

**Evaluación y optimización de la línea de aducción del acueducto del municipio de Belén
– Boyacá**

Gustavo Alejandro Niño Castro

**Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Programa de Ingeniería Sanitaria
Tunja
2023**

**Evaluación y optimización de la línea de aducción del acueducto del municipio de Belén
– Boyacá**

Gustavo Alejandro Niño Castro

**Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero Sanitario**

Director (a):

David Felipe Bermúdez

Ingeniero Sanitario - Ambiental

Codirector (a):

Catherin Dayani Caro

Magister en Ingeniería Ambiental

Universidad de Boyacá

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Programa de Ingeniería Sanitaria

Tunja

2023

Nota de aceptación:

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 15 de noviembre de 2023

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.
(Lineamientos constitucionales, legales e institucionales que rigen la propiedad intelectual).

El presente trabajo de grado lo dedico primeramente a Dios por brindarme la fortaleza intelectual, espiritual y física para su respectivo desarrollo dando continuidad a este proceso académico, mis padres y hermanos como eje fundamental en mi vida y quienes me brindaron todo el apoyo durante este proceso a pesar de las distintas adversidades que en el transcurrir se presentaron, a la planta de docentes del programa de ingeniería sanitaria quienes impulsaron el proceso para formarme como un profesional integro, aquella persona que ya no está pero que fue el pilar fundamental en mi vida y por quien deseo culminar con éxito mi carrera profesional. ¡Gracias a cada uno de ustedes...!

Agradecimientos

En primer lugar agradezco por el proceso de formación académica a la universidad de Boyacá especialmente al área de ingeniería sanitaria excelentes docentes, de igual forma a mi director de tesis de grado el Ingeniero sanitario y ambiental David Felipe Bermúdez y codirector la Ingeniera sanitaria y magister ambiental Catherin Dayani Caro Avendaño y la directora del programa de ingeniería sanitaria Yadi Johaira Ramos Parra por su aporte técnico profesional para el desarrollo de la investigación, asimismo se le agradece a la empresa de servicios públicos ServiBelen por su aporte informativo.

Contenido

| | Pág. |
|---|------|
| Introducción..... | 19 |
| 1. Diagnostico hidráulico la línea de aducción para las condiciones actuales y futuras de demanda del acueducto del municipio de Belén – Boyacá | 21 |
| 1.1. Aspectos generales y compilación de la información acerca del área objeto de estudio | 21 |
| 1.2 Localización | 21 |
| 1.3 Límites del municipio | 22 |
| 1.4 Aspectos socioeconómicos | 23 |
| 1.5 Aspectos Hidrológicos | 24 |
| 1.6 Fuentes Abastecedoras Casco Urbano | 25 |
| 1.7 Clima..... | 26 |
| 1.8 Precipitación | 26 |
| 1.9 Temperatura | 27 |
| 1.10 Recopilación de información primaria..... | 27 |
| 1.11 Servicios públicos | 28 |
| 1.12 Estado actual captación..... | 28 |
| 1.13 Estado actual línea de aducción | 31 |
| 1.14 Diagnóstico y evaluación general del sistema en condiciones actuales..... | 31 |
| 2. Modelar condiciones actuales y futuras para la optimización de la línea de aducción, según reglamentación técnica | 35 |
| 2.1 Proyección poblacional por suscriptores..... | 35 |
| 2.2. Determinación de caudales | 43 |
| 2.5. Propuesta como alternativa de optimización de la red de aducción según el material que compone el tramo del sistema | 51 |
| 2.6 Modelación hidráulica red de aducción del acueducto de Belén – Boyacá | 55 |
| Conclusiones..... | 75 |
| Recomendaciones | 76 |
| Referencias | 77 |

Anexos 78

Lista de Tablas

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Estación pluviografica para la determinación de tormentas..... | 27 |
| Tabla 2. Tabla resumen de variables de análisis red principal de aducción acueducto municipio Belén – Boyacá..... | 34 |
| Tabla 3. Datos históricos de suscriptores en el acueducto de Belén – Boyacá | 37 |
| Tabla 4 Cálculo de la proyección poblacional | 38 |
| Tabla 5. Proyección poblacional según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) | 40 |
| Tabla 6 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona objeto de estudio..... | 43 |
| Tabla 7. Cálculos para la Determinación de la dotación neta máxima por el método de suscriptores. | 44 |
| Tabla 8. Datos generales del área como zona objeto de estudio | 47 |
| Tabla 9.Cálculo de consumo uso comercial | 47 |
| Tabla 10. Cálculo de consumo uso industrial..... | 47 |
| Tabla 11. Cálculo de consumo uso escolar | 48 |
| Tabla 12. Cálculo de consumo uso institucional | 48 |
| Tabla 13. Cálculo de consumo no domestico total..... | 48 |
| Tabla 14. Datos para el cálculo de proyección de caudal domestico | 49 |
| Tabla 15. Proyección de caudales a 25 años | 49 |
| Tabla 16. La presente tabla hace referencia a las alternativas planteadas para la selección de material como propuesta de optimización en la aducción..... | 51 |
| Tabla 17.Criterios de alternativas de evaluación de acuerdo a las alternativas planteadas, matriz de decisión..... | 51 |
| Tabla 18. Tabla representativa de los valores de ponderación por parte del evaluador para la selección de la alternativa pertinente de acuerdo al material como propuesta de optimización en la línea de aducción..... | 53 |
| Tabla 19. Tabla representativa de la evaluación de la alternativa 1 (PVC)..... | 53 |
| Tabla 20. Tabla representativa de la evaluación de la alternativa 2 (PEAD)..... | 54 |

Tabla 21. Tabla resumen red de nudos de la red de aducción donde se establecen los valores de altura y presión según los datos extraídos por el software de modelación. 62

Tabla 22. Tabla resumen red de líneas de la red de aducción donde se establecen los valores de caudal, velocidad, longitud, diámetro según los datos extraídos por el software de modelación..... 67

Lista de Figuras

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Localización general del municipio | 22 |
| Figura 2 Límites del municipio de Belén – Boyacá. | 23 |
| Figura 3 Establecimientos según actividad | 24 |
| Figura 4 Red hidrográfica municipio de Belén – Boyacá | 25 |
| Figura 5. Detalle I bocatoma de fondo | 30 |
| Figura 6. Grafica de proyección población | 42 |
| Figura 7. Curva de caudales proyectados | 50 |
| Figura 8 Verificación de la simulación del modelo..... | 56 |
| Figura 9. Trasado de la tubería desde la captación – desarenador y llegada a la PTAP | 57 |
| Figura 10. Determinación de cotas en los puntos específicos del sistema de aducción | 57 |
| Figura 11. Alineación del trazado de la red de aducción..... | 58 |
| Figura 12. Análisis de la demanda en el sistema de aducción..... | 59 |
| Figura 13. Análisis de presión en los nodos del sistema de aducción | 60 |
| Figura 14. Análisis de velocidad en las líneas de la red de aducción..... | 61 |
| Figura 15. Diámetro de la tubería como propuesta de optimización de la red de aducción..... | 73 |
| Figura 16. Demanda base necesaria para el funcionamiento de la red de aducción y demás estructuras del sistema de acueducto | 73 |

Lista de Anexos

| | Pág. |
|---|------|
| Anexo A. Anteproyecto | 79 |
| Anexo B. Certificado datos de consumo (Adjunto en CD ROM) | 101 |

Glosario

Bocatoma: estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de tratamiento.

Captación: conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.

Conducto: estructura hidráulica destinada al transporte de agua.

Desarenador: estructura destinada a la retención de las arenas y los sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica.

Dotación: cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante día o dimensiones equivalentes, las estructuras, los terrenos o las excavaciones.

Demanda: corresponde a la cantidad o volumen de agua usado por los sectores económicos y la población.

Línea de aducción: componente del acueducto, al conducto que transporta el agua de la bocatoma, desde la cámara de derivación, hasta el desarenador. Puede ser un canal abierto o un canal cerrado (tubería).

Optimización: proceso de diseño y/o mejoramiento para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema de acueducto, aprovechando todos los recursos disponibles.

Sedimentación: proceso por el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.

Topografía: técnica que consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relieve de un entorno.

Resumen

Evaluación y optimización de la línea de aducción del acueducto del municipio de Belén – Boyacá:

Actualmente gran parte de las regiones que conforman el territorio colombiano específicamente en el departamento de Boyacá – municipio de Belén, se cuenta con sistemas de acueducto que permiten el suministro de agua potable a sus habitantes bajo principios establecidos en la normatividad técnica. Debido al aumento poblacional, demandas de consumo por parte de los usuarios y cumplimiento del periodo de diseño de cada uno de los componentes del sistema entre otros factores, se presentan falencias en el sistema que no permiten satisfacer las necesidades de cada uno de los suscriptores que hacen parte de la cobertura del sistema para el desarrollo de sus necesidades básicas.

En este sentido, en el acueducto del municipio de Belén – Boyacá se realizó un diagnóstico y la evaluación bajo un modelo hidráulico del componente de la línea de aducción donde se plantea optimizar esta parte del sistema de acueducto para mejorar su respectiva fase de pretratamiento del recurso hídrico y de esta brindar continuidad a los respectivos procesos que conforman el sistema de acueducto.

En consecuencia, este documento tuvo como objetivo realizar una propuesta de optimización de la línea de aducción bajo la evaluación de un modelo hidráulico para el acueducto del municipio de Belén – Boyacá. En síntesis, desde la innovación científica, social y tecnológica para el desarrollo sostenible, se implementó la investigación bajo un enfoque metodológico descriptivo donde se hace la respectiva representación de la información recopilada de manera cualitativa y cuantitativa con herramientas que permiten que permiten presentar detalladamente la información necesaria para determinar con mayor efectividad la propuesta de optimización.

A manera de resultado de esta investigación se logra establecer una propuesta de optimización bajo la modelación hidráulica que permite mejorar este componente del sistema y brindar una mayor eficiencia en la continuidad del proceso.

Palabras claves: Optimización, modelación, acueducto, eficiencia, aducción, componente, sistema, agua, diagnostico, evaluación.

Abstract

Evaluation and optimization of the adduction line of the aqueduct of the municipality of Belén – Boyacá:

Currently, a large part of the regions that make up the Colombian territory, specifically in the department of Boyacá - municipality of Belén, have aqueduct systems that allow the supply of drinking water to its inhabitants under principles established in technical regulations. Due to the population increase, consumption demands by users and compliance with the design period of each of the components of the system among other factors, there are flaws in the system that do not allow the needs of each of the subscribers to be satisfied.

They are part of the system's coverage for the development of their basic needs. In this sense, in the aqueduct of the municipality of Belén - Boyacá, a diagnosis and evaluation were carried out under a hydraulic model of the component of the adduction line where it is proposed to optimize this part of the aqueduct system to improve its respective pretreatment phase of the resource. water and from this provide continuity to the respective processes that make up the aqueduct system.

Consequently, this document aimed to make a proposal to optimize the adduction line under the evaluation of a hydraulic model for the aqueduct of the municipality of Belén – Boyacá. In summary, from scientific, social and technological innovation for sustainable development, the research was implemented under a descriptive methodological approach where the respective representation of the information collected in a qualitative and quantitative manner is made with tools that allow the information to be presented in detail. necessary to determine the optimization proposal more effectively.

As a result of this research, an optimization proposal was established under hydraulic modeling that allows improving this component of the system and providing greater efficiency in the continuity of the process.

Keywords: Optimization, modeling, aqueduct, efficiency, adduction, component, system, water, diagnosis, evaluation.

Introducción

Las líneas de aducción del acueducto son los conductos destinados a transportar por gravedad o por bombeo las aguas crudas desde los sitios de captación hasta las plantas de tratamiento, prestando excepcionalmente servicio de suministro de agua cruda a lo largo de su longitud (RAS,2010; Cualla, 2003). En un primer contexto la gestión adecuada de los recursos hídricos se ha convertido en un tema de vital importancia en las agendas que se desarrollan en su ámbito global como motor de desarrollo económico, comunitario, social entre otros aspectos, estos recursos permanecen bajo presión que está en constante crecimiento debido al estrés hídrico, el cambio climático a nivel mundial, la dinámica del constante crecimiento poblacional y la sustancial brecha económica y operativa de los servicios públicos. Según la Organización mundial de la salud (OMS), dos mil millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera adecuada (Roldan, 2016); por tal motivo, en los objetivos de desarrollo sostenible, la organización de las naciones unidas (ONU) reitera constantemente la necesidad de lograr el acceso universal y equitativo al agua potable segura y asequible para cada uno de los habitantes pertenecientes a su territorio, como se indica en el objetivo seis agua limpia y saneamiento. (De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos), este objetivo debe centrarse en las comunidades más pobres y vulnerables (ONU, 2015). Es de vital importancia conocer los componentes del sistema de acueducto independientemente de su origen para responder a la necesidad del respectivo pretratamiento que se le realiza al recurso hídrico de esta forma brindar continuidad al tratamiento bajo parámetros establecidos por la normatividad nacional y de esta manera hacer el recurso hídrico apto para el consumo humano. Un sistema de acueducto implica los siguientes componentes: (1) fuentes de abastecimiento, (2) bocatoma, (3) aducción, (4) desarenador, (5) conducción, (6) tanques, (7) redes de distribución, en mención de la conformidad de un acueducto se hace notable que existen limitaciones técnicas en cada uno de sus componentes. La predilección por los sistemas de tratamiento convencionales son una opción para resolver estas problemáticas, sin embargo, el abandono de los sistemas debido a la falta de apoyo por parte de la administración municipal y entes territoriales agravan este problema (Rojas, 2002). En un contexto puntual al tema objeto de investigación es determinante mencionar que el recurso hídrico que abastece al acueducto del municipio de Belén – Boyacá antes de ingresar a

su pretratamiento está expuesto a problemas de contaminación principalmente por actividades agropecuarias, por lo tanto los componentes del sistema de acueducto deben tener un alto grado de eficiencia para poder remover determinadas partículas y brindar continuidad al proceso de tratamiento para garantizar el consumo de agua a sus habitantes. En mención de lo anteriormente descrito, el presente proyecto investigativo tiene como fin realizar un diagnóstico y la evaluación bajo un modelo hidráulico para establecer una propuesta de optimización en el componente de la línea de aducción de acuerdo a la literatura y a lo establecido en la resolución 0330 de 2017 por la cual se deroga el RAS 2000 (reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico). Para lograr lo propuesto, se implementa un enfoque metodológico descriptivo representando la información recopilada de manera cualitativa como cuantitativa con el objeto de dar cumplimiento con los objetivos específicos establecidos en este documento. Finalmente, el proyecto evidencia el funcionamiento del componente de la línea de aducción, identificando sus características hidráulicas óptimas para transportar el caudal requerido por el sistema. El tramo evaluado comprende desde la bocatoma hasta el desarenador y continuamente la llegada de tubería hasta la llegada a la PTAP.

