servicio en el municipio, modelado a través de un software computarizado como Epanet 2.0, en el cual se obtienen datos e información precisa sobre el estado de la red hidráulica, y así mismo realizar su optimización.

* Proyecto de grado. Modalidad investigación

** Facultad de ingenierías Físico Mecánicas – Escuela de Ingeniería Civil. Director. Ing. Mario García Solano

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS AND DIAGNOSIS OF THE DISTRIBUTION NETWORK OF THE AQUEDUCT SYSTEM OF THE MUNICIPALITY OF ZAPATOCA SANTANDER *.

AUTHOR: STEFAN ALEJANDRO FAJARDO TORRES**

KEYWORDS: Aqueduct, Epanet 2.0, hydraulics network, drinking water, diagnosis, optimization.

DESCRIPTION

The present research aims to carry out a study to analyze and evaluate the aqueduct system of the municipality of Zapatoca, in the department of Santander; And according to this, to present solutions to the exposed needs, taking as reference the existing information on the current state of each of the components that make up the aqueduct, and the modifications that have occurred during its operation. Likewise, it seeks to identify critical points in the system, where the main shortcomings are presented, establishing as main causes, the high rate of tourism in the municipality in relation to the increase of water consumption and the high rates of population occupation floating.

According to the above, an analysis was made, from the capture to the distribution network,, determining the capacity for future population demand, taking as its main focus the hydraulic mesh, which has suffered a deterioration over time Since these structures have been maintained, but 70% have not been changed since the initial construction of the aqueduct, which has been showing that the water supply is intermittent due to the damages generated and also for the It takes the utility company to make the respective repairs to ensure the continuous supply of drinking water.

Through this diagnosis, factors were identified, which have a major influence on the damages generated constantly in the aqueduct system and in the distribution network, and it was possible to predict the importance of optimizing the system to improve the quality of service in the aqueduct. Municipality, modeled through computerized software such as Epanet 2.0, in which data and precise information on the state of the hydraulic network are obtained, as well as its optimization.

** Physics – Mechanics Engineering Faculty – Civil Engineering School. Director. Ing. Mario García Solano

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los sistemas de acueducto son los encargados de transportar la suficiente cantidad de agua a cada habitante de una región específica para suplir sus necesidades diarias, por lo cual es indispensable el correcto funcionamiento de todo el sistema, empezando desde la bocatoma hasta la red de distribución ya que el agua es el líquido de mayor importancia para los seres humanos.

De acuerdo a esto, se muestra un análisis y comportamiento de los elementos más importantes que conforman el sistema, los cuales a través de su óptimo funcionamiento deben garantizar un servicio de excelente calidad para los habitantes del municipio, estos elementos son: conducciones, planta de tratamiento y red de distribución; estos apuntan a obtener resultados del estado actual del sistema de acueducto y así mismo conllevan al planteamiento de las recomendaciones necesarias para poder mejorar el servicio.

Este estudio corresponde al sistema de acueducto y red de distribución del municipio de Zapatoca en el departamento de Santander, representando gran importancia en esta línea de investigación ya que está basado en un análisis y diagnóstico, cuyo fin es obtener datos sobre las posibles fallas en el sistema, modelado a través de un software *EPANET 2.0*, especializado en el cálculo hidráulico de redes y conducciones, a través del reglamento guía para el cálculo de redes y establecer los parámetros mínimos y máximos para cumplir con la normativa vigente, REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (RAS) en su título B SISTEMA DE ACUEDUCTOS.

1. ANTECEDENTES

Actualmente, el municipio de Zapatoca cuenta con un sistema de acueducto que tuvo como última intervención el plan maestro del acueducto, el cual se ejecutó entre los años 2011 y 2013, el plan maestro se enfocó en la mejora de los componentes del sistema, se realizaron ajustes, instalaciones y dotaciones en la planta de tratamiento, conducciones y mallas hidráulicas.

La planta de tratamiento posee dos fuentes de abastecimiento, la fuente san Javier de longitud aproximada de 15 kilómetros de conducción y la fuente piedras blancas con una longitud de 5 kilómetros de conducción, la fuente de abastecimiento san Javier fue intervenida en un 80%, dando solución temporal al suministro de agua a la planta, sin embargo debido a las altas presiones que se generan y que no se revisaron desde un inicio en el plan maestro, se están presentando rupturas de tuberías ocasionando problemas continuos de abastecimiento por esta fuente; es de anotar que la conducción piedras blancas no fue intervenida en el plan maestro.

La red de distribución también tuvo una intervención aproximada del 30% haciendo reposición y mejoramiento de tuberías, válvulas y otros elementos; estas reposiciones se dieron para las tuberías que eran de materiales como asbesto cemento y hierro fundido principalmente, sin embargo aún quedaron en funcionamiento en la red de distribución tuberías de estos materiales, así mismo se presentan problemas de presiones en la red, manejando presiones bajas y altas para diferentes sectores del municipio afectando seriamente el suministro de agua potable en estos.

En el plan maestro se sectorizo el municipio para hacer los mantenimientos respectivos o reparaciones en los sectores donde se presenten daños por rupturas o algún otro tipo, sin tener que afectar el suministro de agua en sectores aledaños, esta sectorización será analizada para garantizar que el número de habitantes afectados por cortes de agua sean mínimos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Zapatoca en el departamento de Santander en la actualidad cuenta con un sistema de acueducto compuesto por dos líneas de aducción, una planta de tratamiento de agua potable y una red de distribución que suministra agua a lo largo y ancho del municipio incluyendo algunas zonas rurales.

El sistema de acueducto presenta actualmente cortes seguidos de agua potable debido a las rupturas de tubería tanto en las líneas de aducción como en la red de distribución, esto debido a la antigüedad de las tuberías y las altas presiones que se manejan en el sistema, así mismo se presentan sectores de la comunidad donde se ve interrumpido el suministro de agua debido a que el agua no llega con la presión suficiente.

En proyección futura se prevé que la población flotante en el municipio siga en aumento ya que hay proyectos en proyección para impulsar el turismo, la movilidad en la región y mejorar la sostenibilidad, este proyecto en proyección contempla el mejoramiento de la malla vial entre los municipios de la provincia de mares, esto para impulsar la economía y el turismo entre los mismos municipios.

Actualmente también se viene presentando que en el municipio tiene un aumento de la población flotante debido al elevado turismo que se genera, en especial los fines de semana y temporadas de mitad y fin de año, este aumento de población flotante actual y futura presentada por el turismo en el presente y los proyectos futuros en la región hace que se analice la capacidad de la planta de tratamiento y de la red de distribución y para responder ante las demandas de agua que se generen para los siguientes años.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 DATOS GENERALES DEL MUNICIPIO

3.1.1 Localización y extensión. El municipio de Zapatoca está localizado a 6°49'09" latitud norte y 73°16'19" longitud oeste, su altura a nivel del mar es de 1.720 metros sobre el nivel del mar y según la división política del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) su territorio cuenta con un área aproximada de 34.582 hectáreas de las cuales 34.463 Ha componen el sector rural y 119 Ha componen el sector urbano.

3.1.2 Límites. Zapatoca pertenece a la provincia de mares en el departamento de Santander y su principal vía de acceso es la que comunica este municipio con Girón y Bucaramanga. Los límites del municipio son los siguientes:

- **Por el norte:** con el municipio de Betulia.
- **Por el sur:** con el municipio de Galán.
- **Por el oriente:** con los municipios de Barichara, Los Santos y Girón
- **Por el occidente:** con los municipios de San Vicente y el Carmen

3.1.3 Clima. Se presenta a continuación los datos arrojados por la estación climatológica "Zapatoca" ubicada en la longitud 73°16'57.9"W y la latitud 6°47'34.0"N, los datos son promedios obtenidos por el DANE entre los años 1981 y 2010.

- **Precipitación:** Se presenta un promedio anual de 1256.1 mm donde los meses de mayo, septiembre y octubre son en los que se presentan mayor precipitación, así mismo se establece que en un periodo de 365 días, en 169 días se presentan precipitaciones.
- **Temperatura:** La temperatura promedio que predomina Zapatoca es de 18.7°C, también presenta una temperatura mínima promedio de 13.9°C y una temperatura máxima promedio de 23.9°C.
- **Brillo solar:** Para la zona de estudio se tiene un brillo solar promedio en el año de 1913 horas/año y un promedio diario de 5.2 horas/día.
- **Humedad relativa:** Se presenta una humedad relativa por año de 87%.

3.1.4 Hidrología. Zapatoca cuenta con un recurso hídrico abundante y limitado a su vez ya que en las épocas de verano se presentan sequías en las quebradas que alimentan la cuenca a la cual pertenece el municipio.

El recurso hídrico del municipio se centra en las quebradas y arroyos que se encuentran dentro de su territorio y los ríos que enmarcan los linderos del municipio, los cuales se describen a continuación:

- **Quebradas:** La Zapatoca, La Zarza, El Guayabo, La Uchuval, El Poleo, La Higuera.
- **Ríos:** Suarez, Sogamoso y Chucurí.

La zona de estudio se divide en tres cuencas:

- **Cuenca del río Suarez:** La cuenca está ubicada en la zona central y oriental del municipio, conformada por los afluentes que nacen en la Cuchilla de Lagunetas, Cuchilla de San Isidro y Cuchilla de San Javier. Las corrientes o afluentes que podemos encontrar para el río Suarez que corre de sur a norte en el municipio son las siguientes: quebradas, Atunal, Huye, Peña Blanca, La Rusia, Cuatro Esquinas y Monte Negro.

- **Cuenca del río Chucurí:** Esta cuenca se encuentra ubicada en la zonas noroccidental y occidental del municipio, conformada por los afluentes que nacen en el Filo de Santa Lucia, Cuchilla de San Javier, Cuchilla el Ramo, Serranía de los Yariguies y Loma Redonda. Las corrientes afluentes más importantes en la cuenca son las siguientes: Cola de Pato, Sal Si Puedes, Rancho, Los Nogales, La Ramera, La Honda.
- **Cuenca del río Sogamoso:** Las corrientes más importantes encontradas en esta cuenca son: El Poleo, La Lajita, Malpaso, Zapatoca, El Guayabo, Quebraditas.

3.1.5 Actividad socioeconómica y cultural. La actividad socioeconómica del municipio se centra en pequeñas y medianas empresas dedicadas al comercio (hoteles, restaurantes, panaderías, modisterías, turismo y artesanías, entre otras actividades de autoempleo, así mismo el municipio posee diversidad en procesos productivos tales como la minería extractiva, la piscicultura, la ganadería, la agricultura y la agroindustria.

3.1.5.1 Educación: En la actualidad el municipio cuenta con educación de nivel medio, ya que las instituciones educativas en el municipio son para educación básica y secundaria, no existen centros de capacitación técnica.

3.1.5.2 Turismo: El turismo en el municipio representa parte de la económica, ya que es un atractivo para las regiones vecinas al municipio, presenta una amplia gama de posibilidades ecológicas, culturales, artísticas y recreativas que lo hacen destino atractivo a nivel departamental y nacional. Entre los lugares turísticos se pueden destacar, las cascadas de las lajitas, el pozo del ahogado, la cueva del nitro y adicional los lugares mencionados, son de gran importancia las ferias y fiestas municipales, evento que atrae muchos turistas al municipio.

3.1.5.3 Salud: El Hospital Integrado la Merced es la entidad encargada de brindar los servicios asistenciales de primer nivel y tiene cobertura tanto para la población urbana como para el sector rural

3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ACUEDUCTO

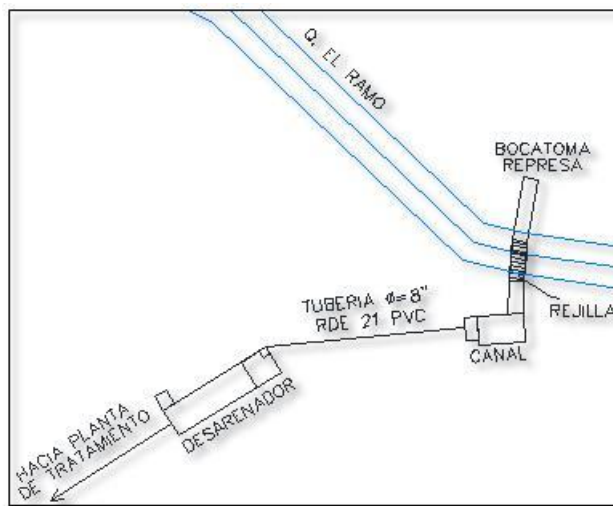
El acueducto del municipio de Zapatoca Santander, actualmente está siendo administrado por la empresa de servicios públicos, la cual es una entidad descentralizada que tiene a cargo el manejo del acueducto, el alcantarillado y aseo del municipio. La empresa de acueducto cuenta con una totalidad de 2225 suscriptores, de los cuales 2110 se localizan en el casco urbano y 115 en el sector rural, el sistema de acueducto trabaja por gravedad, desde las bocatomas hasta la red de distribución.

3.2.1 Sistema de captación y conducción. El suministro a la planta de tratamiento de agua potable se obtiene mediante dos líneas de aducción que posee actualmente el sistema de acueducto, estas líneas de aducción tienen como captación las quebradas, La Zarza-Pino con un caudal de 9.17 lps ubicada en la vereda Piedra Blanca, y la quebrada el Ramo con un caudal de 18.41 lps y la cual se encuentra ubicada en la vereda San Javier.

3.2.1.1 Captación San Javier: La fuente de abastecimiento de la conducción San Javier es la quebrada el Ramo, tiene un sistema de captación compuesto por una presa, una toma lateral, una rejilla que hace las funciones de filtro, un desarenador y toda la línea de conducción hacia la planta de tratamiento, de esta quebrada se toma un caudal de 18.41 lps para el abastecimiento de la planta, la toma de agua de la quebrada se hace mediante una rejilla de fondo, luego el agua es conducida por una tubería de 8" de diámetro en flujo libre a un desarenador que se encuentra

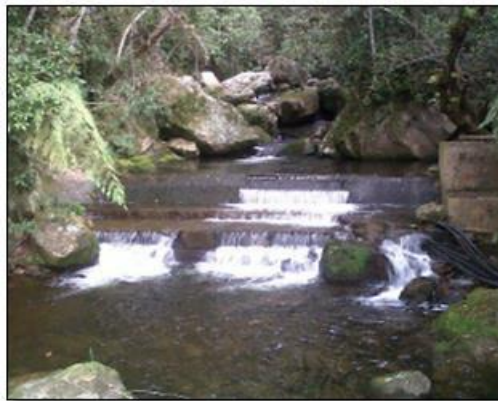
ubicado a 12.80m de distancia de la bocatoma. Luego de pasar por el desarenador, el agua es conducida por tuberías en PVC de diámetros que varían desde 6" hasta 8" con RDE 21 hasta RDE 11. La longitud total de la conducción son 14.2 Km en los cuales se encuentran pasos elevados para sortear algunos accidentes topográficos.

Figura 1. Detalle bocatoma quebrada El Ramo



Fuente: Autor

Figura 2. Bocatoma Quebrada el Ramo



Fuente: Autor

Figura 2. Desarenador Quebrada el Ramo



Fuente: Autor

Entre el desarenador que es donde empieza la conducción y la planta de tratamiento que es donde termina hay una diferencia de altura de 305.39m por lo cual se presentan fallas en las tuberías y esto es debido a las altas presiones que se manejan en la conducción, aunque a lo largo del recorrido se encuentran algunas tanquillas rompe carga, estas no alivian la presión lo suficiente como para evitar fallas en las tuberías.

En la línea de aducción se encuentran algunas válvulas de purga y válvulas de ventosa, encargadas de extraer el aire y los sedimentos conducidos por las tuberías.

3.2.1.2 Captación Piedras Blancas: La conducción piedras blancas se ubica en la sitio llamado Piedra Blanca, zona rural del municipio de Zapatoca, y su fuente de alimentación es la quebrada la Zarza – El pino y está compuesta por una presa, una captación lateral de fondo y un desarenador. La línea de conducción tiene una longitud aproximada de 5Km, desde el desarenador hasta la planta de tratamiento, esta fuente de abastecimiento posee problemas en los tiempos de sequía ya que su capacidad de captación se reduce en un 50%, cabe resaltar que esta línea de

conducción se encuentra en un buen estado. Está compuesta por tubería de 6" en hierro fundido.

Figura 3. Bocatoma Piedras Blancas



Fuente: Autor

Figura 4. Desarenador Piedras Blancas



Fuente: Autor

3.2.2 Proceso de tratamiento de agua potable. Luego del proceso de conducción, a la llegada del agua cruda a la planta de tratamiento, pasa por un proceso de potabilización, este proceso se describe a continuación.

3.2.2.1 Presedimentador: Las dos fuentes de abastecimiento descargan en un presedimentador, dotado con dos canaletas Parshall, cada una para medir el caudal de agua suministrado por cada línea de conducción, luego pasa a un presedimentador donde el agua es transportada a los tanques de sedimentación.

Figura 5. Canaletas Parshall presedimentador



Fuente: Autor

Figura 6. Llegada de conducciones



Fuente: Autor

Figura 7. Presedimentador



Fuente: Autor

Figura 8. Válvulas de purga



Fuente: Autor

3.2.2.2 Canaleta Parshall. Después de pasar por el presedimentador, en el cual se le disminuye la turbiedad y los sedimentos, el agua pasa por una canaleta Parshall en concreto donde se contabiliza el caudal tratado en la planta.

Figura 9. Foto 2 canaleta Parshall



Fuente: Autor

Figura 10. Foto 1 canaleta Parshall



Fuente: Autor

3.2.2.3 Floculador: Otro de los componentes por los cuales pasa el agua para su tratamiento es por las canaletas de floculación, en las cuales se les aplican agentes químicos para facilitar la decantación de las partículas presentes en el agua.

Figura 11. Canaletas de floculación 1



Figura 12. Canaletas de floculación 2



Fuente: Autor

3.2.2.4 Sedimentador y filtración: Posteriormente al pasar por las canaletas de floculación, el agua entra a los tanques sedimentadores donde las partículas sedimentables formadas en el tanque de floculación se van al fondo del tanque de sedimentación. Hasta este proceso el agua queda con una claridad del 80%, luego pasa por los filtros encargados de retener las partículas no sedimentables que pasan del tanque sedimentador, el proceso de filtración ayuda con la eliminación de color, sabor y olor.

Figura 13. Tanques sedimentadores



Fuente: Autor

Figura 14. Filtros



Fuente: Autor

3.2.2.5 Aplicación de cloro gaseoso: Luego del proceso de filtración, el agua es conducida hacia los tanques de almacenamiento y en el recorrido se le aplica cloro gaseoso, este es mezclado y aplicado por medio de una bomba a la línea que conduce el agua desde los filtros hacia los tanques de almacenamiento. En este punto se toman las muestras de agua para ser llevadas a análisis de laboratorio y determinar si es apta para el consumo humano, se verifico que el agua cumple con los parámetros de calidad mínimos exigidos para el tratamiento de agua potable.

Figura 15. Bomba inyección cloro



Fuente: Autor

Figura 16. Cloro gaseoso



Fuente: Autor

3.2.2.6 Tanques de almacenamiento: La planta de tratamiento actualmente posee dos tanques de almacenamiento de agua, cada uno con una capacidad de almacenamiento de 540 m³, estos tanques se encuentran ubicados dentro de la

planta de tratamiento y a su salida hacia la red de distribución cuenta con un macro medidor para contabilizar el caudal entregado por la planta de tratamiento a la red de distribución.

En el plan maestro del acueducto realizado en el año 2011, se construyó un tanque de capacidad 540 m³, el otro tanque ya era existente en la planta de tratamiento.

Figura 17. Tanque de almacenamiento 1



Fuente: Autor

Figura 18. Tanque de almacenamiento 2



Fuente: Autor

3.2.3 Red de distribución. Tiene una longitud aproximada de 34.748,37 metros y está constituida principalmente por tuberías en PVC, aunque hay algunos tramos que son en tuberías de asbesto cemento y hierro galvanizado en regular estado, las tuberías existentes varían de diámetros de 2", 3", 4", 6", 8" y 10", en la tabla 1 se muestra la cantidad de tubería que hay en la red por diámetro y tipo de material.

Tabla 1. Diámetros, longitudes y materiales de tubería en la red hidráulica

DIÁMETRO [in]	MATERIAL	LONGITUD [m]
2"	PVC	19021.21
2"	H.G	520.91
3"	PVC	9174.31
3"	A.C	1541.68
4"	PVC	756.04
4"	A.C	1107.61
6"	PVC	800.09
8"	PVC	1033.20
10"	PVC	391.90
10"	A.C	401.42
TOTAL		34748.37

Fuente: Autor

La red de distribución surte a 2210 usuarios en el municipio, y su sistema de funcionamiento es por gravedad, cuenta con un sistema de mallas, pero no muy bien definido, ya que por los diámetros tan pequeños de la tubería no se puede hacer una identificación de mallas apropiada, la red primaria de distribución o red matriz, si está bien definida y es conformada por tuberías de 6", 8" y 10". Actualmente el servicio se presta de manera interrumpida, siendo el principal factor el daño en tuberías bastante antiguas.

4. METODOLOGÍA

Para la realización del proyecto, se hicieron visitas al municipio de Zapatoca en las cuales se logró obtener información necesaria para el desarrollo del mismo, se encontró la siguiente documentación: planos de redes, topografías, estado de la planta de tratamiento, catastro de redes, esquema de ordenamiento territorial (EOT), así mismo se consultó mediante una encuesta con algunos sectores de la comunidad sobre la calidad del servicio prestado por la empresa del acueducto.

También se identificó información de los suscriptores asociados al servicio de acueducto, cantidad de agua transportada en las conducciones, cantidad de agua entregada por la planta de tratamiento a la red de distribución y estado de cada uno de los componentes de la red, esto con el fin de tener la información clara y concisa para poder obtener los resultados esperados en el análisis hidráulico.

Después de obtener la información suficiente y necesaria, se procede a la ejecutar la parte operativa, en la cual se analizan las conducciones y la red de distribución de agua potable para poder determinar las falencias presentadas en esta.

El desarrollo de la parte operativa comprende el análisis de la conducción y el análisis de la red de distribución, esto incluyendo toda la información recopilada, realizando los modelos hidráulicos en los cuales se agrupa la topografía, catastro de redes, censos poblacionales, proyecciones de población, información del macro medidor y las encuestas realizadas, las cuales nos dan una orientación sobre en qué lugares específicos se encuentran problemas de presiones y suministros.

Realizando los análisis hidráulicos y determinando las falencias encontradas se procede a dar las recomendaciones para ofrecer soluciones a los problemas presentados, planteando una propuesta que sea viable para el municipio y que beneficie a la comunidad, asegurándole a cada habitante un servicio de calidad.

4.1 RESULTADOS ENCUESTA REALIZADA

Para tener una idea preliminar sobre la calidad del servicio de acueducto que están recibiendo los habitantes del municipio de Zapatoca, se realizó una encuesta en la cual se le consulta a un sector de los hogares sobre el color, el sabor, el olor, la presión con la que llega el agua y continuidad del servicio.

La encuesta fue realizada a 60 hogares escogidos de manera aleatoria en el municipio y así poder obtener una respuesta general de la calidad del servicio.

Se realizaron cuatro (4) preguntas, las cuales son:

- Pregunta 1: ¿Cómo califica el servicio prestado por la empresa de acueducto del municipio, en lo que se refiere a sabor, olor, color y presión del agua?