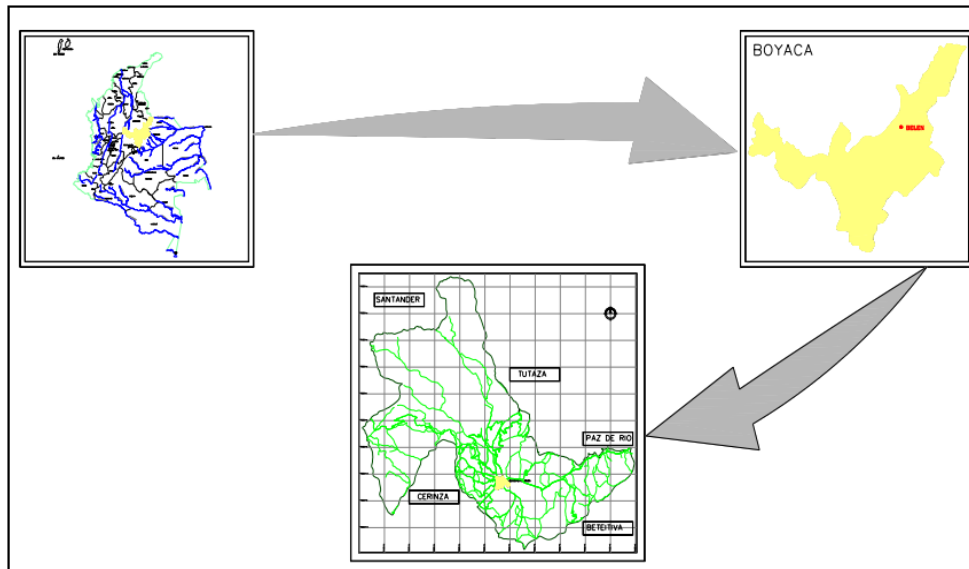
1. Diagnostico hidráulico la línea de aducción para las condiciones actuales y futuras de demanda del acueducto del municipio de Belén – Boyacá

1.1. Aspectos generales y compilación de la información acerca del área objeto de estudio

La dirección general de agua potable y saneamiento básico del ministerio de desarrollo económico entrega al país esta primera actualización de los títulos, cada uno es un manual de prácticas de buena ingeniería que recoge el interés general del sector por lograr un acercamiento a las condiciones reales del país, estableciendo los criterios y recomendaciones para el buen funcionamiento de los sistemas de agua potable. El título B – Sistemas de acueductos fija los criterios básicos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto garantizando su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

1.2 Localización

El municipio de Belén se encuentra ubicado en la cordillera oriental al norte del departamento de Boyacá, dentro del rectángulo formado por las coordenadas (con origen Bogotá, Gauss central) X: 1'115.243 – 1'142.300 Y: 1'147.993 – 1'173.478. (Ver figura 1).

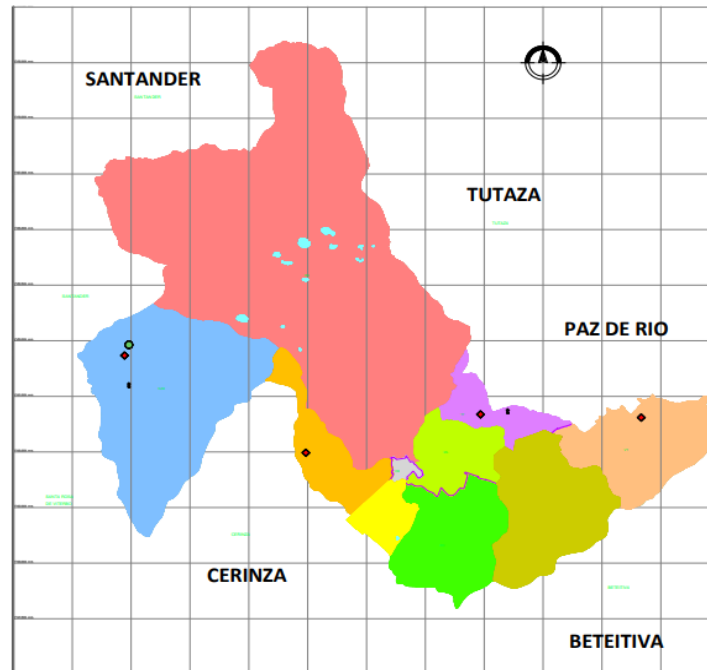
Figura 1*Localización general del municipio*

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial 2002.

Territorialmente el departamento de Boyacá se encuentra agrupado por (12) provincias, Belén se ubica dentro de la provincia de tundama. Posee altitudes que van desde los 2.600 hasta los 4.000 metros sobre el nivel del mar, su altura barométrica se considera en 2.600 metros sobre el nivel del mar en la parte urbana. (Esquema de ordenamiento territorial, 2002, p. 12)

1.3 Límites del municipio

Conforme a las características dadas por la vegetación y los recursos naturales existentes se establece un área aproximada de 284.6 Km². la cual se delimita transitoriamente de acuerdo a lo siguiente en sentido norte- sur, limitando por el Norte y Nor-occidente con el Departamento de Santander (Municipios de Coromoro y El Encino), al Nor-orienté con Tutazá, al orienté con Paz del Río, al Sur con Beteitiva y al Suroccidente con Cerinza (ver figura 2).

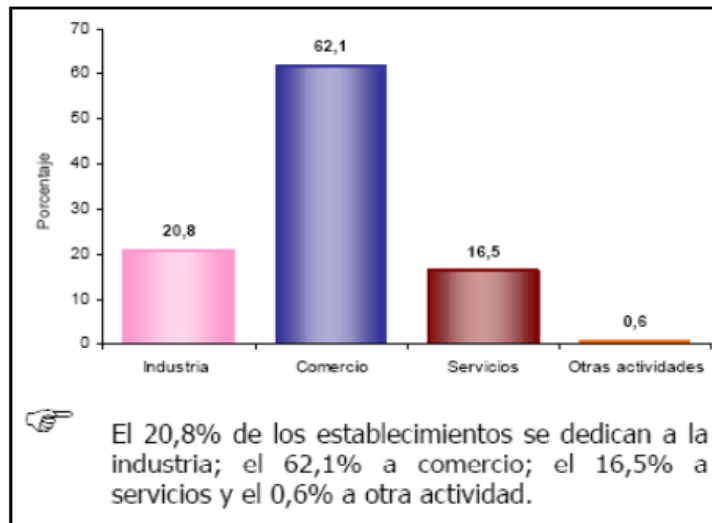
Figura 2*Límites del municipio de Belén – Boyacá.*

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial 2002.

Los límites municipales, fueron creados por las normas legales reglamentarias, donde se definen las áreas oficiales, según información suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, de los municipios que están definidos mediante actas de deslinde. (Esquema de ordenamiento territorial, 2002, p. 13).

1.4 Aspectos socioeconómicos

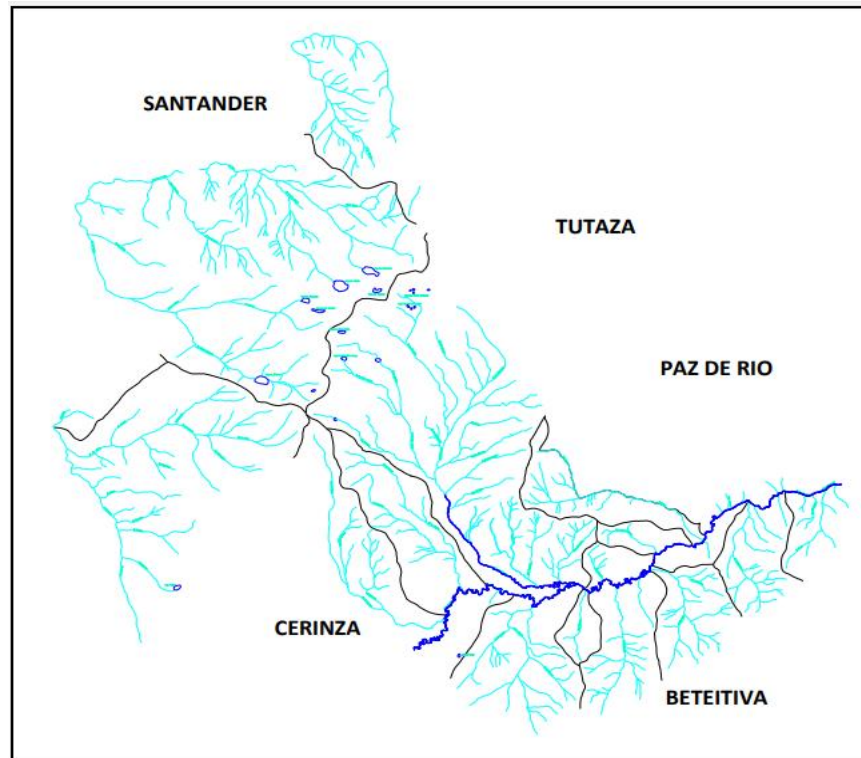
Las actividades económicas del municipio se clasifican de acuerdo a los sectores y sistemas de producción, que aparecen a continuación, información recopilada del Boletín – Censo general 2005 (ver figura 3).

Figura 3*Establecimientos según actividad*

Fuente: Boletín Censo 2005.

1.5 Aspectos Hidrológicos

Se describe la Red Hidrográfica de las principales cuencas presentes en el municipio de Belén, así como algunos caudales de referencia tomados sobre los cauces de las más importantes corrientes de agua tipos ríos y quebradas importantes de acueductos. Las aguas que drenan el Municipio de Belén vierten en la Cuenca del Río Magdalena. La divisoria de aguas que conforma la Serranía de los Colorados separa igualmente las cuencas de los Ríos Chicamocha y Suárez, la primera drena el sector N-NW del municipio (a través del Río Guacha) y la segunda, el sector S-SE, por medio del Río Minas; estos dos ríos constituyen las dos subcuencas presentes en el municipio, que a su vez se dividen en 19 microcuencas (Esquema de ordenamiento territorial, 2002, p. 14). (ver figura 4).

Figura 4*Red hidrográfica municipio de Belén – Boyacá*

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial 2002.

1.6 Fuentes Abastecedoras Casco Urbano

Belén posee dos fuentes de abastecimiento de agua potable para el casco urbano, una proviene de las quebradas cuchilla larga y hoyo de porras conocida también como la concordia quienes confluyen en el sitio denominado puente de niñas donde se ubica la captación 1 que desembocan finalmente en el río Minas que atraviesa el municipio, drena la zona norte del municipio con un área de influencia de 55,879 Km². La segunda fuente abastecedora corresponde al Río Salguera el cual es una corriente de segundo orden, ubicado a la margen izquierda sobre la vía que conduce a Susacón, cuyo caudal es de 2.34 m³/seg medido en época de lluvia, en la cual desembocan corrientes permanentes de primer orden (Esquema de ordenamiento territorial, 2002, p. 15).

1.7 Clima

Considerando que el rasgo del municipio de Belén lo conforma una hoya fisiográfica, cuya vertiente drena hacia la llanura aluvial del río Minas y Salguera, las características climáticas se describen así:

- Del páramo al Noroccidente, siguiendo la dorsal montañosa del ecosistema, se tiene la fracción final del frente cálido proveniente del valle del Magdalena que asciende hasta estos sectores a través del cañón del río Fonce, teniéndose en este sector un régimen de lluvias típico de bosque montano húmedo a subhúmedo.

- Del Páramo al Nor-orienté, la situación climática cambia a condiciones bosque montano subhúmedo es decir el dominio de las demás veredas del municipio. Considerando que no existen estaciones climáticas en el dominio de Belén se tiene que recurrir a realizar los análisis con base en información cercana. La más compatible con el clima de Belén es la estación Tutazá, y un poco más lejana se encuentran las estaciones del Encino, Santa Rosa y Duitama (Esquema de ordenamiento territorial, 2002, p. 16).

1.8 Precipitación

Para efectos del presente estudio se seleccionó la estación pluviográfica Surbatá - Bonza, considerada la más completa y cercana a la zona del proyecto, teniendo en cuenta que en el municipio no se encuentra ninguna estación pluviográfica que permita el análisis de las tormentas. Esta estación es operada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, localizada en el municipio de Duitama, aproximadamente a una elevación de 2485 msnm., y cuenta con registros gráficos de lluvias desde el año 1944.

En el siguiente cuadro, se relacionan las características de la estación, tales como localización elevación, código, municipio al que pertenece. (Esquema de ordenamiento territorial, 2002, p. 17). (ver tabla 1)

Tabla 1*Estación pluviográfica para la determinación de tormentas.*

| Código | Tipo | Nombre Estación | Cuenca | Departamento | Municipio | Coordenadas | | Elevación | Fecha Instalación |
|---------|------|-----------------|--------|--------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------------|
| | | | | | | Latitud | Longitud | | |
| 2403512 | AM | Surbata-Bonza | Surba | Boyacá | Duitama | 5° 49' N | 73° 04' W | 2485 | 15/03/1994 |

Fuente: Estación Pluviográfica Surbatá - Bonza (1944-2019).

1.9 Temperatura

Las condiciones climáticas del municipio de Belén son frías, con temperaturas entre 6°C y 13°C, lo cual se deduce del comportamiento de la región en ausencia de estaciones climáticas apropiadas en el área de influencia del municipio.

El piso térmico frío comprendido entre los 2.600 y 3.000 m.s.n.m. registra en promedio 13°C, los cuales son más típicos de la zona plana y su variación hacia abajo en grados, se presenta a medida que se asciende por la ladera es decir la variación isoterma se registra en toda la extensión territorial diferente a la zona de paramos. En los días de tiempo seco es posible ascender a los 14°C mientras que en la noche se desciende hasta 7°C. Una de las características climáticas de Belén es la de registrar durante las épocas secas de diciembre y Julio fuertes heladas, las cuales afectan con mayor intensidad la zona plana del valle de los ríos Minas y Salgueras. (Esquema de ordenamiento territorial, 2002, p. 19).

1.10 Recopilación de información primaria

Para la realización del estudio de topografía se tiene en cuenta como antecedente la información existente en el Municipio para efectos de la ejecución objetiva del mismo. La cual consiste en:

- Esquema de ordenamiento territorial municipio de Belén – Boyacá. Hidrogeología y Geotecnia Ltda. 2002
- Levantamiento topográfico de la quebrada guirre. 2008
- Diseño plan maestro de acueducto y alcantarillado del municipio de Belén – Boyacá.

- Unidad de servicios públicos SERVIBELEN.

1.11 Servicios públicos

La Unidad de Servicios Públicos del municipio de Belén, denominada SERVIBELEN es la Entidad encargada de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo del Municipio. Esta unidad está adscrita a la Alcaldía Municipal y a la asociación de usuarios del municipio por lo cual las actividades administrativas, contables de tesorería y comerciales dependen en conformidad de ambas partes. Esta unidad de Servicios públicos cuenta con un patrimonio proveniente de:

- Donaciones y aportes.
- Transferencias del Municipio con destino a los servicios.
- Activos que componen el sistema de acueducto, alcantarillado y aseo.
- Ingresos provenientes de la prestación de servicios.
- Ingresos recaudados por el pago de la tarifa de conexión, valor de la acometida y medidor.
- Los recursos del crédito obtenidos por la ampliación y mejoramiento de la prestación de los servicios.
- Subsidios que se le otorguen conforme a la constitución y la ley.

1.12 Estado actual captación

la captación denominada puente de niñas es una bocatoma de fondo construida en concreto, cuenta con una rejilla metálica longitudinal, de 4m de largo * 0.4m de ancho con barras de 1/2'' separadas entre sí 0.06m y direccionadas en el sentido de flujo de la corriente. El diámetro de la tubería de la rejilla a la caja de válvulas corresponde a 12'', controlan el caudal con dos válvulas de 8'' cada una, sale un diámetro de 8'' hasta el desarenador y posteriormente una tubería en 6'' hasta la entrada a la PTAP con una longitud total de 178.8 m. El caudal captado es conducido a una caja de concreto de 2.5m de largo * 2.20m de ancho y una altura de 2.20m. no cuenta con orificio de control de caudal, por lo que el caudal captado es superior al caudal concesionado por Corpoboyacá.

Longitud: 4.20m

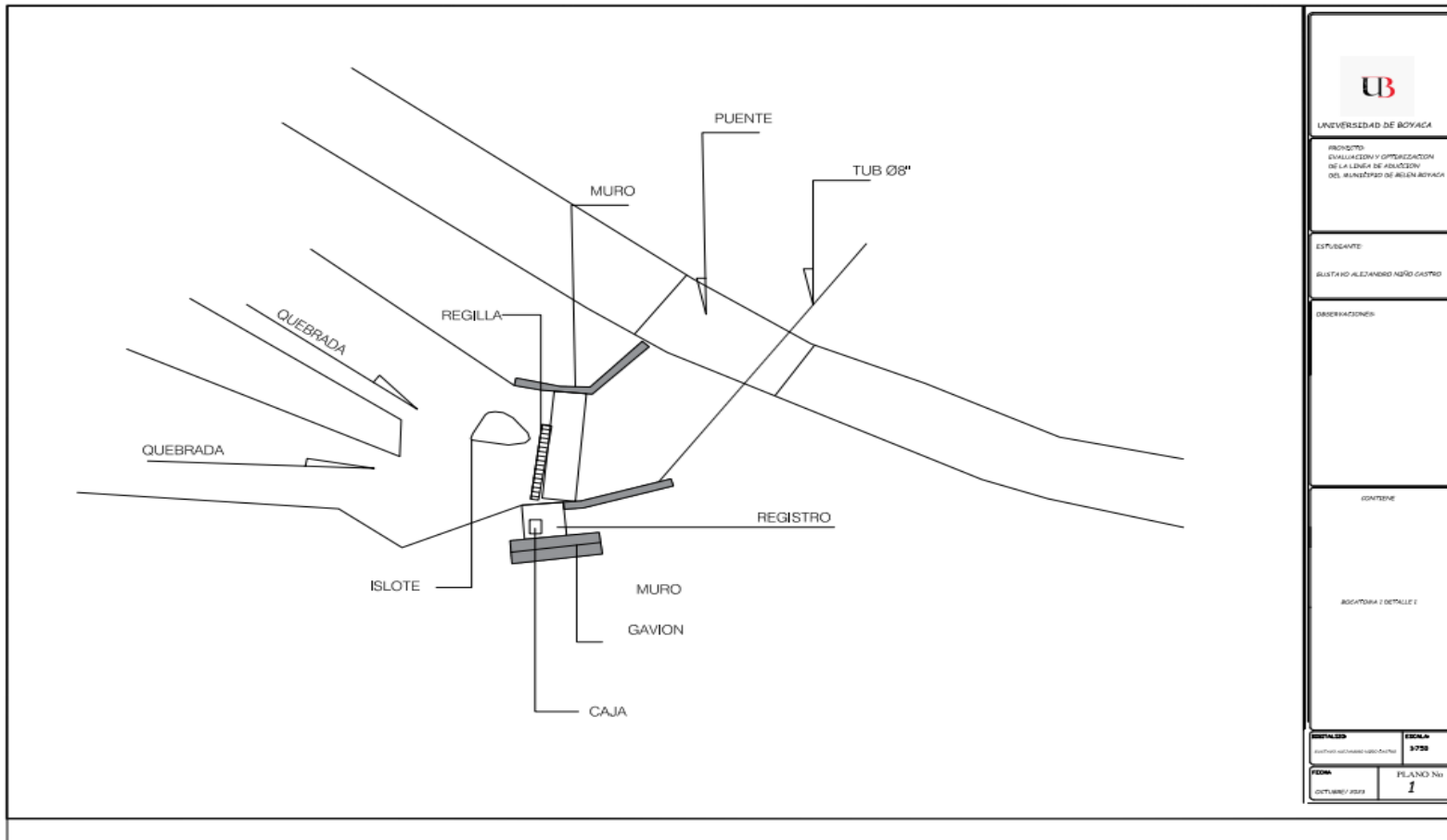
Ancho: 0.45m

La bocatoma se encuentra en buenas condiciones y se le hace un mantenimiento el primer día de cada mes por parte de la empresa de servicios públicos SERVIBELÉN.

La Corporación Autónoma de Boyacá CORPOBOYACA otorgo al municipio de Belén, concesión de aguas para el abastecimiento del sistema para un caudal de 14.54 litros por segundo (ver figura 5).

Figura 5

Detalle I bocatoma de fondo



Fuente: Autor

1.13 Estado actual línea de aducción

La línea de aducción está compuesta desde la captación denominada puente de niñas hasta la llegada a la PTAP, la aducción se efectúa a través de tubería de PVC de 8'' y 6'' en una distancia de 178.8 metros.

La línea de aducción visualmente no presenta deficiencia en su proceso, pero de acuerdo a la topografía del terreno y la actividad agrícola que se desarrolla en esta área se puede presentar alteraciones en el material que la compone, por otra parte de acuerdo a la normatividad vigente está por cumplir su periodo de diseño por tanto se realiza la verificación de varios factores que intervienen en el funcionamiento adecuado de este proceso; Se analizan variables como factores relacionados con la velocidad del flujo, diámetro tubería, pérdidas en el curso del flujo, pendiente que tiene el sistema y finalmente el esfuerzo cortante. De esta manera se da continuidad al siguiente capítulo en donde se verifica las variables de análisis anteriormente mencionadas bajo unos datos de entrada y se hace la respectiva comparación con la normatividad vigente.

1.14 Diagnóstico y evaluación general del sistema en condiciones actuales

Para analizar el sistema se parte de los siguientes datos, que son extraídos de fuente de información por parte de la empresa de servicios públicos SERVIBELEN

1.14. 1. Datos específicos para el análisis de variables

Caudal (Q) = 14.54 l/s = 0,01451 m³/s

Longitud (L) = 178.8 m

Cota salida Bocatoma = 2820.00 m. s. n. m

Cota llegada desarenador = 2815.00 m. s. n. m

Diámetro tubería (D) = 0,1524 m = 6''

- Calculo para determinar la pendiente de aducción, de acuerdo a la siguiente operación

$$S = \frac{\text{Cota inicial} - \text{Cota final}}{L}$$

$$S = \frac{2820.0 \text{ m} - 2815.0 \text{ m}}{178.8 \text{ m}} * 100$$

$$S = 0.027 \frac{\text{m}}{\text{m}} = 2.7$$

De acuerdo a lo establecido en el RAS título B.4.4.13 con respecto a la pendiente, se deriva que con el objeto de sacar el aire que se acumula en los puntos altos de la línea de aducción, es necesario la implementación de ventosas ubicadas en las misma, con el fin de facilitar el arrastre de los sedimentos hacia los puntos bajos. la pendiente mínima recomendada para el caso que el aire circule en el mismo sentido del flujo del agua debe ser mínimo de 0,04%, lo cual cumple con lo calculado anteriormente.

○ Cálculo para la verificación de la pérdida de carga mediante la ecuación de Hazen – Williams, haciendo uso del diámetro de la aducción y del coeficiente de rugosidad del material (PVC).

$$J = \sqrt[0.54]{\frac{Q}{0,2785 * C * D^{2,63}}}$$

$$J = \sqrt[0.54]{\frac{0,01451 \text{ m}^3/\text{s}}{0,2785 * 150 * 0,1524^{2,63}}} = 0,036 \text{ m. c. a} = 3.6\%$$

Nota: de acuerdo a la información obtenida anteriormente se determina la velocidad a partir de la ecuación de Hazen – Williams.

$$Q = 0,2785 * C * D^{2,63} * J^{0,54}$$

$$V * A = 0,2785 * C * D^{2,63} * J^{0,54}$$

$$V = \frac{0,2785 * C * D^{2,63} * J^{0,54}}{A}$$

$$V = \frac{0,2785 * C * D^{2,63} * J^{0,54}}{\frac{\pi * D^2}{4}}$$

$$V = \frac{0,2785 * 150.00 * (0,1524)^{2,63} * (0,036)^{0,54}}{\frac{\pi * (0,1524)^2}{4}} = 2.7 \text{ m/s}$$

Principalmente se puede afirmar que el agua que fluye a través de la tubería de la línea de aducción puede trasportar materiales sólidos en suspensión, en el numeral B.6.4.3.4 del RAS expresa que la velocidad mínima está determinada por una función del esfuerzo cortante mínimo que permita el arrastre de las partículas sedimentables que no hayan sido retenidas con anterioridad. Además, el RAS en el numeral B.6.4.4.8 recomienda que el diámetro mínimo permitido debe ser de 3", la aducción en el acueducto cumple con esta recomendación.

- Cálculo del esfuerzo cortante

$$\tau = \gamma * \frac{D}{4} * S$$

$$\tau = 9810 * \frac{0,1524}{4} * 0,027$$

$$\tau = 10.1 \text{ N/m}^2$$

El esfuerzo cortante permite el arrastre de los sedimentos, esto hace que las capas del fluido se muevan con una rapidez menor cerca de las paredes del tubo en comparación a las que están próximas al centro debido a la fricción, en el caso en particular permitiendo el arrastre del sedimento dentro de la tubería.

Tabla 2

Tabla resumen de variables de análisis red principal de aducción acueducto municipio Belén – Boyacá

| Red principal aducción - acueducto del municipio de Belén - Boyacá | | |
|---|--------------|-------------------|
| Bocatoma - Entrada Desarenador | | |
| Factor | Valor | Unidad |
| QMD | 0.01451 | m ³ /s |
| C | 150 | PVC |
| S | 2.7 | % |
| D | 0.1524 | m |
| Longitud Tramo | 178.8 | m |
| Profundidad Hidráulica (h) | 0.60 | m |
| Velocidad | 2.7 | m/s |
| Cota Terreno Inicial | 2820.00 | m.s.n.m |
| Cota Terreno Final | 2815.00 | m.s.n.m |

Fuente: Autor

2. Modelar condiciones actuales y futuras para la optimización de la línea de aducción, según reglamentación técnica

2.1 Proyección poblacional por suscriptores

Para el presente proyecto se realizó la proyección poblacional por el método o cálculo de suscriptores conectados al sistema de acueducto. Para llevar a cabo el cálculo del número de suscriptores proyectados para ser abastecidos por el nuevo esquema de distribución de agua potable en su período de diseño, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- La persona prestadora del servicio debe mantener actualizado el catastro de suscriptores del servicio.
- Comportamiento histórico del crecimiento de los suscriptores de la empresa de acueducto en la zona del municipio o la parte de este objeto del estudio, de acuerdo con la información de la persona prestadora del servicio o de otros sistemas privados o comunales cercanos a la zona objeto del diseño.
- El crecimiento de los suscriptores de otros servicios públicos tales como energía y telefonía fija.
- La meta de crecimiento de suscriptores del sistema de agua, de la empresa de servicios públicos, teniendo en cuenta sus proyecciones de inversión.
- Métodos matemáticos, tales como los aritméticos, geométricos y exponenciales.
- Métodos de aproximaciones sucesivas a las proyecciones de suscriptores.

2.1.1 Métodos de proyección de población

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico establece que para la proyección de usuarios se deben utilizar: métodos matemáticos, tales como los aritméticos y geométricos, métodos de aproximaciones sucesivas a las proyecciones de suscriptores y métodos heurísticos de ensayo y error. Para el presente proyecto se describen y usan los métodos matemáticos, ya que se cuenta con la información necesaria para su aplicación.

2.1.2. Método aritmético

Supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

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

donde:

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 información.