Tabla 2. Encuesta calidad del agua en el municipio

	Sabor	Olor	Color	Presión
Excelente	16	19	13	3
Bueno	28	29	35	18
Regular	14	8	7	29
Malo	2	4	5	10

Fuente: Autor

Como se observa en la tabla 2, se puede determinar que la población en general tiene un concepto entre excelente y bueno en cuanto lo que se refiere al olor, sabor y color del agua, pero en el caso de la presión, si se nota inconformismo en la población ya que la mayoría de la población tiene un concepto de que las presiones son regulares en el municipio.

- Pregunta 2: ¿Se generan cortes en el servicio?

Tabla 3. Encuesta cortes de agua

SI	NO
38	22

Fuente: Autor

- Pregunta 3: ¿Cuánto es el tiempo de racionamiento hídrico?

Esta pregunta se le realizó a las personas que contestaron si en la pregunta 2.

Tabla 4. Encuesta de racionamiento hídrico

1 día o menos	23
Dos días	10
Más de dos días	5

Fuente: Autor

De las preguntas 2 y 3 se concluye que la mayoría de los encuestados han tenido cortes de agua en sus viviendas y que el tiempo de suspensión del servicio en su mayoría de veces no es superior a dos (2) días.

- Pregunta 4: ¿Qué frecuencia tienen los cortes de agua en el municipio?

Esta pregunta se le realizó a las personas que contestaron si en la pregunta 2

Tabla 5. Encuesta de frecuencia de cortes del servicio

Todos los días	5
Una vez a la semana	24
Una vez al mes	9

Fuente: Autor

Según los datos obtenidos podemos determinar que en el municipio se presentan cortes de agua seguidos, esto es debido a la ruptura de tuberías tanto en la conducción como en la red de distribución y esto afecta la calidad del servicio ya que no es constante y afecta a la comunidad, la información de las rupturas de tuberías fue suministrada por el supervisor encargado del acueducto.

4.2 PARÁMETROS PARA EL DIAGNOSTICO DE LA RED

Para la realización del diagnóstico de la red fue necesario calcular una serie de parámetros que están establecidos y fundamentados en el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS Título B). En el reglamento se establecen forma de calcular los datos indispensables para el modelamiento, optimización y diseño de redes de distribución de agua potable. Dichos datos hacen referencia al nivel de complejidad del sistema, caudales de consumo a diferentes horas del día, proyecciones de población, entre otros, y esto con el fin de calcular la dotación neta de agua potable que requiere cada habitante del municipio, para luego proceder a calcular la dotación total que se requiere en el

sistema y verificar si el acueducto tiene la capacidad de atender la demanda de agua en el municipio.

4.2.1 Datos de población en el último censo. En el año 2005, el Departamento Nacional de Estadística (DANE) realizó un censo para toda la población colombiana, en este censo para el municipio de Zapatoca, el DANE determinó que la población para el año 2005 era de 9255 habitantes y la proyección de población para el año 2010 era de 9147 habitantes.

Tabla 6. Población censo 2005 y proyección de población según DANE

AÑO	CABECERA MUNICIPAL	RESTO MUNICIPIO	TOTAL HABITANTES
2005	5684	3571	9255
2010	5719	3428	9147

Fuente: Censo DANE 2005

Si comparamos los datos de Zapatoca con los del departamento de Santander concluimos que ocupa el puesto 29 de los 87 municipios que hay en el departamento y representa un 0,4826 % de la población total del departamento.

En los datos obtenidos en el censo del DANE en el año 2005 y su respectiva proyección al año 2010, se puede determinar que la Rata de Crecimiento Anual Poblacional es decreciente para el municipio de Zapatoca, pero debido al crecimiento turístico de la región y a la proyección de construcción del corredor vial San Gil - Barichara - Galán - Zapatoca, se asume que se debe tener un aumento en la población en los próximos años, y esto es tenido en cuenta para efectos de cálculos de la población futura del municipio.

4.2.2 Calculo de proyección de la población. El método de cálculo para la proyección de la población depende del nivel de complejidad del sistema, debe definirse el nivel de complejidad del sistema según se establece para todos los componentes del acueducto según numeral A.3 del RAS Título A, la clasificación del proyecto en uno de estos niveles depende del número de habitantes en la zona urbana del municipio, su capacidad económica y el grado de exigencia técnica para el proyecto.

Tabla 7. Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes) ⁽¹⁾	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, tabla A.3.1

Para efectos prácticos elegimos como nivel de complejidad, el de la población futura. Lo anterior con el fin de evaluar el funcionamiento y comportamiento del sistema a futuro, analizando todos los componentes desde la bocatoma hasta finalizar en la red de distribución, así podremos determinar si el caudal demandado por la población está entre la capacidad de respuesta de la planta.

El cálculo de la población se realiza partiendo de la información que se tiene a disponibilidad sobre habitantes del municipio, tomando como referencia el censo realizado por el DANE en el año 2005, y complementándola con la información de suscriptores que tiene el municipio, esto con el fin de hacer la valoración de caudal por viviendas.

Para nuestro caso tenemos que el nivel de complejidad de nuestro sistema según la tabla 7, el nivel de complejidad de acuerdo al tamaño de la población es medio, pues la población en la zona urbana esta entre 2501 a 12500 habitantes, tomando como referencia el censo del DANE 2010.

Tabla 8. Métodos de cálculo según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de Complejidad del Sistema				
Método por emplear	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, Geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético + Geométrico + exponencial + otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades	X	X		

Fuente: RAS Título B, tabla B.2.1

Para la obtención de la proyección de la población se aplican los métodos aritmético, geométrico y exponencial, los cuales son los que se deben aplicar según el nivel del sistema, para la población en análisis es nivel medio, de los tres se escoge el que describa un mejor comportamiento en el crecimiento poblacional, los datos obtenidos deben ser ajustados con la población flotante y migratoria.

Los métodos se explican a continuación, estos métodos explicados y aplicados siguen los lineamientos descritos en el numeral B.2.4.3.4 del RAS Título B.

4.2.2.1 Método aritmético: Consisten en considerar que el crecimiento de la población es constante, es decir asimilable a una línea recta, su crecimiento se da debido a la diferencia entre el número de nacimientos y el número de defunciones de una población, así mismo por la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

Ecuación 1. Calculo de proyección de población por el método aritmético

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} x (T_f - T_{uc})$$

Fuente: RAS Titulo B, ecuación B.2.1

Donde:

P_f : Población futura.

P_{uc} : Población del último año censado con información.

P_{ci} : Población del primer año censado con información.

T_{uc} : Año correspondiente al último año censado con información.

T_{ci} : Año correspondiente al censo inicial con información.

T_f : Año al cual se quiere proyectar la información.

4.2.2.2 Método geométrico: El método geométrico es útil en poblaciones que muestren 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, el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial recomienda la aplicación de este método para las poblaciones que aplique. La ecuación empleada es:

Ecuación 2. Calculo de proyección de población por el método geométrico

$$P_f = (P_{uc})x(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Fuente: RAS Titulo B, ecuación B.2.2

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 3. Calculo de tasa de crecimiento para método geométrico

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}} - 1$$

Fuente: RAS Titulo B, ecuación B.2.3

4.2.2.3 Método exponencial: La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación a utilizar es la siguiente:

Ecuación 4. Calculo de tasa de crecimiento para método exponencial

$$P_f = P_{ci} X e^{Kx(T_f - T_{ci})}$$

Fuente: RAS Titulo B, ecuación B.2.4

Donde **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:

Ecuación 5. Calculo de tasa de crecimiento para método exponencial

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Fuente: RAS Titulo B, ecuación B.2.5

Donde:

P_{cp}: Población del censo posterior.

P_{ca}: Población del censo anterior.

T_{cp} : Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} : Año correspondiente al censo anterior.

Ln : Logaritmo natural o logaritmo neperiano.

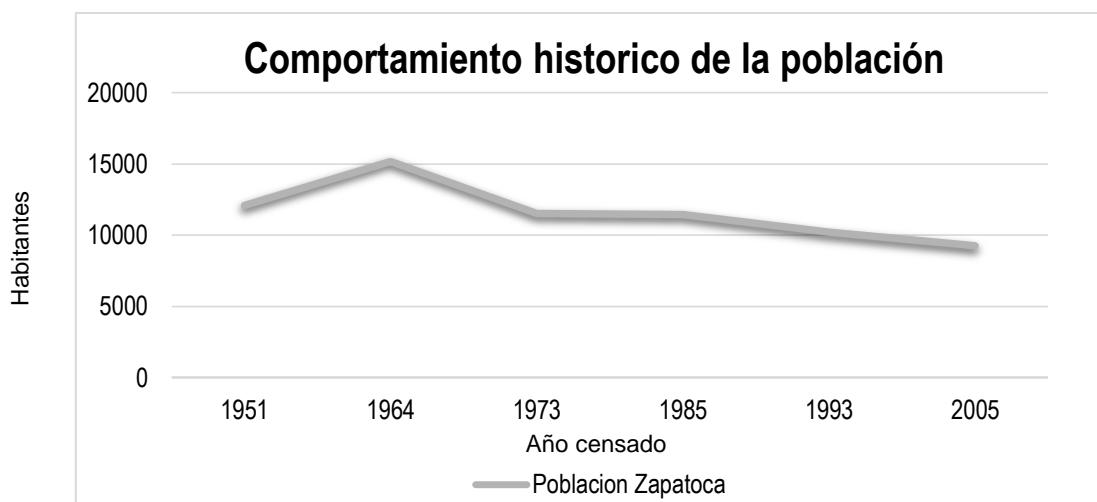
4.2.3 Censos poblacionales. Para el municipio de Zapatoca se cuenta con la siguiente información respecto a los censos realizados por el DANE.

Tabla 9. Información histórica de censos para el municipio de Zapatoca

Censos Municipio de Zapatoca según DANE			
Año	Habitantes cabecera	Habitantes otras zonas	Total
1951	5629	6435	12064
1964	7305	7859	15164
1973	6268	5245	11513
1985	6440	4996	11437
1993	6063	4161	10224
2005	5684	3571	9255

Fuente: Departamento Nacional de estadística (DANE)

Figura 19. Grafico comportamiento histórico de la población



Fuente: Autor

En el grafico anterior se muestra un comportamiento no homogéneo en el crecimiento de la población. Se observa un crecimiento significativo en el periodo comprendido entre los censos de 1951 a 1973 y de ahí hasta el censo del año 2005 ha habido un decrecimiento significativo en la población del municipio de Zapatoca, pero debido al crecimiento turístico de la región y a la proyección de construcción del corredor vial San Gil - Barichara - Galán – Zapatoca, se asume que se debe tener un aumento en la población en los próximos años, y esto es tenido en cuenta para efectos de cálculos de la población futura del municipio. Para los cálculos por los distintos métodos tomamos en cuenta la población en zona urbana.

Cabe notar que en el municipio de Zapatoca se tiene una tasa de crecimiento poblacional negativa y según direccionamiento del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) en los casos que se presente tal situación o se tengan tasas de crecimiento menores al promedio nacional, se tomara para los cálculos de proyección una tasa de crecimiento para el método geométrico de 2.0%.

4.2.4 Periodo de diseño. El periodo de diseño se encuentra establecido según el artículo 2 de la resolución 2320 de 27 de noviembre de 2009 mediante el cual se modificó el artículo 69 de la resolución 1096 de 2000. En la tabla que se muestra a continuación se define el periodo de diseño según el nivel de complejidad.

Tabla 10. Periodo de diseño

Nivel de Complejidad del sistema	Período de diseño máximo
Bajo, Medio y Medio alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: RAS Titulo B, tabla B.7.1

De acuerdo con la tabla 10, el periodo de diseño para el sistema es de 25 años ya que el nivel de complejidad es medio, por tanto, nuestro año de proyección se cuenta a partir de la población proyectada en el año 2017 que son 6569 habitantes en la cabecera municipal.

Aplicando los métodos para calcular las proyecciones de población obtenemos los siguientes datos:

Tabla 11. Proyección de población método geométrico

MÉTODO GEOMÉTRICO						
Año	2.017	2.022	2.027	2.032	2.037	2.042
Población	6.569	7.253	8.007	8.841	9.761	10.777

Fuente: Autor

Se calcula entonces por medio del método geométrico la proyección de la población del municipio de Zapatoca con una tasa de crecimiento del 2% y tomando como población base la establecida en la proyección al año 2010, dando como resultado que para el año 2042 para el municipio de Zapatoca la población en la cabecera municipal será de 10.777 habitantes.

- Población proyectada 2042: 10.777 habitantes.
- Población año 2017: 6.569 habitantes
- Nivel de complejidad de acuerdo a capacidad económica: Bajo
- Nivel de complejidad de acuerdo al tamaño de la población: Medio

Según los resultados obtenidos de las proyecciones el nivel de complejidad del sistema para el año 2042 sigue siendo nivel de complejidad media, pues se debe tomar como nivel de complejidad el que resulte mayor entre la capacidad económica y la proyección de la población.

4.2.5 Dotación

4.2.5.1 Dotación neta: La dotación neta corresponde al caudal mínimo de agua potable requerido para cubrir las necesidades básicas de cada habitante del municipio, la dotación neta no tiene en cuenta las pérdidas generadas en el sistema.

Según la resolución 2320 del 27 de noviembre de 2009 por el cual se modificó el artículo 67 de la resolución 1096 de 2000, estableciendo las nuevas dotaciones dependiendo del nivel de complejidad del sistema. Según esta resolución, se entiende por clima templado o clima frío las poblaciones que se encuentran ubicadas a una altura mayor a 1000 metros sobre nivel del mar (m.s.n.m.) y por poblaciones con clima cálido a las poblaciones que se encuentran ubicadas a una altura menor a 1000 (m.s.n.m.)

Tabla 12. Dotación neta

Nivel de complejidad del sistema	Dotación Neta máxima para poblaciones con clima frío o templado (L/Hab*día)	Dotación Neta máxima para poblaciones con clima cálido (L/Hab*día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio Alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: RAS Título B, tabla B.2.3

Para el municipio de Zapatoca, tenemos que se encuentra a una altitud de 1720 (m.s.n.m.), por tanto, queda clasificada como población con clima frío o templado debido a que se encuentra por encima de una altitud de 1000 (m.s.n.m.).

- Dotación neta municipio de Zapatoca: **115 L/Hab*día.**

4.2.5.2 Dotación bruta: Hace referencia a la cantidad máxima de agua necesaria para cubrir las necesidades básicas de un habitante, considerando para su cálculo el porcentaje de pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. La dotación bruta se debe calcular con la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Calculo de dotación bruta

$$d_{bruta} = \left(\frac{D_{neta}}{1 - \%P} \right)$$

Fuente: RAS Titulo B, ecuación B.2.8

Las pérdidas técnicas corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de la planta potabilizadora y volumen entregado a la población en las acometidas domiciliarias del municipio.

Para los municipios que no tengan registros históricos sobre las pérdidas de agua en el sistema de acueducto, el porcentaje de pérdidas técnicas admisibles se establece de acuerdo con la resolución 2320 de 27 noviembre de 2009 en la cual se especifica que no debe superar el 25%.

Por tanto, para el cálculo de la dotación bruta el porcentaje de perdidas es del 25%, donde la dotación bruta es de **153.33 Lt/hab-dia.**

4.2.5.3 Demanda

- **Caudal medio diario**

El caudal medio diario, Q_{md} , es el consumo que se espera realice la población durante un periodo de un día, promediando el consumo diario durante un periodo de un año, se calcula multiplicando el número de habitantes por la dotación bruta del año proyectado.

Ecuación 7. Caudal medio diario

$$Q_{md} = \frac{p * d_{bruta}}{86400}$$

Fuente: RAS Titulo B, ecuación B.2.12

El caudal medio diario aplicando la ecuación 7, para la proyección de población de Zapatoaca al año 2042 que es de 10.777 habitantes, será de **19.12 Lps.**

- **Caudal máximo diario**

El caudal máximo diario es el consumo máximo que será requerido en un periodo de 24 horas, y se calcula como un valor ampliado del caudal medio diario.

Ecuación 8. Caudal máximo diario

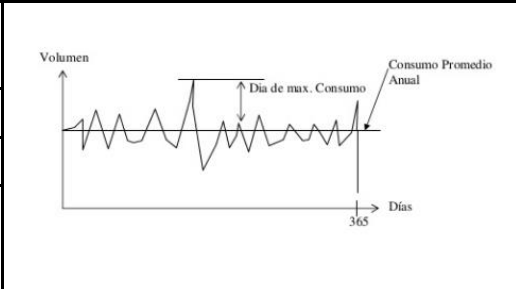
$$QMD = Q_{md} * K_1$$

Fuente: RAS Titulo B, ecuación B.2.10

El factor de amplitud es K_1 , y se determina por la relación entre el mayor consumo diario y el caudal medio diario, utilizando datos de un periodo mínimo de un año. Para este caso se toma el caudal máximo diario registrado en la planta de tratamiento y el caudal medio diario calculado anteriormente,

Tabla 13. Coeficiente de consumo máximo diario K1

Descripción	Caudal
Máximo consumo	24.86LPS
Consumo medio	19.12LPS
K1	1.30



Fuente: Autor

Por tanto, resolviendo la ecuación para el caudal máximo diario con un factor K_1 de 1.30, tenemos que **QMD=24.85 Lps.**

- **Caudal máximo horario**

El caudal máximo horario QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario K_2 .

Ecuación 9. Caudal máximo horario

$$QMH = QMD * K_2$$

Fuente: RAS Titulo B, ecuación B.2.11

El coeficiente K_2 lo tomamos de la tabla 14, donde se muestran los valores de caudal medio horario y caudal máximo horario, valores determinados en la curva de modulación o curva de variación de la demanda.

Tabla 14. Coeficiente de consumo máximo horario K2

Descripción	Valor	
Consumo máximo horario	1.65	
Consumo medio horario	1.03	
K_2	1.6	

Fuente: Autor

Con los valores de consumo calculados en base a la curva de variación horario de la demanda, la cual fue suministrada por la empresa de acueducto, obtenemos que el valor de K_2 es 1.6, y resolviendo la ecuación 9 con este valor calculado termos **QMH = 39.76 Lps.**

- **Resumen de dotación hídrica.**

Con los datos calculados anteriormente, se procede a realizar el modelamiento hidráulico, el modelamiento se hace para una población proyectada al año 2042 de 10.777 habitantes, con el fin de determinar la capacidad de la red y la planta de tratamiento para una dotación neta óptima a una proyección de 25 años, con esto podemos determinar si la planta de tratamiento de agua potable tiene la capacidad para suplir la demanda hídrica de la población actual y proyectada a un futuro de 25 años.

4.3 DESARROLLO DEL PROYECTO

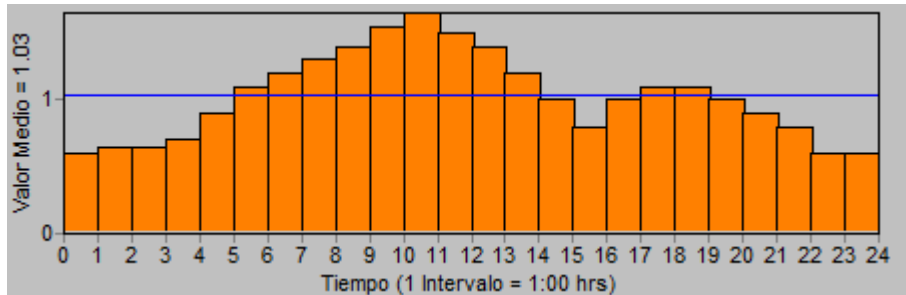
Teniendo la dotación neta calculada, procedemos a realizar los respectivos análisis de los componentes del acueducto, entre los cuales tenemos: tanques de almacenamiento, red de distribución y conducción.

El modelamiento de las redes hidráulicas de distribución y conducción se efectuaron por medio del software EPANET 2.0, con el cual se logró determinar algunas falencias en el sistema respecto a lo exigido en la normativa del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS título B.

Para hacer las simulaciones, se introducen datos de entrada iniciales, con los cuales el software maneja los cálculos, estos datos son, la unidad de caudal en litros por segundo (LPS), la ecuación de perdidas Darcy – Weisbach y diámetros en milímetros.

Así mismo para hacer el análisis del comportamiento de la variación de la demanda hídrica por parte de los suscritores se debe ingresar la curva de modulación que está asociada directamente a la demanda hídrica por periodos de tiempo. La curva de modulación está influenciada por diferentes factores como el nivel socioeconómico, la época del año o el día de la semana.

Figura 20. Curva de Modulación acueducto de Zapatoca



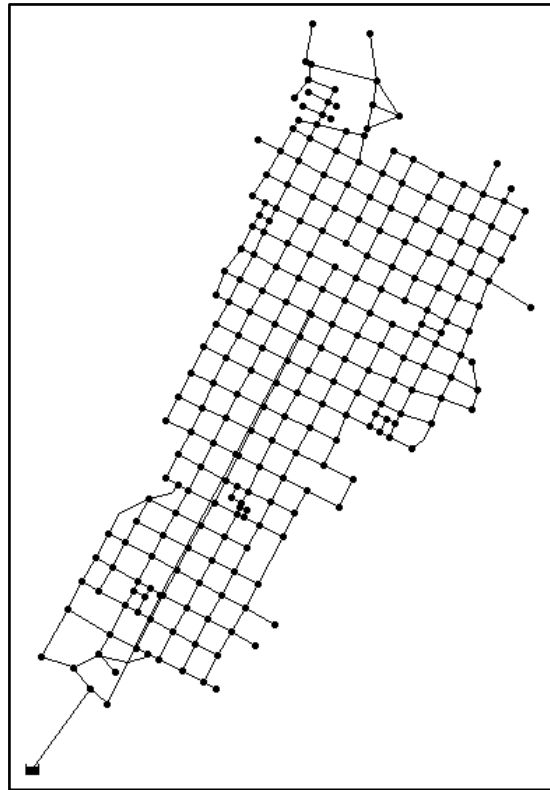
Fuente: Acueducto municipio de Zapatoca

Con los modelos hidráulicos, determinamos las presiones, velocidades y dirección de flujo en la malla hidráulica, teniendo en cuenta las variaciones de demanda respecto a los consumos a diferentes horas del día.

4.3.1 Simulación en EPANET 2.0 para el caudal máximo diario de 24.85Lps.

Con los datos de caudal máximo diario se realiza la simulación de la red de distribución para estudiar su comportamiento ante la demanda de agua presentada en el municipio, la demanda de agua establecida para esta simulación es la mínima cantidad de agua para cada habitante del municipio, cumpliendo con los parámetros establecidos en el RAS título B.

Figura 21. Modelo hidráulico red de distribución agua potable



Fuente: Autor

4.3.1.1 Análisis general de la red: Inicialmente se realiza un análisis general para la red de distribución y seguidamente se continúa con un análisis por sectores. En el análisis general se revisan las mallas principales y si cumplen con los parámetros establecidos en el reglamento RAS Título B.

En la tabla 15 se muestran los diámetros mínimos exigidos para redes menores de distribución.

Tabla 15. Diámetros mínimos de la red menor de distribución

Nivel de complejidad	Diámetro mínimo
Bajo y medio	50 mm (2.0 pulgadas)
Medio Alto	100mm (4 pulgadas) Zona industrial 63.5mm 2 1/2 pulgadas) Zona residencial
Alto	150mm (6 pulgadas) Zona industrial 75.0mm (3 pulgadas) Zona residencial

Fuente: RAS título B, tabla B 7.4

Para el caso de la red en estudio, se tiene que los diámetros mínimos con los que trabaja la red son de 2 pulgadas, por tanto, para redes menores de distribución se cumplen los parámetros exigidos en el reglamento.