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

2.1.3 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.

$$Pf = Puc (1 + r)^{Tf - Tuc}$$

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

Donde:

Pf: población proyectada.

Puc: población de último censo.

Pci: población del censo inicial.

Tuc: año del último censo.

Tci: año del censo inicial.

Tf: año de la proyección.

r: tasa de crecimiento anual

2.1.4. El método exponencial

Requiere conocer por lo menos tres 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, la ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} * e^{Kx(Tf-Tci)}$$

Donde

K = La tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

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

cp = 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

A continuación, se investiga y recopila información acerca del registro histórico mediante datos obtenidos por el método de suscriptores el cual dé acuerdo al boletín censo general 2005 el 80.8 % de los hogares en Belén tiene 3.1 personas. Se obtienen datos históricos del número de suscriptores desde el año 2018 hasta el año 2023 los cuales son determinantes para el cálculo de la población. (ver tabla 3).

Tabla 3

Datos históricos de suscriptores en el acueducto de Belén – Boyacá

| Suscriptores | Censo | Población |
|--------------|-------|-----------|
| 1626 | 2018 | 5041 |
| 1650 | 2019 | 5115 |

| | | |
|------|------|------|
| 1690 | 2020 | 5239 |
| 1760 | 2021 | 5456 |
| 1880 | 2022 | 5828 |
| 1989 | 2023 | 6166 |

Fuente: autor

El cálculo de la proyección poblacional (hab) y la tasa de crecimiento se realiza partiendo de los métodos aritmético, geométrico y exponencial. Así, se selecciona el modelo que se ajusta al comportamiento histórico poblacional por parte del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), el cual se proyectará en un periodo de 25 años partiendo de lo establecido en la Resolución 330 de 2017 (ver tabla 4, 5).

2.1.5 Periodo de diseño

Siguiendo lo estipulado en la Resolución 0330 de 2017, artículo 40, el periodo de diseño para sistemas de acueducto para agua potable es de 25 años.

Tabla 4

Cálculo de la proyección poblacional

| Datos Iniciales | | | Observaciones | | | |
|-------------------|------------|---------------------|--|-------------------|-------------|-------------------|
| Periodo de diseño | 25 | Años | Para la valoración de las proyecciones de población se emplean los métodos recomendados dentro de la norma técnica RAS 2000 Título B. | | | |
| Censo | Población | | | | | |
| 2018 | 5041 | | | | | |
| 2019 | 5115 | | | | | |
| 2020 | 5239 | | | | | |
| 2021 | 5456 | | | | | |
| 2022 | 5828 | | | | | |
| 2023 | 6166 | | | | | |
| Año | Aritmético | | Geométrico | | Exponencial | |
| | K'' | K'' _{PROM} | r | r _{PROM} | K | K _{PROM} |
| 2018 | | 225,00 | | 0,0413 | | 0,0403 |
| 2019 | 74 | | 0,0147 | | 0,0146 | |
| 2020 | 124 | | 0,0242 | | 0,0240 | |

| | | | |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 2021 | 217 | 0,0414 | 0,0406 |
| 2022 | 372 | 0,0682 | 0,0660 |
| 2023 | 338 | 0,0580 | 0,0564 |
| Población de diseño (hab) | | | |
| 2018 | 5041 | 5041 | 5041 |
| 2019 | 5115 | 5115 | 5115 |
| 2020 | 5239 | 5239 | 5239 |
| 2021 | 5456 | 5456 | 5456 |
| 2022 | 5828 | 5828 | 5828 |
| 2023 | 6.166 | 6.166 | 6.166 |
| 2024 | 6.391 | 6.421 | 6.419 |
| 2025 | 6.616 | 6.686 | 6.683 |
| 2026 | 6.841 | 6.962 | 6.958 |
| 2027 | 7.066 | 7.250 | 7.244 |
| 2028 | 7.291 | 7.549 | 7.542 |
| 2029 | 7.516 | 7.861 | 7.852 |
| 2030 | 7.741 | 8.186 | 8.175 |
| 2031 | 7.966 | 8.524 | 8.511 |
| 2032 | 8.191 | 8.876 | 8.861 |
| 2033 | 8.416 | 9.242 | 9.225 |
| 2034 | 8.641 | 9.624 | 9.604 |
| 2035 | 8.866 | 10.022 | 9.999 |
| 2036 | 9.091 | 10.435 | 10.410 |
| 2037 | 9.316 | 10.866 | 10.838 |
| 2038 | 9.541 | 11.315 | 11.284 |
| 2039 | 9.766 | 11.783 | 11.748 |
| 2040 | 9.991 | 12.269 | 12.231 |
| 2041 | 10.216 | 12.776 | 12.734 |
| 2042 | 10.441 | 13.304 | 13.257 |
| 2043 | 10.666 | 13.853 | 13.802 |
| 2044 | 10.891 | 14.426 | 14.370 |
| 2045 | 11.116 | 15.021 | 14.960 |
| 2046 | 11.341 | 15.642 | 15.576 |
| 2047 | 11.566 | 16.288 | 16.216 |
| 2048 | 11.791 | 16.961 | 16.883 |

Fuente: autor

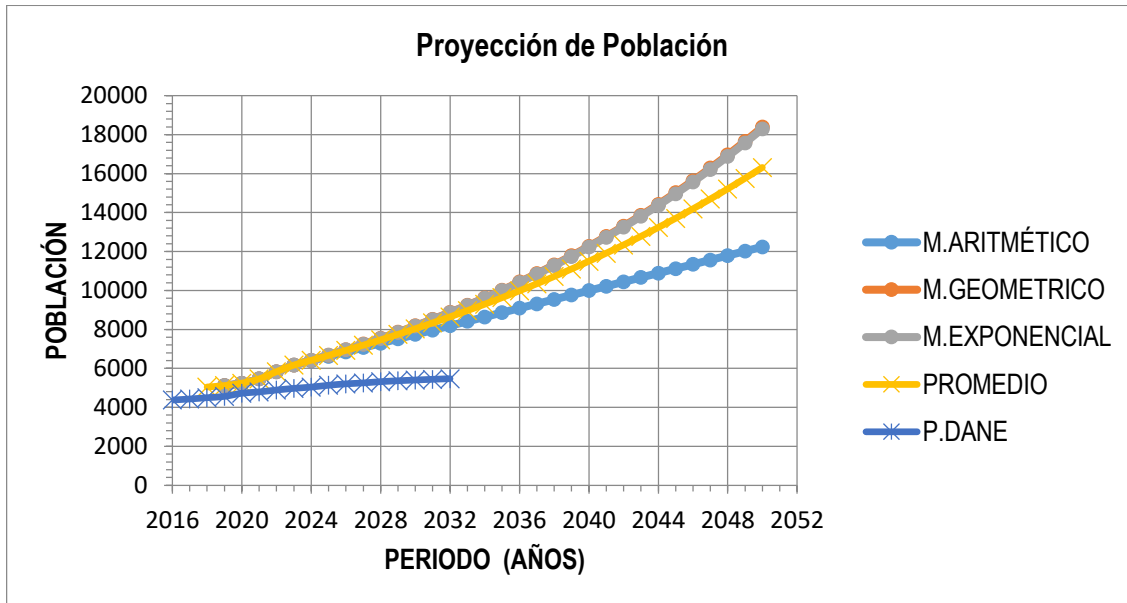
Tabla 5

Proyección poblacional según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE)

| Población DANE (hab) | |
|-----------------------------|------------------|
| Año | Población |
| 1985 | 2817 |
| 1986 | 2862 |
| 1987 | 2887 |
| 1988 | 2936 |
| 1989 | 2984 |
| 1990 | 3026 |
| 1991 | 3075 |
| 1992 | 3114 |
| 1993 | 3168 |
| 1994 | 3215 |
| 1995 | 3272 |
| 1996 | 3343 |
| 1997 | 3390 |
| 1998 | 3439 |
| 1999 | 3476 |
| 2000 | 3565 |
| 2001 | 3639 |
| 2002 | 3719 |
| 2003 | 3780 |
| 2004 | 3846 |
| 2005 | 3903 |
| 2006 | 3950 |
| 2007 | 3999 |
| 2008 | 4046 |
| 2009 | 4088 |

| | |
|------|------|
| 2010 | 4121 |
| 2011 | 4144 |
| 2012 | 4170 |
| 2013 | 4220 |
| 2014 | 4277 |
| 2015 | 4315 |
| 2016 | 4375 |
| 2017 | 4428 |
| 2018 | 4495 |
| 2019 | 4562 |
| 2020 | 4721 |
| 2021 | 4790 |
| 2022 | 4888 |
| 2023 | 4971 |
| 2024 | 5038 |
| 2025 | 5130 |
| 2026 | 5202 |
| 2027 | 5250 |
| 2028 | 5314 |
| 2029 | 5360 |
| 2030 | 5399 |
| 2031 | 5435 |
| 2032 | 5467 |
| 2033 | 5502 |
| 2034 | 5538 |
| 2035 | 5569 |

Fuente: boletín censo 2005

Figura 6*Grafica de proyección población*

Fuente: autor

De acuerdo a la información obtenida en la figura 6, se puede establecer que el método de proyección poblacional Aritmético es el que mejor se ajuste respecto a la tendencia poblacional por parte del DANE, para el proyecto investigativo se selecciona el método Aritmético para llevar a cabo el respectivo proceso de cálculo de demanda.

2.1.6 Población futura

En base a la información obtenida en las tablas 4 y 5, de acuerdo al título B del RAS se realiza el cálculo de la proyección de población con los datos históricos de número de suscriptores a partir del año 2018 hasta el año 2023 para determinar la tasa de crecimiento en esta población por el método de suscriptores, es decir, se toma el método de proyección poblacional (Aritmético) debido a que según la (figura 6) se ajusta en un mejor comportamiento con respecto a la proyección poblacional establecida por el DANE. Se establece que la población para el año 2023 que abastece el acueducto cuenta con 1989 suscriptores dando un total de 6166 habitantes, para el periodo horizonte de diseño el cual corresponde al año 2048 se obtiene un total de 3083 suscriptores al sistema de acueducto por tanto se proyecta abastecer a

11.791 habitantes pertenecientes al municipio de Belén - Boyacá. El método poblacional aritmético supone que la población tiene un comportamiento lineal y, por ende, la razón de cambio también se supone constante es decir se incrementa en la misma cantidad cada unidad de tiempo considerada, por otra parte, este método supone un crecimiento vegetativo por la mortalidad y la emigración.

2.2. Determinación de caudales

2.2.1 Dotación neta

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un suscriptor o de un habitante, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto, dicha dotación es establecida por la resolución 0330 del 2017 en el apartado del artículo 43. La dotación neta debe determinarse haciendo uso de la información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores al sistema de acueducto, información disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto o, en su defecto, recopilada en el Sistema Único de Información (SUI). En todos casos, se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los valores máximos establecidos en la Tabla 6.

Tabla 6

Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona objeto de estudio

| Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida | Dotación neta máxima (l/hab*día) |
|---|---|
| >2000 m.s.n.m | 120 |
| 1000 -2000 m.s.n.m | 130 |
| <1000 m.s.n.m | 140 |

Fuente: Resolución 0330 de 2017, 0799 de 2021 y Titulo b Ras

Para el caso en particular del proyecto investigativo ‘‘Evaluación y optimización de la línea de aducción del acueducto del municipio de Belén – Boyacá’’ se determina la dotación neta máxima por el método de suscriptores obteniendo información de datos históricos de

consumo por parte de la unidad prestadora de servicios SERVIBELEN y el Sistema Único de Información (SUI). Información plasmada en la tabla 7.

Tabla 7

Cálculos para la Determinación de la dotación neta máxima por el método de suscriptores

| Mes | Año | Consumo (m3) | Q (m3/d) | Q L/d | Numero Personas por hogar | Nº Suscriptores | Población | Dotación Neta Máxima (l/hab-día) |
|--------------------------|------|-----------------|-------------|----------|---------------------------------|--------------------|-----------|--|
| Enero | 2018 | 19931 | 664,4 | 664366,7 | 3,1 | 1610 | 4991 | 133,1129366 |
| Diciembre | | 23873 | 770,1 | 770096,8 | 3,1 | 1626 | 5040,6 | 152,7787911 |
| Enero | 2019 | 19931 | 664,4 | 664366,7 | 3,1 | 1610 | 4991 | 133,1129366 |
| Diciembre | | 19937 | 643,1 | 643129,0 | 3,1 | 1905 | 5905,5 | 108,9034006 |
| Enero | 2020 | 19948 | 664,9 | 664933,3 | 3,1 | 1667 | 5167,7 | 128,67104 |
| Diciembre | | 19998 | 645,1 | 645096,8 | 3,1 | 1690 | 5239 | 123,1335702 |
| Enero | 2021 | 20105 | 670,2 | 670166,7 | 3,1 | 1711 | 5304,1 | 126,3487994 |
| Diciembre | | 20184 | 651,1 | 651096,8 | 3,1 | 1760 | 5456 | 119,335919 |
| Enero | 2022 | 21223 | 707,4 | 707433,3 | 3,1 | 1817 | 5632,7 | 125,5940017 |
| Diciembre | | 25846 | 833,7 | 833741,9 | 3,1 | 1880 | 5828 | 143,0579848 |
| Enero | 2023 | 29725 | 990,8 | 990833,3 | 3,1 | 1925 | 5967,5 | 166,0382628 |
| Agosto | | 30157 | 972,8 | 972806,5 | 3,1 | 1989 | 6165,9 | 157,7720125 |
| Dotación Promedio | | | | | | | | 134,8216379 |

Fuente: autor

Respecto a los datos derivados de la tabla 7, se obtiene una dotación neta máxima de 134,82 L/hab-día, dato que se calcula por el método de suscriptores donde se tiene registro histórico de consumo desde el año 2018 hasta el año 2023, especificando que el número de personas por hogar en el municipio de Belén – Boyacá es de 3.1 según el boletín del DANE 2005.

2.2.2 Dotación bruta

La dotación bruta para el diseño de los elementos que conforman un sistema de acueducto, independientemente del nivel de complejidad, se calcula teniendo en cuenta que el porcentaje de pérdidas técnicas máximas en la ecuación engloba el total de perdidas esperadas en todos los componentes del sistema como aducciones, conducciones, plantas de tratamiento y redes de distribución, donde estas pérdidas no deben superar el 25%.

$$D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{1 - \%p}$$

Donde:

D bruta: dotación bruta

D neta: dotación neta

% p: perdidas máximas admisibles en el sistema

$$D_{bruta} = \frac{134.8216379 \frac{L}{hab * dia}}{1 - 0.25} = 179.7 \frac{L}{hab * dia}$$

○ La dotación bruta calculada a partir del dato obtenido de la dotación neta máxima y asumiendo un porcentaje de pérdidas técnicas del 25% es de 179.7 L/hab/día; dato que permite el desarrollo de cálculo de caudales.

2.2.3 Caudal medio diario

El caudal medio diario (Qmd) corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal en el periodo de un año, proyectado al horizonte de diseño.

$$Qmd = \frac{N^{\circ} \text{ suscriptores} * D_{bruta}}{86400 \text{ s}}$$

$$Qmd = \frac{12381 \text{ hab} * 179.7 \frac{l}{hab * d}}{86400 \text{ seg}} = 25.7 \text{ L/s}$$

2.2.4 Caudal máximo diario

El caudal máximo diario (QMD), corresponde al consumo máximo registrado durante un tiempo de 24 horas a lo largo de un periodo de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k_1 que se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año.

$$QMD = Qmd * k_1$$

$$QMD = 25.7 \frac{L}{seg} * 1.3 = 33.41 \frac{L}{seg}$$

2.2.5. Caudal máximo horario

El caudal máximo horario (QMH), corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período 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 .

$$QMH = QMD * k_2$$

$$QMH = 33.41 \frac{l}{s} * 1.6 = 53.4 \frac{l}{s}$$

2.3 Memoria de cálculo proyección de caudales no domésticos

En un primer contexto para la determinación de caudales se realiza la proyección de caudales no domésticos (ver tabla 8 – 9 – 10 – 11- 12 – 13) donde se encuentra especificado el consumo de uso comercial, industrial, escolar, institucional. Con el objetivo de obtener un valor de consumo total no doméstico en l/s y continuamente realizar la proyección de caudal domestico al horizonte de diseño para verificar la capacidad de demanda en el sistema de aducción.

Tabla 8*Datos generales del área como zona objeto de estudio*

| Municipio de Belén - Boyacá | | Coordenadas | |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------|
| Ubicación | Cordillera oriental | Norte | Oeste |
| Zona | Provincia - Tundama | | |
| Área zona de estudio (Ha) | 10 | 05°37'53" | 73°37'23" |
| Población servida (Ha) | 6.474 | | |

Fuente: autor

Tabla 9*Cálculo de consumo uso comercial*

| Tipo de Instalación | Dotación Neta | Cantidad | Caudal (L/día) |
|----------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|
| Oficinas | 20 L/m ² /día | 130 | 2600 |
| Locales comerciales | 6 L/m ² /día | 200 | 1200 |
| Mercados | 100 L/local/día | 15 | 1500 |
| Total | | | 5300 |

Fuente: autor

Tabla 10*Cálculo de consumo uso industrial*

| Tipo de Instalación | Dotación Neta | N° PERSONAS | Caudal (L/día) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Industrias materiales | 100 L/persona/día | 80 | 8000 |
| Lecherías | 0.8 L/persona/día | 200 | 160 |
| Fábricas de bebidas (por habitante) | 0.2 L/persona/día | | |
| Otras industrias | 30 L/persona/día | 70 | 3500 |
| | Consumo total Q_{UI} | | 11660 |

Fuente: autor

Tabla 11*Cálculo de consumo uso escolar*

| Tipo De Instalación | Dotación Neta | N° ALUMNOS | Caudal (L/día) |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Educación elemental | 20 L/alumno/jornada | 900 | 18000 |
| Educación media y superior | 25 L/alumno/jornada | 600 | 15000 |
| | Consumo total Q_{UE} | | 33000 |

Fuente: autor

Tabla 12*Cálculo de consumo uso institucional*

| Tipo de Instalación | Dotación Neta | N° PERSONA | Caudal (L/día) |
|---|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Hospitales, clínicas y centros de salud | 800 L/cama/día | 40 | 32000 |
| Cárceles | 150 L/interno/día | | 0 |
| Orfanatos y asilos | 300 L/huésped/día | 50 | 15000 |
| | Consumo total Q_{UE} | | 47000 |

Fuente: autor

Tabla 13*Cálculo de consumo no domestico total*

| Resumen consumo no domestico | Cantidad | Caudal Unitario (l/día) | Caudal Total (l/día) |
|-------------------------------------|-----------------|--|-----------------------------|
| uso comercial | 345 | 15,36231884 | 5300 |
| uso industrial | 350 | 33,31428571 | 11660 |
| uso escolar | 1500 | 22 | 33000 |
| uso institucional | 90 | 522,2222222 | 47000 |
| | | Consumo total Q_{total} (l/día) | 96960 |
| | | Consumo Total Q_{total} (l/seg) | 1,122222222 |

Fuente: autor

De acuerdo a la memoria de cálculo de proyección de caudal no doméstico (uso comercial, uso industrial, uso escolar, uso institucional), se obtiene un consumo total de 1,12

l/seg de consumo no doméstico, el cual este valor será sumado al caudal medio diario (Qmd) al valor proyectado en el año 2048 con el objetivo de verificar si el sistema en el año de horizonte cuenta con la capacidad de demanda para suministrar a sus para sus habitantes.

2.4 Memoria de cálculo de proyección de caudales domésticos

Tabla 14

Datos para el cálculo de proyección de caudal domestico

| | | Fuente | Observaciones |
|----------------------------|------------------|---|---|
| Población servida (Hab) | 6.474 | Informe | El método seleccionado para la proyección de |
| | | Proyección de población es el Método Aritmético . La | |
| Población proyectada (Hab) | 12.381 | Población 2023 - 2048 | población flotante corresponde al 5% con base en el diseño del plan maestro de acueducto y |
| Factor de mayoración | K1 K2 1,3 1,6 | Res. 0330 de 2017; Res 0799 de 2021 | alcantarillado 2009, las pérdidas técnicas en el sistema se asumen al 25% de acuerdo en lo establecido resolución 0330 de 2017. |
| Dotación neta (L/Hab/día) | 134.8 | | |

Fuente: autor

Tabla 15

Proyección de caudales a 25 años

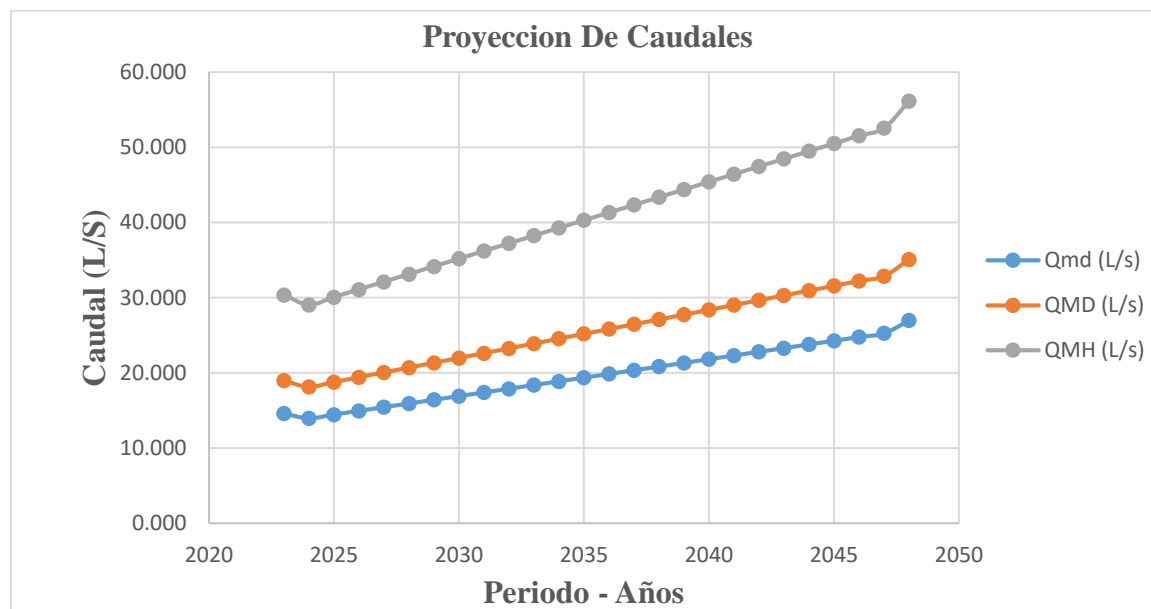
| Año | Población Proyectada (hab) | Población Flotante (hab) | Población Total (hab) | Pérdidas técnicas (%) | Dotación Neta Máxima (L/hab/día) | Dotación Bruta (L/hab/día) | Caudal Proyectado (L/día) | Caudal Medio Diario qmd (L/s) | Caudal Máximo Diario QMD (L/s) | Caudal Máximo Horario QMD (L/s) |
|------|----------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 2023 | 6166 | 308,3 | 6474,3 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1163820 | 14,592 | 18,970 | 30,352 |
| 2024 | 6391 | 319,55 | 6710,55 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1206288 | 13,962 | 18,150 | 29,040 |
| 2025 | 6616 | 330,8 | 6946,8 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1248757 | 14,453 | 18,789 | 30,063 |
| 2026 | 6841 | 342,05 | 7183,05 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1291225 | 14,945 | 19,428 | 31,085 |
| 2027 | 7066 | 353,3 | 7419,3 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1333693 | 15,436 | 20,067 | 32,107 |
| 2028 | 7291 | 364,55 | 7655,55 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1376162 | 15,928 | 20,706 | 33,130 |
| 2029 | 7516 | 375,8 | 7891,8 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1418630 | 16,419 | 21,345 | 34,152 |
| 2030 | 7741 | 387,05 | 8128,05 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1461098 | 16,911 | 21,984 | 35,175 |
| 2031 | 7966 | 398,3 | 8364,3 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1503567 | 17,402 | 22,623 | 36,197 |
| 2032 | 8191 | 409,55 | 8600,55 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1546035 | 17,894 | 23,262 | 37,219 |
| 2033 | 8416 | 420,8 | 8836,8 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1588503 | 18,385 | 23,901 | 38,242 |
| 2034 | 8641 | 432,05 | 9073,05 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1630971 | 18,877 | 24,540 | 39,264 |
| 2035 | 8866 | 443,3 | 9309,3 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1673440 | 19,369 | 25,179 | 40,287 |
| 2036 | 9091 | 454,55 | 9545,55 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1715908 | 19,860 | 25,818 | 41,309 |
| 2037 | 9316 | 465,8 | 9781,8 | 0,25 | 134,82 | 179,76 | 1758376 | 20,352 | 26,457 | 42,331 |

| | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------|---------------|-----------------|-------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| 2038 | 9541 | 477,05 | 10018,05 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 1800845 | 20,843 | 27,096 | 43,354 |
| 2039 | 9766 | 488,3 | 10254,3 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 1843313 | 21,335 | 27,735 | 44,376 |
| 2040 | 9991 | 499,55 | 10490,55 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 1885781 | 21,826 | 28,374 | 45,398 |
| 2041 | 10216 | 510,8 | 10726,8 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 1928250 | 22,318 | 29,013 | 46,421 |
| 2042 | 10441 | 522,05 | 10963,05 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 1970718 | 22,809 | 29,652 | 47,443 |
| 2043 | 10666 | 533,3 | 11199,3 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 2013186 | 23,301 | 30,291 | 48,466 |
| 2044 | 10891 | 544,55 | 11435,55 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 2055654 | 23,792 | 30,930 | 49,488 |
| 2045 | 11116 | 555,8 | 11671,8 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 2098123 | 24,284 | 31,569 | 50,510 |
| 2046 | 11341 | 567,05 | 11908,05 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 2140591 | 24,775 | 32,208 | 51,533 |
| 2047 | 11566 | 578,3 | 12144,3 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 2183059 | 25,267 | 32,847 | 52,555 |
| 2048 | 11791 | 589,55 | 12380,55 | 0.25 | 134.82 | 179,76 | 2225528 | 26,978 | 35,072 | 56,115 |

Fuente: autor

Figura 7

Curva de caudales proyectados



Fuente: autor

De acuerdo a la gráfica de caudales proyectados (figura 7) y la (tabla 15), actualmente se tiene una población de 6474 habitantes para un consumo de 14.592 l/s, para el año de proyección 2048 se obtendría una población 12380 habitantes con una demanda de consumo de 26,978 (L/s) dato calculado por medio del caudal medio diario (Qmd). Este dato de consumo será analizado mediante el software de modelación con el objetivo de verificar si el sistema está en capacidad de cumplir con la demanda y dar continuidad al tratamiento del recurso hídrico y suministro para sus habitantes.

2.5. Propuesta como alternativa de optimización de la red de aducción según el material que compone el tramo del sistema

2.5.1. Selección de alternativa de optimización

Se trabajó la investigación en campo con el componente de aducción del sistema existente y la respectiva topografía, así como también con los parámetros de población, demanda, velocidad y presión establecidas en el reglamento técnico Resolución 0330 de 2017.

2.5.2. Alternativas planteadas

A continuación, se presentan las alternativas planteadas para evaluación y selección de material para la red de aducción como propuesta de optimización (ver tabla 16-17-18-19-20).