También se hace el análisis de los materiales de las tuberías instaladas actualmente, en la tabla 16 se muestran la cantidad de tubería instalada en la red y su respectivo material

Tabla 16. Diámetros y materiales de tuberías en la red de distribución

DIÁMETRO [in]	MATERIAL	LONGITUD [m]
2"	PVC	19021.21
2"	H.G	520.91
3"	PVC	9174.31
3"	A.C	1541.68
4"	PVC	756.04
4"	A.C	1107.61
6"	PVC	800.09
8"	PVC	1033.20
10"	PVC	391.90
10"	A.C	401.42

DIÁMETRO [in]	MATERIAL	LONGITUD [m]
TOTAL		34748.37

Fuente: Autor

Como se muestra en la tabla 16, en la red de distribución existen tuberías de 2 pulgadas en hierro galvanizado y tuberías de 3, 4 y 10 pulgadas en asbesto cemento, y para cada uno de los diámetros desde 2 pulgadas hasta 10 pulgadas tubería en PVC.

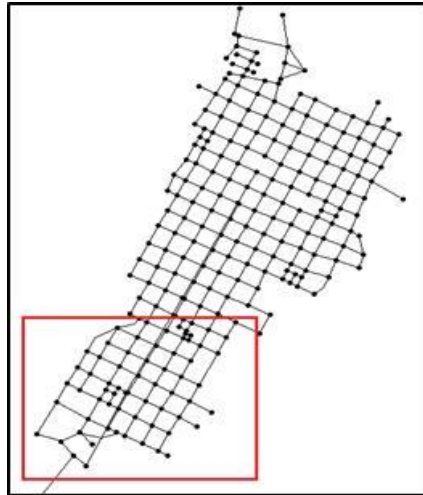
4.3.1.2 Análisis detallado de la red: Para revisar cada uno de los puntos a analizar en la red de distribución se toma la decisión de dividir la red en tres sectores y hacer su respectivo análisis para cada uno, los tres sectores que comprenden la red son: sector norte, sector sur, y sector centro, con esta subdivisión se obtienen resultados más precisos y así determinar el estado actual de la red.

Para los cuatro sectores descritos anteriormente se realizará análisis de presiones, velocidades y los diámetros óptimos para la red, cumpliendo con los parámetros establecidos en el RAS título B, para cada una de estas características.

- **Sector Sur**

El sector sur definido para el modelo hidráulico es el comprendido entre las calles tres a la calle doce y entre las carreras séptimas y trece del municipio de Zapatoca.

Figura 22. Sector sur red de distribución



Fuente: Autor

Para el sector sur del municipio, la red de distribución presenta presiones bajas en algunos sectores, esto debido a que la diferencia de altura piezométrica entre la planta de tratamiento de agua potable y algunos nodos en la red de distribución del sector sur es baja, el sector se ha poblado en una cota muy aproximada a la de la planta, generando que se presenten presiones bajas e incumpliendo el reglamento, en el cual se especifica que las presiones mínimas en redes de distribución dependen del nivel de complejidad del sistema.

Tabla 17. Presiones mínimas en la red de distribución

Nivel de complejidad	Presión mínima [KPa]	Presión mínima [m.c.a]
Bajo	98.1	10
Medio	98.1	10
Medio alto	147.2	15
Alto	147.2	15

Fuente: RAS título B, numeral B.7.4.6

presión y la planta de tratamiento, cota nodo: 1.772,40 m.s.n.m, cota planta: 1.775,82 m.s.n.m.

Para hacer llegar el agua desde la planta de tratamiento se plantea un sistema de impulsión por bomba hasta el tanque de almacenamiento planteado a una cota superior 1.787,40 m.s.n.m.

– **Diseño bomba de impulsión**

Para determinar la bomba de impulsión requerida se debe determinar el caudal de bombeo, diámetro de impulsión, diámetro de succión y altura dinámica.

➤ **Caudal de bombeo a tanque**

Para abastecer la zona de bajas presiones es necesario saber el caudal de bombeo de la estación, y ese caudal está dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Caudal de bombeo

$$Q_b = \frac{QMD * 24h}{16h}$$

Fuente. Acueductos, teoría y diseño 1997

Donde Q_b es el caudal de bombeo y QMD es el caudal máximo diario, dato que ya ha sido calculado anteriormente, para este caso tomamos un 25% del caudal máximo diario para bombear, debido a que el sector con problemas de presiones es la cuarta parte de la población total del municipio. Resolviendo la ecuación con el valor $25\%QMD = 6.22Lps$, el caudal de bombeo es $Q_b = 9.31Lps$.

➤ Diámetro de impulsión

Para determinar el diámetro de impulsión de la bomba se utiliza la ecuación de Bresse para bombeos continuos:

Ecuación 11. Ecuación de Bresse para bombeos continuos

$$D_m = 1.2 \left(\frac{t}{24} \right)^{0.25} * \sqrt{Q_b}$$

Fuente. Acueductos, teoría y diseño 1997

Donde Q_b es el caudal de bombeo hacia el tanque de almacenamiento y t es el periodo de bombeo en horas. Resolviendo la ecuación 11 con los siguientes datos. $t = 12 \text{ horas}$, este valor se obtiene en el numeral B.8.4.3 del RAS título B, en el cual para nivel de complejidad medio el tiempo de bombeo es de 12 horas y $Q_b = 0.0093 \text{ m}^3/\text{sg}$, calculado en el numeral anterior, se obtiene que $D_m = 3.84 \text{ pulgadas}$, ya que el diámetro calculado no es comercial, se revisa un diámetro comercial que mejor se ajuste a las necesidades y cumpliendo con las velocidades máximas y mínimas exigidas en el numeral 8.4.8.3 del RAS título B.

La velocidad máxima exigida es $V_{max} = 6 \text{ m/sg}$ y la mínima es $V_{min} = 1 \text{ m/sg}$, se calculan las velocidades para el diámetro superior e inferior comercial al valor obtenido en el cálculo, las velocidades se calculan con la ecuación $Q = V * A$, obtenido como resultado los siguientes valores:

Tabla 18. Calculo de velocidades para tuberías de impulsión comerciales

Tubería	Área	Caudal	Velocidad	Vmax	Vmin
3 Pulgadas	0.0045	0.0093	2.041	Cumple	Cumple
4 Pulgadas	0.0081	0.0093	1.148	Cumple	Cumple

Fuente: Autor

Como se observa en la tabla 18 las dos tuberías cumplen para las velocidades máximas y mínimas, pero se toma la tubería de menor diámetro pues esta ofrece velocidades, es decir la tubería de 3 pulgadas.

➤ **Diámetro de succión**

Para calcular el diámetro de succión, se utiliza la misma ecuación y los mismos datos que el diámetro de impulsión, la diferencia radica en los parámetros de velocidades mínimas y máximas exigidas, la velocidad máxima para tuberías de succión es $V_{max} = 1.45 \text{ m/sg}$ y la velocidad mínima es $V_{min} = 0.45 \text{ m/sg}$

Para los diámetros de succión se obtienen los siguientes valores:

Tabla 19. Calculo de velocidades para tuberías de succión comerciales

Tubería	Área	Caudal	Velocidad	Vmax	Vmin
3 Pulgadas	0.0045	0.0093	2.041	No Cumple	Cumple
4 Pulgadas	0.0081	0.0093	1.148	Cumple	Cumple

Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla 19, el diámetro que cumple para la succión es el de 4 pulgadas, cumpliendo con los dos parámetros, el de la velocidad máxima y la velocidad mínima.

➤ **Altura dinámica**

La altura dinámica total es necesaria para el cálculo de la bomba a instalar, y para calcularla se requiere tener los datos de pérdidas por fricción en tuberías y accesorios, para la succión como para impulsión.

Ecuación 102. Ecuación de pérdidas de Hazen-Williams

$$Q_b = 0.2785 * C * D^{2.63} * S^{0.54}$$

Fuente: Acueductos, teoría y diseño 1997

Donde:

Q_b : Caudal de bombeo (m³/s)

C : Coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams para PVC es 150

D : Diámetro interior tubería seleccionada (m)

S : Gradiente hidráulico (m/m)

Despejando S de la ecuación 12, tenemos que

$$S = \left[\frac{Q_b}{0.2785 * C * D^{2.63}} \right]^{1.85}$$

Para la succión se tiene que el diámetro es de 8 pulgadas, por tanto con los datos calculados tenemos que $S_{succ} = 0.0119 \text{ m/m}$

Ahora se procede a calcular las pérdidas unitarias para la succión, con la ecuación de pérdidas.

Ecuación 113. Ecuación de pérdidas unitarias

$$H_{fsucc} = S_{succ} * L$$

Fuente: Acueductos, teoría y diseño 1997

Donde:

H_f : Pérdidas unitarias (m)

L : Pérdidas por accesorios y tubería (m)

Para calcular L, tenemos los siguientes accesorios y tuberías en el tramo de tubería de succión.

Tabla 20. Pérdidas por accesorios succión de la bomba

ACCESORIOS Y TUBERÍAS	L
Tubería de 4"	17.00
Válvula de pie	23.00
Codo 4"	3.35
Reducción	0.91
Entrada de borda	4.00
Total	48.26

Fuente: Autor

Por tanto el valor de pérdidas para la succión corresponde a $H_{fsucc} = 0.574m$.

Se realiza el mismo procedimiento de cálculo que se utilizó para la succión aplicada a la impulsión, teniendo entonces el diámetro de impulsión de 3 pulgadas y aplicando la ecuación de pérdidas de Hazen – Williams obtenemos un gradiente hidráulico $S_{impulsion} = 0.048 m/m$.

Se procede a calcular las perdidas unitarias con la ecuación 13 teniendo en cuenta los valores de Longitud desde la bomba hasta el tanque de almacenamiento.

Tabla 21. Perdidas por accesorios impulsión de la bomba hacia tanque

ACCESORIOS Y TUBERÍAS	L
Tubería de 3"	412.00
Válvula de retención	6.30
T paso directo	1.60

Salida tubería	2.10
Codo 45	1.50
Codo 90	13.50
Total	437.00

Fuente: Autor

Con los datos anteriores, se calculan las pérdidas por impulsión que son $H_{fimpul} = 21.09m$.

La altura dinámica total se representa como la sumatoria de las pérdidas por impulsión y succión, la cabeza de velocidad y la altura estática.

La altura estática es la comprendida entre las láminas de agua desde donde se succiona hasta donde se bombea (tanque de almacenamiento) y la velocidad tomada para calcular la cabeza de velocidad es la velocidad de impulsión, anteriormente calculada.

Tabla 22. Altura dinámica total

Altura estática	20
Perdidas succión	0.57
Perdidas impulsión	21.09
cabeza de velocidad	0.21
Altura dinámica total	41.87

Fuente: Autor

Se determina una altura estática de 20m, la cual es la suficiente para llegar a tener en la red de distribución una presión más alta que lo reglamentado en la RAS título B para sistemas de nivel de complejidad medio, la cual es 10 m.c.a. y que actualmente tiene presiones de 3.25 m.c.a.

Sumando los factores anteriormente nombrados tenemos que la altura dinámica total es **HDT = 41.87 m. c. a**

➤ **Altura piezométrica de succión**

La altura piezométrica se define por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 124. Altura piezométrica de succión

$$NPSH = P_{atm} - (H_{succ} + H_{f_{succ}}) - P_V$$

Fuente: Acueductos, teoría y diseño 1997

Donde:

$NPSH$:	Altura piezometria de succión
P_{atm} : 9.24 m. c. a	Presión atmosférica de Zapatoca
H_{succ} : 1.95m. c. a	Altura de estática de la succión
$H_{f_{succ}}$: 0.57m. c. a	Perdidas por succión
P_V : 0.22m. c. a	Presión de vapor del agua

La presión atmosférica se obtiene de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar del lugar de ubicación de la bomba, que en este caso es la planta de tratamiento de agua potable, también la presión de vapor del agua se calcula de acuerdo a la temperatura promedio del municipio.