Tabla 16

La presente tabla hace referencia a las alternativas planteadas para la selección de material como propuesta de optimización en la aducción

| Alternativa 1 (PVC) | Alternativa 2 (PEAD) |
|---|---|
| Esta consiste en evaluar el proyecto instalando tubería de policloruro de vinilo, llamado comercialmente PVC. | Esta consiste en evaluar el proyecto instalando tubería de Polietileno de Alta Densidad, llamado comercialmente PEAD. |

Fuente: autor

Tabla 17

Criterios de alternativas de evaluación de acuerdo a las alternativas planteadas, matriz de decisión

| Aspectos | Factores | Alternativa 1 (PVC) | Alternativa 2 (PEAD) |
|---------------------------------|---------------------|---|---|
| Consideraciones técnicas | rugosidad | $K_s = 0,0015$ mm (Darcy Weisbach) Menores pérdidas de presión. | $K_s = 0.007$ (Darcy & Weisbach) Mayores pérdidas por fricción. |
| | caudal transportado | Mayor caudal transportado | Menor caudal transportado |

| | rango de presiones características de trabajo | Tuberías con presión de trabajo hasta 315 psi | Tuberías con presión de trabajo hasta 230 psi |
|--|--|--|---|
| Facilidad en instalación | características comerciales de la tubería | Almacenamiento: cubierto Longitud: 6m por tubo | Almacenamiento: intemperie Longitud: Tuberías en tramos de 6m |
| | complejidad en la construcción y equipamiento | sistema de unión campana espigo | Sistema de unión, termofusión o electro fusión |
| | ventajas en operación | Riesgo alto en roturas | Riesgo medio en roturas |
| Requerimientos de operación y mantenimiento | resistencia a sismos | al ser un material menos flexible al polietileno de alta densidad presenta una menor resistencia a amenazas sísmicas | por su flexibilidad es un material altamente resistente a amenazas sísmicas |
| | tecnología ampliamente probada | Tecnología ampliamente probada | Tecnología ampliamente probada |
| | disponibilidad de repuestos y centro de servicio | disponibilidad alta | Disponibilidad intermedia |

Fuente: autor

2.5.3. Resultados de aplicación de metodología y análisis de alternativas

Para la selección de la alternativa de optimización de acuerdo a los resultados obtenidos de la matriz de decisión, los cuales dependen en gran medida de la ponderación efectuada en cada criterio de evaluación bajo las condiciones específicas de cada alternativa, se establece que el proceso que obtenga la mayor calificación será el seleccionado.

Tabla 18

Tabla representativa de los valores de ponderación por parte del evaluador para la selección de la alternativa pertinente de acuerdo al material como propuesta de optimización en la línea de aducción

| N° | Valor de ponderación | |
|----|--|-----------------------|
| | Factor Evaluado | Ponderación Evaluador |
| 1 | Características técnicas | 20% |
| 2 | Facilidad De Instalación | 20% |
| 3 | Requerimientos de Operación y Mantenimiento | 20% |
| 4 | Costos de Inversión | 40% |
| | Total | 100% |

Fuente: autor

Tabla 19

Tabla representativa de la evaluación de la alternativa 1 (PVC)

| EVALUACION ALTERNATIVA 1 (PVC) | | | | |
|--------------------------------|--|----------------|--|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 0 = No aplica | | |
| | | 1 = suficiente | | |
| % | Factor Evaluado | 3 = adecuado | (3*1) depende de la descripción y factores descritos anteriormente | 4 * |
| | | 4 = bueno | | 1 |
| | | 5 = muy bueno | | |
| 20 | Características técnicas | 4 | 0.8 | 16 |
| 20 | Facilidad de Instalación | 5 | 1.0 | 20 |
| 20 | Requerimientos de Operación y Mantenimiento | 4 | 0.8 | 16 |
| 40 | Costos de inversión | 4 | 0.8 | 32 |
| | Total | 17 | 3.4 | 84 |

Fuente: autor

Tabla 20*Tabla representativa de la evaluación de la alternativa 2 (PEAD)*

| EVALUACION ALTERNATIVA 2 (PEAD) | | | | |
|---------------------------------|--|----------------|-------------------------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 0 = No aplica | | |
| | | 1 = suficiente | (3*1) depende de la | |
| % | Factor Evaluado | 3 = adecuado | descripción y factores | 4 * 1 |
| | | 4 = bueno | descritos anteriormente | |
| | | 5 = muy bueno | | |
| 20 | Características técnicas | 3 | 0.6 | 12 |
| 20 | Facilidad de Instalación | 3 | 0.6 | 12 |
| 20 | Requerimientos de Operación y Mantenimiento | 3 | 0.6 | 12 |
| 40 | Costos de inversión | 3 | 0.6 | 24 |
| | Total | 12 | 2.4 | 60 |

Fuente: autor

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente se selecciona como propuesta de alternativa de optimización para la línea de aducción el material Policloruro de vinilo comercialmente denominado PVC, sus características técnicas, facilidad de instalación, operación y mantenimiento, costos entre otros aspectos hacen una mayor eficiencia para el transporte del recurso hídrico y así brindar continuidad en el sistema de tratamiento del acueducto del municipio de Belén – Boyacá.

2.5.4. Aspectos evaluados para la selección del material

- Según la resolución 0330 de 2017 el artículo 56 establece una velocidad mínima de trabajo de 0.50 m/s, la velocidad máxima de trabajo depende del tipo, grado y rde de la tubería a emplear. En el componente de la línea de aducción se establece una tubería RDE 21 la cual hace referencia a la presión máxima de resistencia por parte de la tubería, en referencia a lo anterior un primer tramo se encuentra en tubería de 8'' con un diámetro interno de 198.21mm, continuamente un segundo tramo en tubería de 6'' diámetro interno 152.22mm, de

acuerdo al catálogo de PVC esta referencia resiste una presión de trabajo máxima de 350 psi por lo cual es aceptable para dar continuidad y eficiencia en el sistema.

- En atención a lo establecido en el artículo 63, se determina un diámetro interno real mínimo en la red de distribución el cual corresponde a 75 mm, por lo cual la tubería existente tiene un diámetro mínimo de 152.22 mm cumpliendo con lo estipulado en el artículo en mención.

- Mayores caudales: coeficiente de fricción $K_s = 0.0015$ (Darcy & Weisbach)

Se obtiene que este tipo de tubería está en capacidad de transportar mayores caudales, análisis que se verificara en el software de modelación.

- Facilidad y rapidez de instalación: peso liviano, tuberías en tramos de 6m, conexión campana, espigo con diámetros comerciales hasta de 20''.

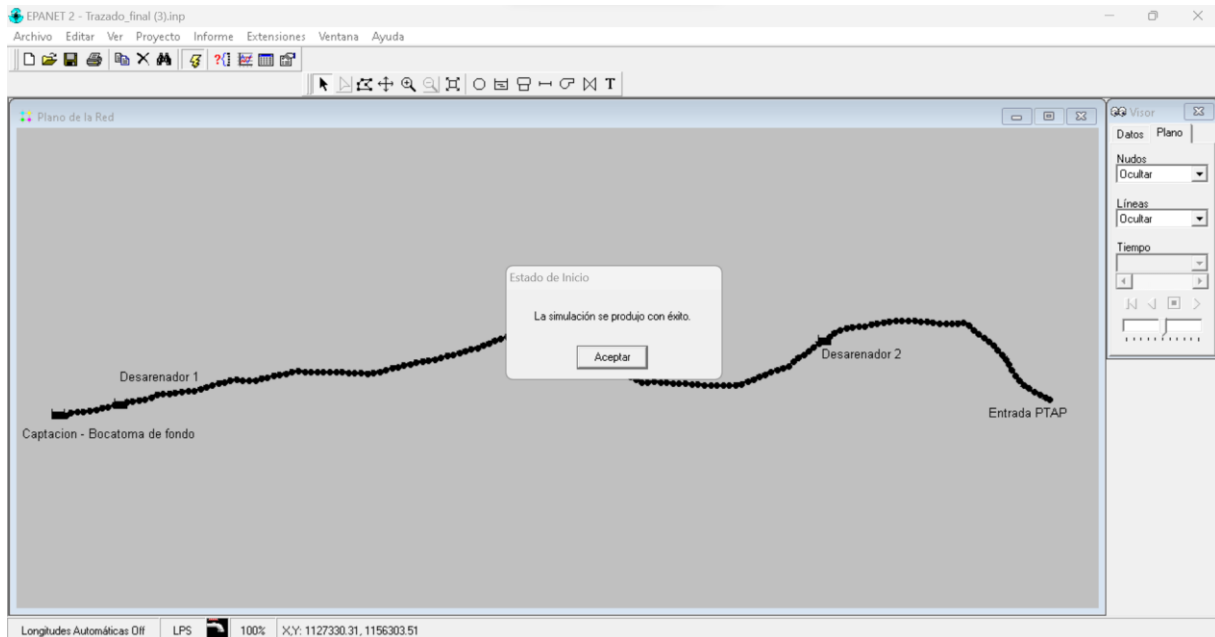
- Mayor economía, transporte de mayor volumen de agua y el valor del material es menor en comparación a otros.

- Energía disponible: la energía debido a la posición de los puntos de conexión es baja por lo cual se requiere un diámetro y coeficiente de fricción adecuado para transportar el caudal de diseño con las menores perdidas posibles.

- El material de PVC se encuentran diámetros comerciales y diámetros internos mayores debido a la relación diámetro espesor.

2.6 Modelación hidráulica red de aducción del acueducto de Belén – Boyacá

Mediante el programa Epanet se cargan todos los datos de nodos y líneas y se agrega manualmente el embalse que hace referencia a la captación y demás elementos requeridos para la simulación, como se observa a continuación.

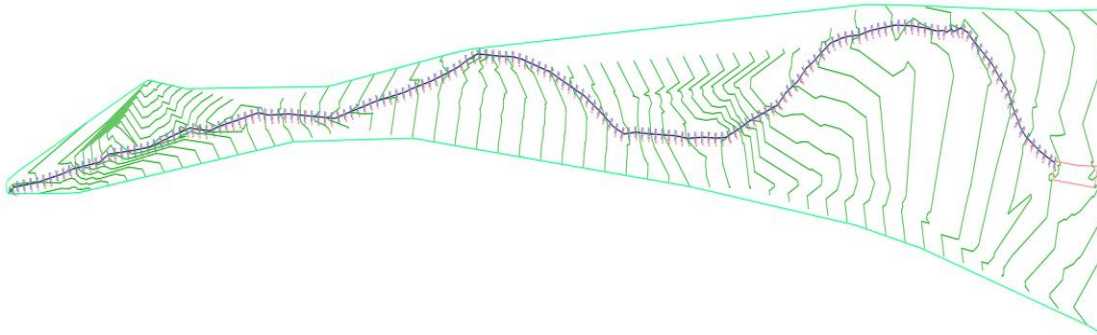
Figura 8*Verificación de la simulación del modelo*

Fuente: software EPANET 2.0

En un primer contexto se inicia con la exportación de datos en el software identificando el estado de inicio del modelo con cada uno de los componentes que hacen parte del sistema de aducción, se realiza la respectiva simulación del modelo la cual se produjo con éxito; continuamente se da inicio a realizar la respectiva simulación de las variables de análisis velocidad, caudal, presión entre otros factores.

Figura 9

Trasado de la tubería desde la captación – desarenador y llegada a la PTAP

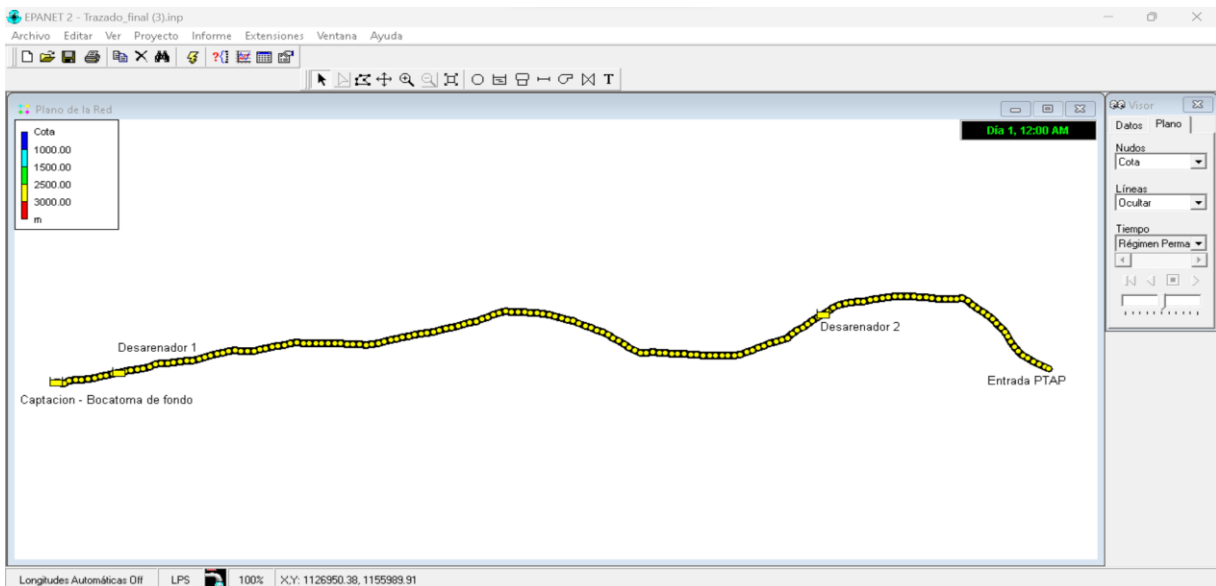


Fuente: software EPANET 2.0

La figura representa el trazado de la red de aducción con sus respectivas curvas de nivel las cuales permiten la identificación de la topografía y la variación del terreno especificando la forma topográfica en la que se encuentra el sistema de la línea de aducción.