Resolviendo la ecuación 15 con los valores anteriores, obtenemos que la altura piezométrica de succión es, $NPSH = 6.50 m. c. a$

➤ **Potencia bomba**

La potencia de la bomba está regida por el caudal de bombeo y la altura dinámica total, la energía que se requiere para que la bomba tenga normal funcionamiento se denomina potencia de consumo y se calcula con la ecuación 15.

Ecuación 135. Potencia hidráulica de la bomba

$$P_H = \frac{Q_b * HDT}{76}$$

Fuente: Acueductos, teoría y diseño 1997

Donde:

Q_b : Caudal de bombeo (l/s)

HDT : Altura dinámica total (m)

P_H : Potencia de la bomba (Hp)

Ingresando los datos a la ecuación 14, se obtiene que la potencia hidráulica es $P_H = 5.12 Hp$, se debe tener en cuenta la eficiencia de la bomba, su valor de eficiencia varía entre 50% y 85%, para este caso se toma como eficiencia un valor de 65%, valor con el cual calculamos la potencia al freno. Al dividir la potencia hidráulica sobre la eficiencia obtenemos un valor de 7.88 Hp, con este valor de potencia al freno, encontramos la potencia requerida para cumplir con el bombeo a realizar, la cual está relacionada a un aumento directamente proporcional a la potencia al freno.

Al tener una potencia al freno de 7.88 Hp se toma como aumento para el cálculo de la potencia requerida un 10% del valor actual, es decir la potencia final requerida para la bomba es de 8.67 Hp.

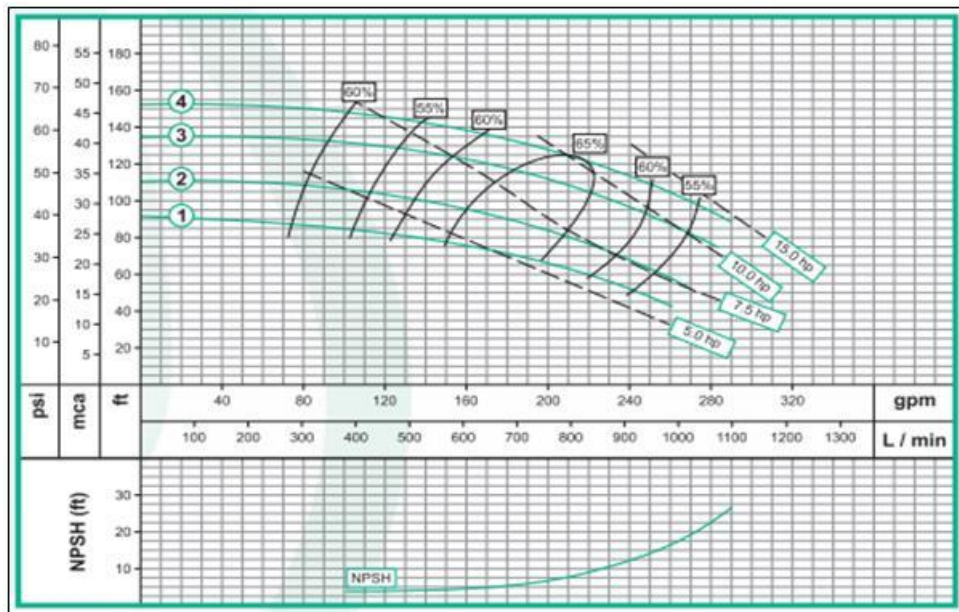
➤ **Elección de la bomba**

Se elige una bomba que cumpla con las especificaciones anteriormente calculadas, para el caso en práctica, se elige la bomba GE-2E 50-4 de referencia 1B0065 de BARNES de Colombia S.A, la cual cumple con la altura dinámica, potencia y caudal de bombeo, se puede buscar una bomba que cumpla con las mismas especificaciones, que sea de otro proveedor.

➤ **Curva de la bomba**

La curva de la bomba se muestra en la figura 24, y la bomba elegida es la que tiene una potencia de 15 Hp.

Figura 24. Curva de la bomba



Fuente: BARNES de Colombia S.A.

➤ **Diseño elevado de tanque de almacenamiento**

Para aumentar las presiones se decidió implementar un sistema de impulsión desde la planta de tratamiento por medio de bomba hasta un tanque de mayor elevación para dar más altura al recorrido del agua y así generar presiones por encima de las reglamentadas por el RAS título B, que son de 10 m.c.a. para acueductos de nivel de complejidad baja y media. La altura estática del tanque es mayor en 20 m.c.a. que es la diferencia de altura entre láminas de agua de los dos tanques, el tanque existente donde se succiona y el nuevo elevado.

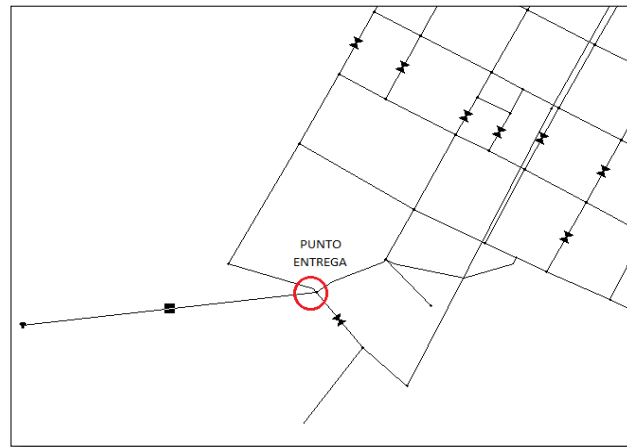
Para calcular el volumen de almacenamiento, tenemos que el tiempo de bombeo como se estableció en el numeral 5.3.1.2.1.1.2 del presente documento es de 12 horas, con un caudal de bombeo de 0.00931 m³/s.

La capacidad de almacenamiento del tanque depende del suministro y la distribución del mismo a la red, que como tal dará una diferencia entre el suministro y la salida del tanque, por tal motivo en la RAS título B, la capacidad de regulación del tanque para nivel de complejidad media es de 1/3 del volumen total entregado a la red de distribución, por tanto el volumen estará definido de la siguiente manera, $V_T = \frac{Q_b}{3} * t$, por tanto tenemos un volumen total de almacenamiento $V_T = 134.06 \text{ m}^3$

➤ **Ubicación y tamaño de tanque de agua**

El tanque de agua para el culmen calculado queda de las siguientes dimensiones, longitud 7m, ancho 4m, alto 5m, para un volumen total de 140m³, y estará ubicado a una elevación de 1795.82, 20 metros más alto que la cota de los tanques existentes y a una longitud de 385 metros del punto de entrega en la red de distribución. El nuevo tanque de almacenamiento suministrará agua por gravedad a la zona de baja presión, la cual será aislada de la red con válvulas de cierre permanente para no tener cruce de presiones con la red principal como se muestra en la figura a continuación.

Figura 25. Ubicación nuevo tanque de almacenamiento

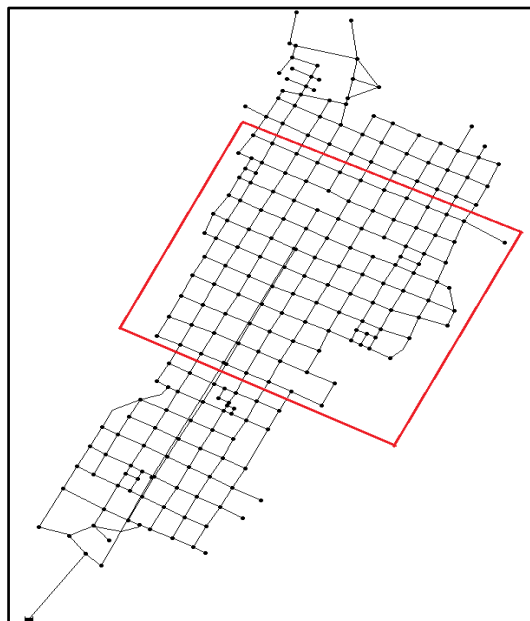


Fuente: Autor

- **Sector Centro**

El sector centro definido para el modelo hidráulico es el comprendido entre las calles doce a la calle veinte y entre las carreras tres y catorce del municipio de Zapatoca.

Figura 26. Sector centro red de distribución



Fuente: Autor

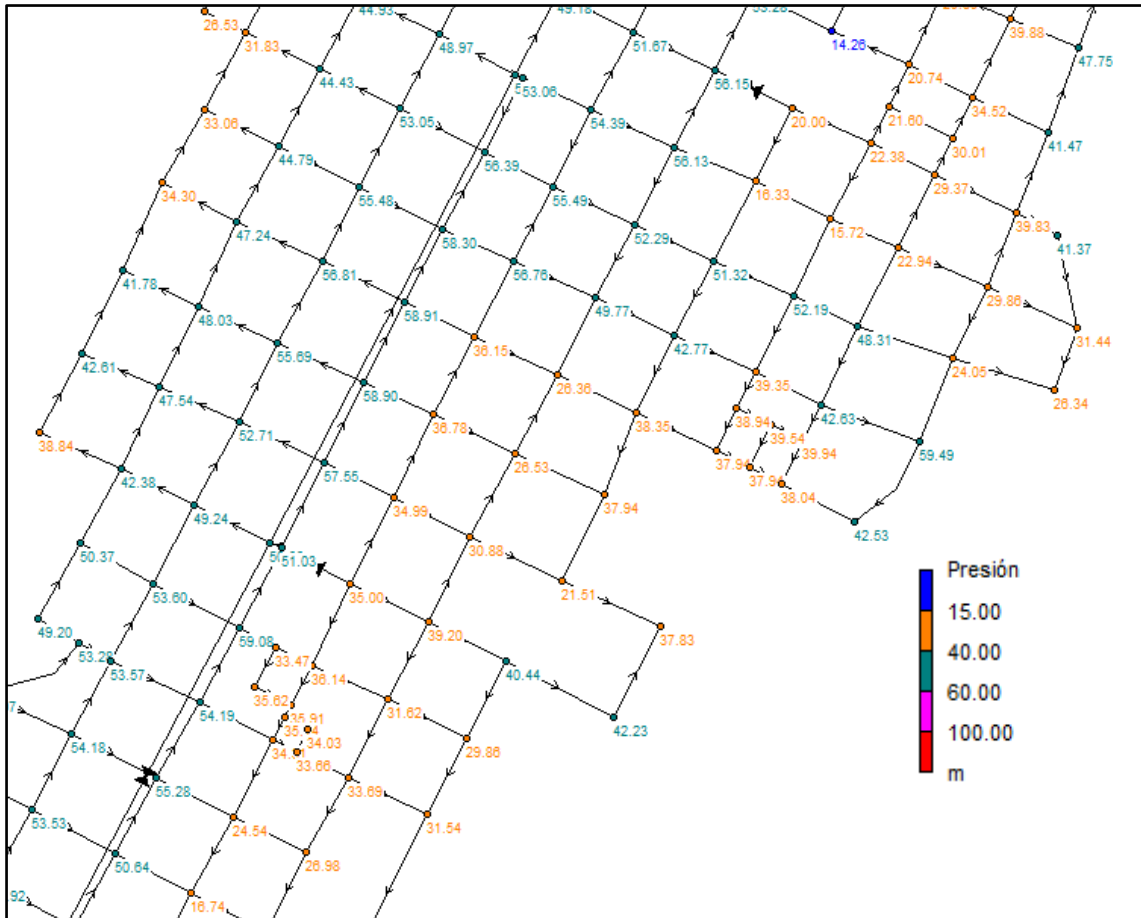
Hay otra válvula reductora de presión en el sector norte, la cual está ubicada en el cruce entre la calle diecinueve y la carrera séptima, esta válvula reduce la presión actualmente a 30 m.c.a, la figura 28 muestra que con las válvulas reductoras de presión instaladas la presión está por encima de lo permitido, por tal motivo se proponen las siguientes modificaciones:

- Regular la válvula de reducción 1 con capacidad de reducción actual de la presión a 30m.c.a, ubicada en el cruce de la calle 12 con la carrera 10, a una capacidad de reducción de presión a 20 m.c.a.
- Regular la válvula de reducción 2 con capacidad de reducción actual de la presión a 30m.c.a, ubicada en el cruce de la calle 19 con la carrera 7, a una capacidad de reducción de presión a 35 m.c.a.
- Instalar una válvula de reducción de presión de 50 m.c.a. en la tubería madre de conducción de 8 pulgadas en PVC.

– **Nuevas presiones con los cambios realizados**

Realizando los cambios nombrados en el numeral anterior, se tiene una disminución considerable de las presiones en el sector centro, caracterizándose por cumplir los parámetros de presiones mínimas y máximas exigidas, las presiones que se generan luego de la instalación de la válvula nueva y la modificación a las válvulas existentes se muestran en la figura 28.

Figura 28. Nuevas presiones con las modificaciones



Fuente: Autor

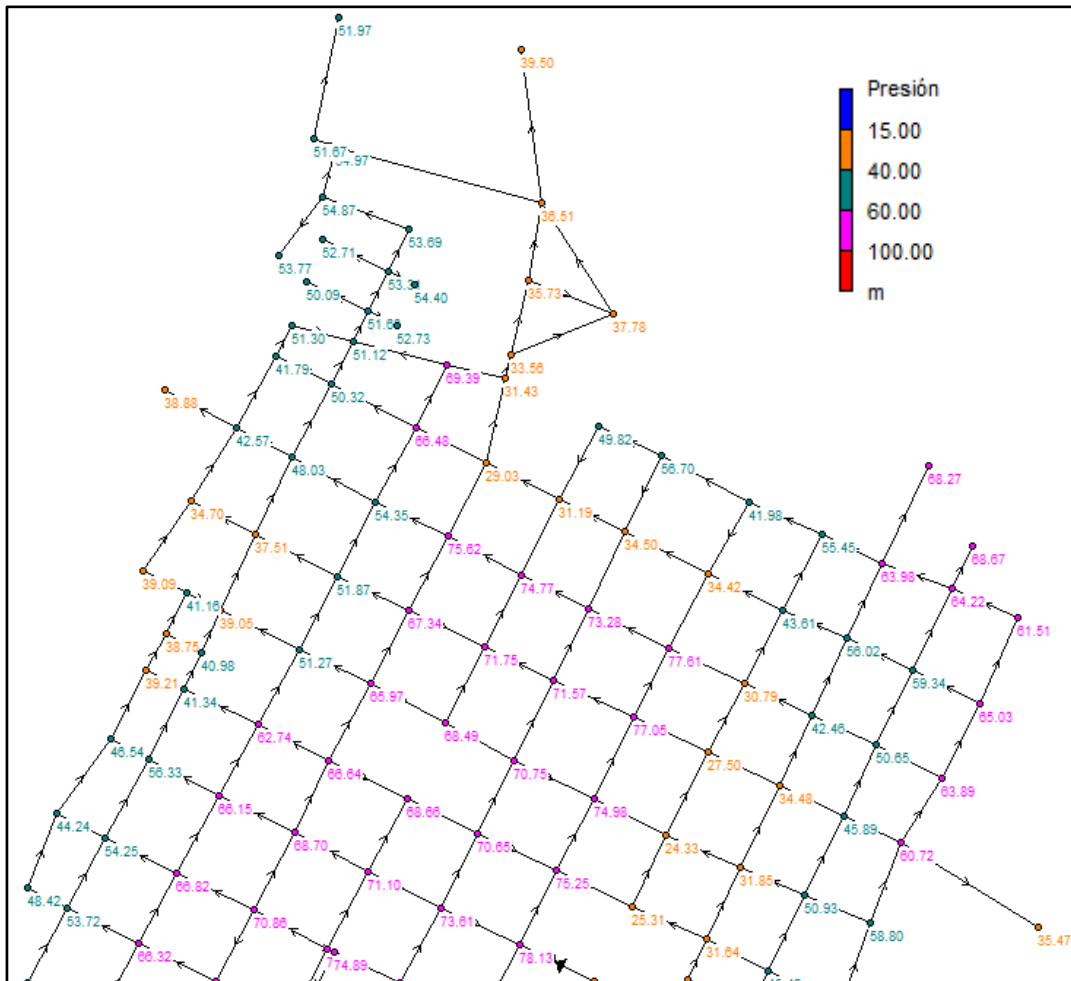
- **Sector norte**

El sector centro definido para el modelo hidráulico es el comprendido entre las calles doce a la calle veinte siete y entre las carreras tres y catorce del municipio de Zapotoca.

- **Análisis problemas presentados sector norte**

En el sector norte del municipio también se presentan presiones altas, las presiones se muestran en la figura 29.

Figura 29. Presiones en el sector norte del municipio



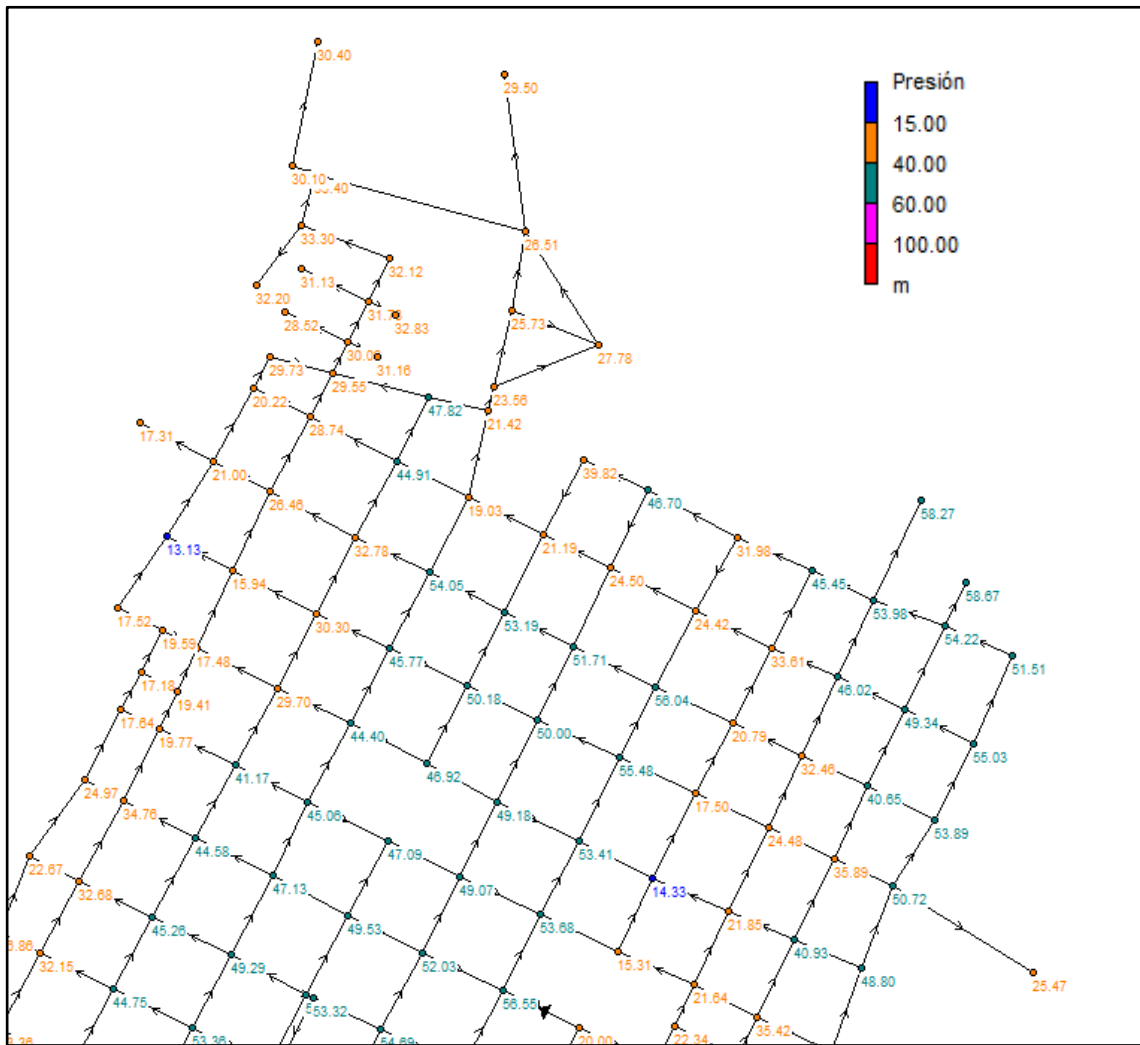
En la figura 29, se muestran los nodos con una presión mayor a los 60 m.c.a. los cuales están indicados marcados como lo indica la escala de presiones ubicada en la parte superior derecha.

Las presiones en los nodos mostrados en la imagen son las presiones en la hora más crítica, donde los consumos son elevados.

– **Nuevas presiones en el sector norte**

Realizando las regulaciones de presión aguas debajo de las VRP, se tiene una disminución considerable de las presiones en el sector norte, caracterizándose por cumplir los parámetros de presiones mínimas y máximas exigidas, las presiones que se generan luego de la instalación de la válvula nueva y la modificación a las válvulas existentes se muestran en la figura 30.

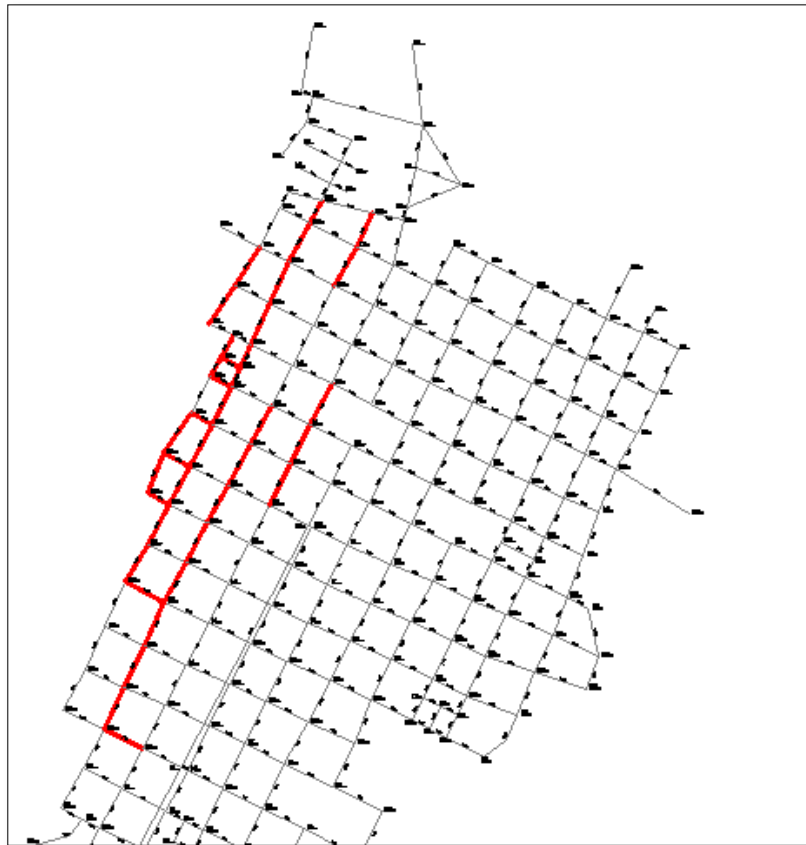
Figura 30. Nuevas presiones sector norte



Fuente: Autor

En la zona centro y norte del municipio actualmente se presentan rupturas de tubería debió a la combinación entre, altas presiones presentadas y la utilización de tubería que ya cumplió su vida útil. Las rupturas de tubería se están presentando principalmente en aquellas que están compuestas por asbesto cemento y que están instaladas en la red.