Figura 10

Determinación de cotas en los puntos específicos del sistema de aducción

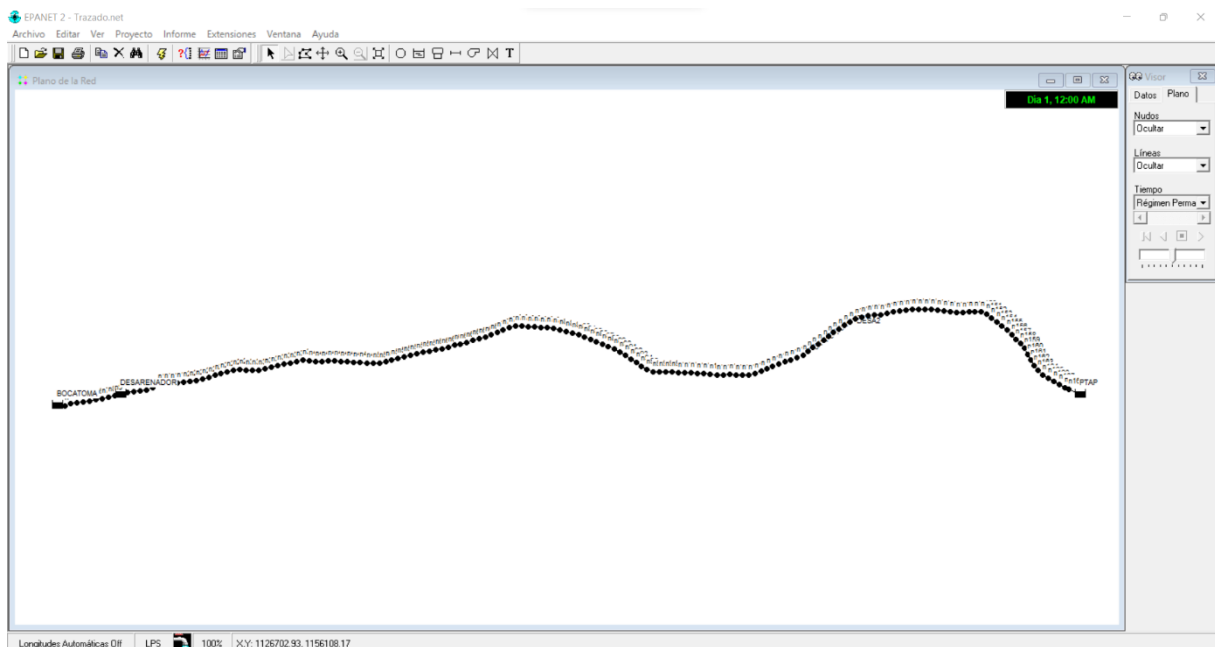


Fuente: software EPANET 2.0

De acuerdo al software de modelación hidráulica se tiene un inicio donde el modelo lo asume como un embalse, pero para el proyecto investigativo es la captación que se encuentra a una altura de los 2820.00 m.s.n.m, posteriormente se encuentra un intervalo de tubería que va desde el nodo 1 hasta el nodo 10 en diámetro de 8'' llegando al desarenador 1 con un altura de 2816.34 m.s.n.m, continuamente del nodo 10 hasta el nodo 127 que hace referencia al desarenador 2 con una altura representativa de los 2625.97 m.s.n.s tubería en diámetro de 8'' y reducción de la tubería a 6''. A la salida del desarenador 2 se cuenta con tubería de 8'' hasta la entrada a la PTAP que corresponde al nodo 169 y se encuentra a una altura de 2595.37 m.s.n.m. De esta manera se puede evidenciar en el modelo que la altura del sistema se encuentra entre los 2500 m.s.n.m y los 3000 m.s.n.m donde de acuerdo al código de colores de la leyenda predomina el color amarillo como identificación de la altura en puntos específicos del sistema.

Figura 11

Alineación del trazado de la red de aducción



Fuente: software EPANET 2.0

En el nodo 1 se cuenta con una cota de salida de 2820.00 m.s.n.m llegando al desarenador en el nodo 10 con una cota de 2816.35 m.s.n.m y el nodo 169 con una cota de llegada a la PTAP de 2595.37 m.s.n.m.

A partir de la topografía en Auto Cad se exportan las curvas de nivel para hacer el trazado en Civil 3D, continuamente se generaron los nodos y el alineamiento con un total de 169 nodos en intervalos de cada 20 m. una vez realizado el trazado se exportaron los datos en un formato DXF para poder exportar la tubería a EpaCad y generar un archivo en formato. INP para realizar la respectiva importación en el software EPANET.

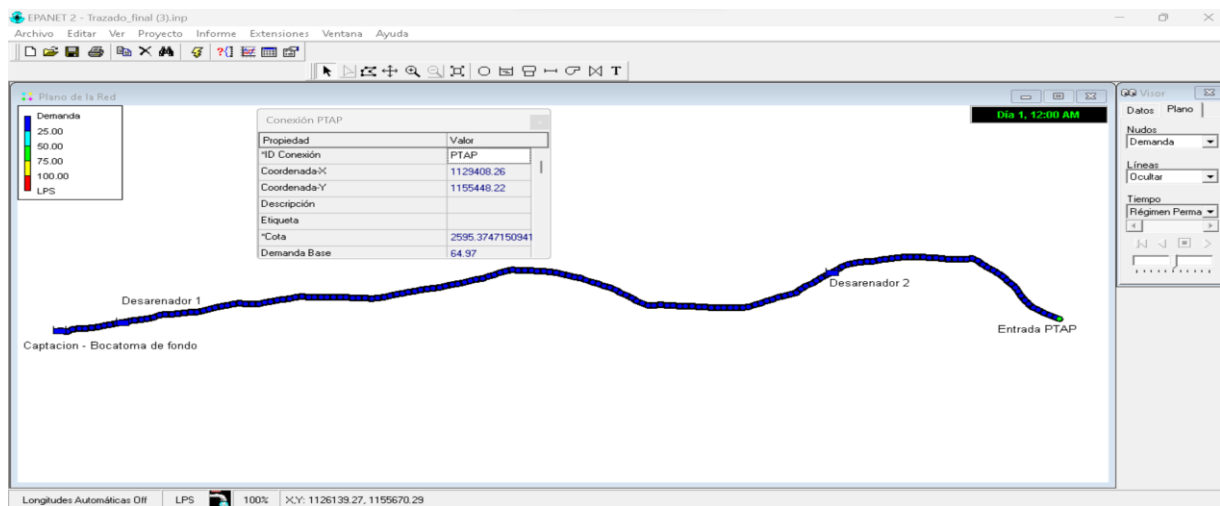
En el programa EPANET se trabajó con valores en unidades del sistema internacional, para el cálculo de las pérdidas por fricción y pérdidas menores se hace uso de la ecuación de Darcy – Weisbach.

De acuerdo a la topografía y el recorrido de la línea de aducción se define que el material de la tubería es PVC (Polietileno de alta densidad) RED 21, de esta forma determinamos coeficiente de rugosidad y definir los diámetros de tubería existentes.

Para el caso en particular del proyecto investigativo de acuerdo a la ecuación de Darcy -Weisbach se obtiene un valor del coeficiente de rugosidad de 0,0015 el cual hace referencia a la pérdida de carga dentro de una tubería. Particularmente al estimar un RED 21 según el manual técnico de PVC se obtiene que para el diámetro de tubería de 8'' se especifica un diámetro interno de 198.21mm y para el diámetro de 6'' existe un diámetro interno de 152.22mm, específicamente el diámetro interno hace referencia a la medida de la apertura interna de la tubería donde se aloja el fluido que está en capacidad de transportar la tubería.

Figura 12

Análisis de la demanda en el sistema de aducción



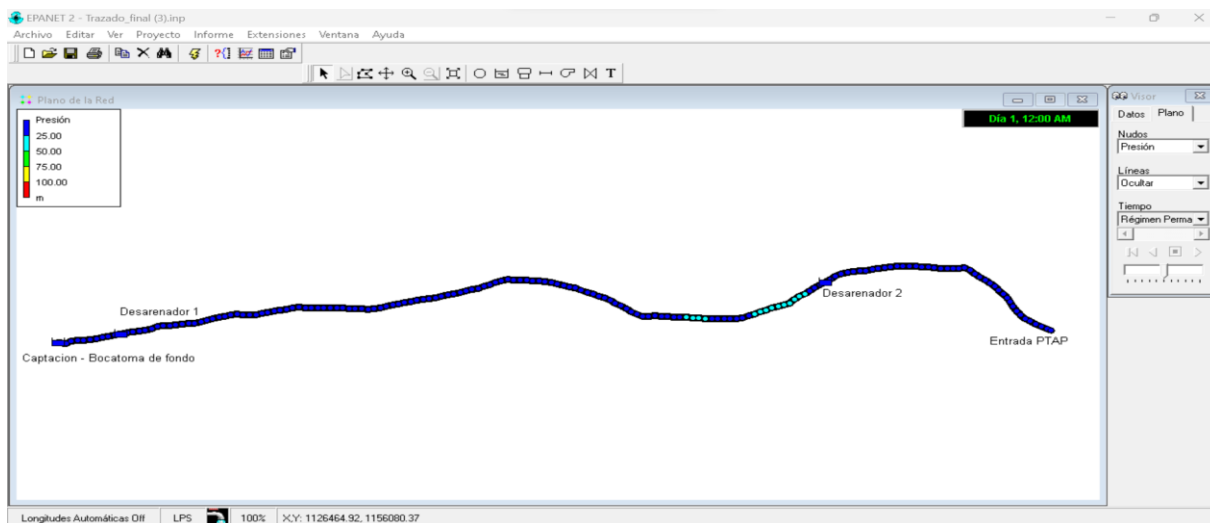
Fuente: software EPANET 2.0

Actualmente (Año 2023) el sistema abastece a una población de 6474 habitantes con un caudal (Qmd) de 14.592 l/s, para el año de proyección (2048) el sistema abastecerá a una población de 12380 habitantes con un caudal (Qmd) proyectado de 26.978 l/s.

De acuerdo a los datos obtenidos por medio del software el caudal máximo que puede transportar la línea de aducción es de 64.97 l/s, de esta manera se puede comprobar la variable correspondiente al diámetro, observando los caudales máximos que puede transportar la tubería y comparándolos con el caudal de diseño requerido para el proyecto. Para el año de proyección se tiene una demanda base de consumo de 26.978 l/s para abastecer a una población aproximada de 12.381 hab, de acuerdo al dato obtenido de demanda base por medio de la modelación se obtiene un caudal de 64.971 l/s lo cual hace referencia a una tubería que transporta un caudal significativo provocando excesos en las estructuras de llegada como desarenador y llegada a la PTAP lo cual dificulta su disposición final de este recurso ya que no se cuenta con un sistema para que los excesos sean retornados de manera adecuada a la fuente hídrica. De esta manera se hace necesario plantear un nuevo sistema de aducción reduciendo el diámetro de la tubería para transportar el caudal necesario con el objetivo de brindar una mayor eficiencia en la continuidad del proceso de tratamiento del recurso hídrico.

Figura 13

Análisis de presión en los nodos del sistema de aducción

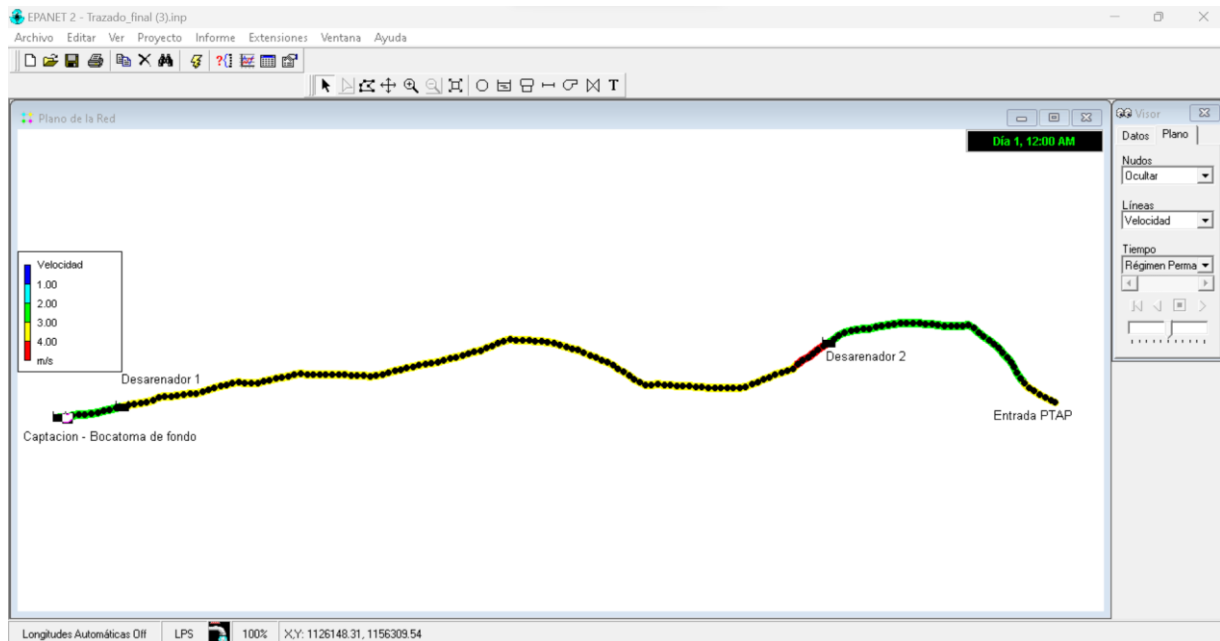


Fuente: software EPANET 2.0

De la imagen anterior se puede observar que la presión dinámica de la red tiene valores por encima de los 5 m.c.a para los puntos más altos y críticos de la red, lo cual garantiza el correcto funcionamiento como lo indica la resolución 0330 de 2017. Existen algunos tramos de la tubería con presiones dinámicas menores a los 5 m.c.a debido a la topografía del terreno la tubería se encuentra instalada a una mayor profundidad lo cual genera una pérdida de presión en el sistema. Por otra parte, a la llegada de la PTAP tenemos una presión dinámica de 10.74 m.c.a. lo cual permite dar continuidad al curso del agua para el proceso de tratamiento en el sistema de acueducto.

Figura 14

Análisis de velocidad en las líneas de la red de aducción.