Figura 31. Tuberías instaladas en asbesto cemento



Fuente: Autor

En la figura 31 se muestran en color rojo las tuberías que están instaladas en la red y son de asbesto cemento, para tener un correcto funcionamiento en la red de distribución se recomienda el cambio de tuberías de asbesto cemento de 3" y 4" que ya cumplieron su vida útil, pues aun haciendo los pertinentes ajustes a las

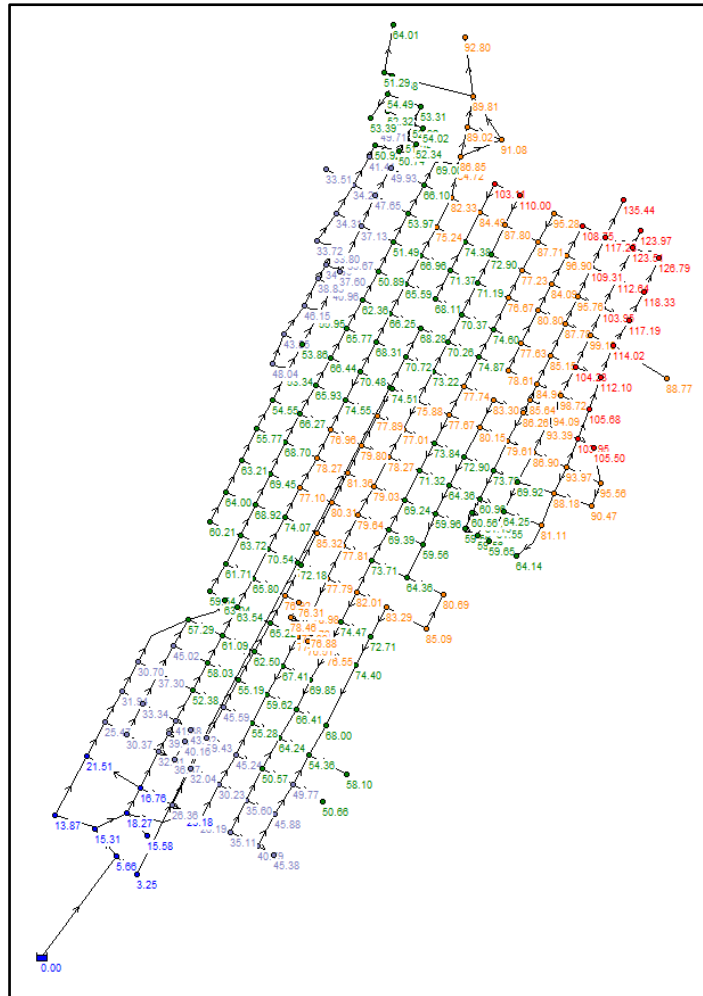
presiones anteriormente descritos, las fallas por estallido de tuberías se seguirán presentando por la antigüedad de las mismas.

4.4 COMPARACION ENTRE MODELAMIENTO HIDRAULICO RED COMPLETA Y REDES PRINCIPALES

Se realizó una modelación completa en el software EPANET 2.0 con todos los componentes que conforman la red de distribución, entre redes principales y secundarias, y se realizó otro modelo hidráulico solo con las mallas principales que conforman la red de distribución para analizar la confiabilidad de la modelación omitiendo las redes internas a las mallas.

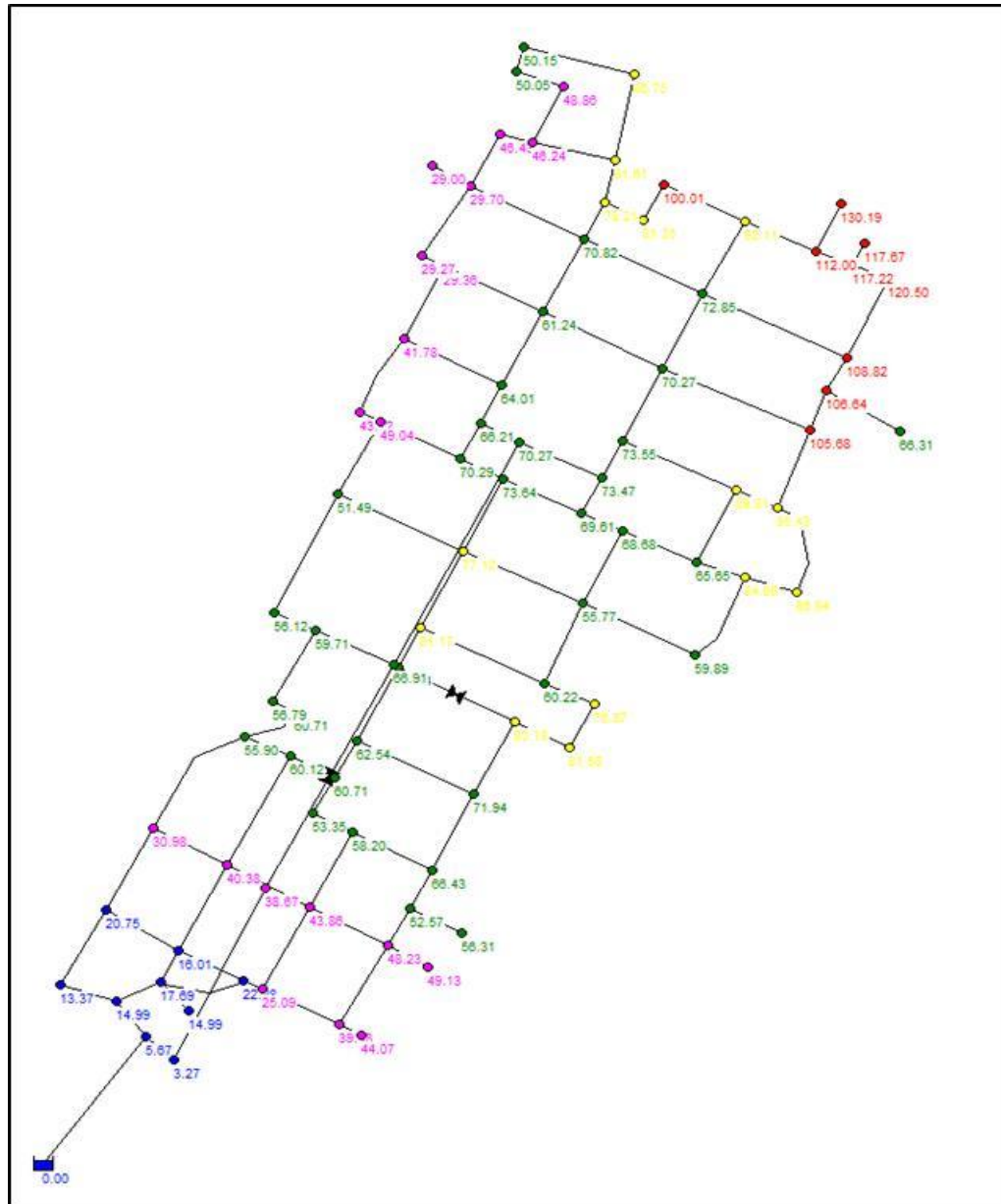
Los resultados que se obtuvieron en las dos modelaciones son los mostrados en las figuras a continuación, los datos mostrados en las imágenes son sin las válvulas reductoras de presión.

Figura 32. Presiones con todos los elementos que componen la red



Fuente: Autor

Figura 33. Presiones solo con las mallas principales



Fuente: Autor

En la figura 33, se muestran las presiones para las mallas principales, en este modelo hidráulico se omitieron las tuberías internas a las mallas principales.

5. CONCLUSIONES

Al efectuar el análisis de los componentes del acueducto del municipio de Zapatoca, se encontraron algunas falencias en las redes de distribución, como presiones bajas, presiones altas.

En el análisis realizado a la planta de tratamiento arrojó buenos resultados, ya que los elementos que la componen se encuentran en un estado óptimo, así mismo cumplen con la capacidad calculada para la demanda hídrica en poblaciones futuras, se destaca que las adecuaciones que se le realizaron a la planta de tratamiento en el año 2011 son importantes para el desarrollo y buen funcionamiento del acueducto del municipio.

Realizando el modelo hidráulico, se tiene que en la zona sur del municipio se presentan presiones bajas por la poca diferencia de altura que hay entre la planta de tratamiento y los primeros suscriptores del acueducto, por tal motivo se recomienda que se instale un tanque con una cota mayor a los que están actualmente para cumplir con los requerimientos de presiones mínimas, así mismo todos los componentes necesarios para que el tanque elevado entre en funcionamiento, como lo son, el sistema de impulsión, el sistema de succión, y la distribución al sector donde se presentan las presiones bajas que es el sector sur.

Las presiones altas presentadas en la zona centro y zona norte del municipio, se pueden disminuir instalando válvulas reductoras de presión en los puntos indicados y cambiando las que existen actualmente para ajustarse y cumplir con los requerimientos de presiones máximas, realizando estos cambios las presiones se reducen por debajo de la máxima exigida para redes de distribución de nivel de complejidad medio. Los puntos indicados para cada válvula reductora de presión son los siguientes:

- Regular la válvula de reducción 1 con capacidad de reducción actual de la presión a 30m.c.a, ubicada en el cruce de la calle 12 con la carrera 10, a una capacidad de reducción de presión a 20 m.c.a.
- Regular la válvula de reducción 2 con capacidad de reducción actual de la presión a 30m.c.a, ubicada en el cruce de la calle 19 con la carrera 7, a una capacidad de reducción de presión a 35 m.c.a.
- Instalar una válvula de reducción de presión de 50 m.c.a. en la tubería madre de conducción de 8 pulgadas en PVC.

Al hacer un modelamiento hidráulico solo con mallas principales y omitiendo las redes internas a las mallas, tiene un 98% de confiabilidad en los resultados arrojados, si lo comparamos con el mismo modelo hidráulico que tenga todos sus componentes internos a mallas principales.

Para tener un correcto funcionamiento en la red de distribución se recomienda el cambio de tuberías de asbesto cemento de 3" y 4" que ya cumplieron su vida útil, pues aun haciendo los pertinentes ajustes a las presiones en la zona centro y zona norte, las tuberías seguirán presentando fallas por la antigüedad de las mismas.

BIBLIOGRAFIA

ARAMBURO B., Luis E; GAVILAN, Germán. Diseño de Estructuras Hidráulicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1987.

AROCHA R, Simón. Abastecimientos de Agua, Teoría y Diseño, Caracas, 1980.

BELTRÁN, Alexander; GARCÍA, Iván. Diagnóstico y optimización de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo del casco urbano del municipio de Puerto Parra Santander. Bucaramanga, 2005. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander.

CORCHO ROMERO, Fredy Hernán; DUQUE SERNA, Jorge Ignacio. Acueductos Teoría y Diseño, Universidad de Medellín, División de Investigaciones y Asesorías, Medellín, 1997.

FAIR, Geyer & Okun. Water Supply and Waste-Water Disposal. , 2a edición, 1956.

HAMMER J, Mark. Water and Waste-Water Technology. 1980.

LINSLAY, Ray. Ingeniería de los Recursos Hidráulicos, Cecsca, México, 1967.

LOPEZ H., José Gilberto. Acueductos, Universidad Libre, Pereira, 2011.

MANRIQUE, Cristian; BARRERA, Camilo. Estudio y diagnóstico del sistema de acueducto del municipio de Oiba. Bucaramanga, 2014, 70h. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander.

Manual de usuario de EPANET versión 2.0 traducido por el grupo multidisciplinar de modelación de fluidos de la universidad Politécnica de Valencia.

MATERÓN MUÑOZ, Hernán, Obras Hidráulicas Rurales, 1997.

ORAMAS O., G. Panorama de Obras Hidráulicas en Colombia, 1995.

República de Colombia, Ministerio de desarrollo económico. Documentación técnico normativa del sector de agua potable y saneamiento básico RAS. Título A, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable Y Saneamiento Básico -Revisión 1.

República de Colombia, Ministerio de desarrollo económico. Documentación técnico normativa del sector de agua potable y saneamiento básico RAS. Título B, Sistemas de acueducto.