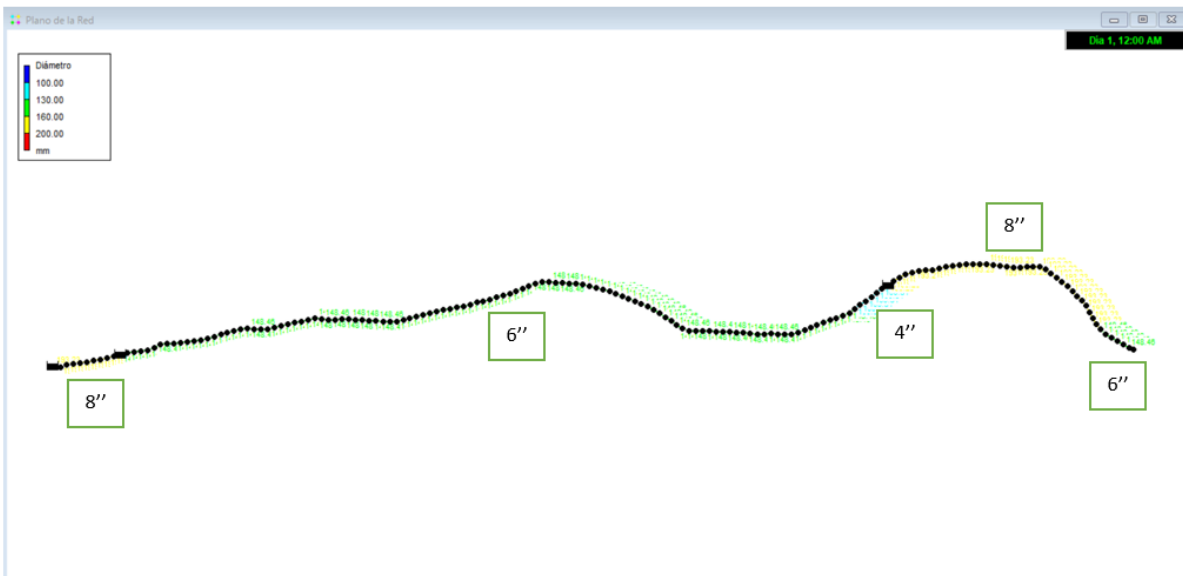


Fuente: software EPANET 2.0

Según lo establecido en la resolución 0330 de 2017 se especifica una velocidad mínima de 0.45 m/s y velocidad máxima de 5 m/s. De acuerdo al modelo se obtiene una velocidad que se encuentra en el rango de 2 y 3.75 m/s para una velocidad promedio de 2.74 m/s en el transcurso de la línea de aducción, a la llegada de la PTAP se cuenta con una velocidad de 3,75 m/s. A partir de estos datos se obtiene que esta parte del sistema de acueducto cumple con la velocidad pertinente para el respectivo arrastre de partículas sedimentables y permitir el curso del flujo de agua para dar continuidad al sistema de tratamiento.

Figura 15

Diámetro de la tubería en condiciones actuales



Fuente: software EPANET 2.0

La figura 15 es la representación de la tubería de aducción con sus respectivos diámetros donde se puede verificar que es una tubería con una variabilidad de diámetros que transportan una demanda base demasiado alta respecto al caudal que se necesita para suministrar a la comunidad, de esta manera se plantea una reducción de diámetros lo cual implica un nuevo trazado de la línea de aducción.

Tabla 21

Tabla resumen red de nudos de la red de aducción donde se establecen los valores de altura y presión según los datos extraídos por el software de modelación en condiciones actuales del sistema

| Tabla de red - nudos | | |
|----------------------|------------|-------------|
| ID nudo | Altura (m) | Presión (m) |
| Conexión n6 | 2818,43 | 0,21 |
| Conexión n7 | 2817,91 | 0,08 |
| Conexión n8 | 2817,39 | 0,05 |
| Conexión n9 | 2816,87 | 0,11 |

| | | |
|--------------|---------|-------|
| Conexión n11 | 2815,08 | 0,63 |
| Conexión n12 | 2813,7 | 8,1 |
| Conexión n13 | 2812,41 | 10,37 |
| Conexión n14 | 2811,14 | 12,21 |
| Conexión n15 | 2809,89 | 11,97 |
| Conexión n16 | 2808,63 | 10 |
| Conexión n17 | 2807,35 | 12,08 |
| Conexión n18 | 2806,07 | 14,3 |
| Conexión n19 | 2804,8 | 15,1 |
| Conexión n20 | 2803,53 | 16,52 |
| Conexión n21 | 2802,26 | 16,96 |
| Conexión n22 | 2801 | 16,37 |
| Conexión n23 | 2799,74 | 16,04 |
| Conexión n24 | 2798,47 | 15,86 |
| Conexión n25 | 2797,21 | 14,62 |
| Conexión n26 | 2795,95 | 14,09 |
| Conexión n27 | 2794,68 | 13,72 |
| Conexión n28 | 2793,42 | 12,51 |
| Conexión n29 | 2792,18 | 9,97 |
| Conexión n30 | 2790,92 | 9,51 |
| Conexión n31 | 2789,63 | 11,71 |
| Conexión n32 | 2788,38 | 12,99 |
| Conexión n33 | 2787,12 | 12,06 |
| Conexión n34 | 2785,85 | 8,78 |
| Conexión n35 | 2784,58 | 6,92 |
| Conexión n36 | 2783,32 | 5,34 |
| Conexión n37 | 2782,06 | 4,04 |
| Conexión n38 | 2780,79 | 3,98 |
| Conexión n39 | 2779,53 | 3,81 |
| Conexión n40 | 2778,27 | 3,86 |
| Conexión n41 | 2777 | 4,26 |
| Conexión n42 | 2775,73 | 5,35 |
| Conexión n43 | 2774,46 | 6,44 |
| Conexión n44 | 2773,19 | 6,78 |
| Conexión n45 | 2771,93 | 6,69 |
| Conexión n46 | 2770,66 | 7,43 |
| Conexión n47 | 2769,39 | 8,63 |

| | | |
|--------------|---------|-------|
| Conexión n48 | 2768,12 | 9,83 |
| Conexión n49 | 2766,85 | 11,02 |
| Conexión n50 | 2765,57 | 12,22 |
| Conexión n51 | 2764,32 | 12,81 |
| Conexión n52 | 2763,05 | 12,6 |
| Conexión n53 | 2761,79 | 12,39 |
| Conexión n54 | 2760,53 | 12,19 |
| Conexión n55 | 2759,26 | 11,98 |
| Conexión n56 | 2758 | 11,4 |
| Conexión n57 | 2756,73 | 11,43 |
| Conexión n58 | 2755,47 | 10,8 |
| Conexión n59 | 2754,21 | 9,95 |
| Conexión n60 | 2752,94 | 9,33 |
| Conexión n61 | 2751,68 | 8,55 |
| Conexión n62 | 2750,42 | 8,8 |
| Conexión n63 | 2749,15 | 9,03 |
| Conexión n64 | 2747,89 | 9,08 |
| Conexión n65 | 2746,62 | 9,05 |
| Conexión n66 | 2745,36 | 8,92 |
| Conexión n67 | 2744,09 | 8,46 |
| Conexión n68 | 2742,83 | 8,2 |
| Conexión n69 | 2741,56 | 7,84 |
| Conexión n70 | 2740,3 | 6,68 |
| Conexión n71 | 2739,04 | 5,03 |
| Conexión n72 | 2737,78 | 3,53 |
| Conexión n73 | 2736,52 | 5,11 |
| Conexión n74 | 2735,21 | 9,59 |
| Conexión n75 | 2733,9 | 13,96 |
| Conexión n76 | 2732,62 | 15,26 |
| Conexión n77 | 2731,35 | 15,9 |
| Conexión n78 | 2730,08 | 16,84 |
| Conexión n79 | 2728,82 | 17,57 |
| Conexión n80 | 2727,55 | 17,93 |
| Conexión n81 | 2726,29 | 17,7 |
| Conexión n82 | 2725,02 | 17,69 |
| Conexión n83 | 2723,76 | 17,33 |
| Conexión n84 | 2722,49 | 18,35 |

| | | |
|---------------|---------|-------|
| Conexión n85 | 2721,22 | 18,6 |
| Conexión n86 | 2719,96 | 18,74 |
| Conexión n87 | 2718,69 | 18,57 |
| Conexión n88 | 2717,43 | 18,21 |
| Conexión n89 | 2716,16 | 18,08 |
| Conexión n90 | 2714,91 | 17,39 |
| Conexión n91 | 2713,64 | 16,94 |
| Conexión n92 | 2712,38 | 16,71 |
| Conexión n93 | 2711,11 | 16,53 |
| Conexión n94 | 2709,85 | 16,36 |
| Conexión n95 | 2708,59 | 16,34 |
| Conexión n96 | 2707,33 | 15,7 |
| Conexión n97 | 2706,09 | 16,63 |
| Conexión n98 | 2704,81 | 18,35 |
| Conexión n99 | 2703,54 | 20,16 |
| Conexión n100 | 2702,26 | 21,71 |
| Conexión n101 | 2700,99 | 23,02 |
| Conexión n102 | 2699,72 | 24,25 |
| Conexión n103 | 2698,45 | 25,28 |
| Conexión n104 | 2697,18 | 25,67 |
| Conexión n105 | 2695,92 | 25,6 |
| Conexión n106 | 2694,65 | 25,3 |
| Conexión n107 | 2693,39 | 24,91 |
| Conexión n108 | 2692,13 | 24,45 |
| Conexión n109 | 2690,86 | 23,34 |
| Conexión n110 | 2689,6 | 22,63 |
| Conexión n111 | 2688,34 | 22,68 |
| Conexión n112 | 2687,09 | 22,37 |
| Conexión n113 | 2685,82 | 22,69 |
| Conexión n114 | 2684,45 | 29,67 |
| Conexión n115 | 2683,11 | 35,71 |
| Conexión n116 | 2681,83 | 37,91 |
| Conexión n117 | 2680,55 | 39,28 |
| Conexión n118 | 2679,28 | 40,98 |
| Conexión n119 | 2678 | 42,72 |
| Conexión n120 | 2676,73 | 44,23 |
| Conexión n121 | 2675,47 | 44,14 |

| | | |
|---------------|---------|-------|
| Conexión n122 | 2667,23 | 36,93 |
| Conexión n123 | 2658,96 | 29,64 |
| Conexión n124 | 2650,73 | 22,49 |
| Conexión n125 | 2642,46 | 15,08 |
| Conexión n126 | 2634,24 | 7,92 |
| Conexión n128 | 2625,62 | 0,9 |
| Conexión n129 | 2625,27 | 1,62 |
| Conexión n130 | 2624,92 | 1,99 |
| Conexión n131 | 2624,57 | 2,14 |
| Conexión n132 | 2624,21 | 3,01 |
| Conexión n133 | 2623,86 | 3,23 |
| Conexión n134 | 2623,51 | 3,81 |
| Conexión n135 | 2623,16 | 4,38 |
| Conexión n136 | 2622,8 | 4,79 |
| Conexión n137 | 2622,45 | 5,55 |
| Conexión n138 | 2622,1 | 6,05 |
| Conexión n139 | 2621,74 | 6,79 |
| Conexión n140 | 2621,39 | 8,22 |
| Conexión n141 | 2621,04 | 6,86 |
| Conexión n142 | 2620,68 | 4,35 |
| Conexión n143 | 2620,33 | 3,64 |
| Conexión n144 | 2619,98 | 4,49 |
| Conexión n145 | 2619,62 | 5,14 |
| Conexión n146 | 2619,27 | 6,68 |
| Conexión n147 | 2618,92 | 6,6 |
| Conexión n148 | 2618,59 | 8,61 |
| Conexión n149 | 2618,27 | 8,26 |
| Conexión n150 | 2617,93 | 7,54 |
| Conexión n151 | 2617,58 | 5,96 |
| Conexión n152 | 2617,23 | 7,15 |
| Conexión n153 | 2616,88 | 7,63 |
| Conexión n154 | 2616,52 | 7,78 |
| Conexión n155 | 2616,17 | 7,61 |
| Conexión n156 | 2615,82 | 7,54 |
| Conexión n157 | 2615,47 | 7,44 |
| Conexión n158 | 2615,11 | 7,58 |
| Conexión n159 | 2614,76 | 8,13 |

| | | |
|---------------|---------|-------|
| Conexión n160 | 2614,41 | 9,86 |
| Conexión n161 | 2614,06 | 10,31 |
| Conexión n162 | 2613,7 | 10,88 |
| Conexión n163 | 2613,35 | 11,54 |
| Conexión n164 | 2612,09 | 12,27 |
| Conexión n165 | 2610,82 | 12,73 |
| Conexión n166 | 2609,56 | 12,37 |
| Conexión n167 | 2608,3 | 11,61 |
| Conexión n168 | 2607,03 | 11,03 |
| Conexión PTAP | 2606,12 | 10,74 |

Fuente: software EPANET 2.0

La tabla 21 son datos extraídos del proceso de modelación, hace referencia a los nodos que componen el tramo de tubería de la red de aducción con intervalos de 20 m para un total de 169 nodos. Específicamente en los nodos se evalúa la presión y la altura en m.s.n.m

Tabla 22

Tabla resumen red de líneas de la red de aducción donde se establecen los valores de caudal, velocidad, longitud, diámetro según los datos extraídos por el software de modelación en condiciones actuales del sistema

| Tabla de Red – Líneas | | | | | |
|------------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|----------------------|---------------------------|
| ID Línea | Longitud (m) | Diámetro (mm) | Caudal LPS | Velocidad m/s | Factor de Fricción |
| Tubería p22 | 19.97 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p23 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p24 | 20 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p25 | 20.01 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p26 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p27 | 20 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p28 | 19.7 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p29 | 20 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p30 | 20.3 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p31 | 19.89 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |

| | | | | | |
|-------------|-------|--------|-------|------|-------|
| Tubería p32 | 20 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p33 | 20.1 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p34 | 20.01 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p35 | 20 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p36 | 20 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p37 | 20.04 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p38 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p39 | 20 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p40 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p41 | 20.14 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p42 | 20.14 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p43 | 20.04 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p44 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p45 | 20.1 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p46 | 20.15 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p47 | 20.15 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p48 | 20.15 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p49 | 20.15 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p50 | 19.86 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p51 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p52 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p53 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p54 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p55 | 20.01 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p56 | 20.04 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p57 | 20.01 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p58 | 20 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p59 | 20.01 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p60 | 20.01 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p61 | 20.04 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p62 | 20.05 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p63 | 20.04 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p64 | 20.04 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p65 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |

| | | | | | |
|-------------|-------|--------|-------|------|-------|
| Tubería p66 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p67 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p68 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p69 | 19.96 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p70 | 20 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p71 | 20 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p72 | 19.91 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p73 | 20.82 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p74 | 20.79 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p75 | 20.16 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p76 | 20.09 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p77 | 20.12 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p78 | 20.07 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p79 | 20.04 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p80 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p81 | 20.04 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p82 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p83 | 20.11 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p84 | 20.06 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p85 | 20.05 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p86 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p87 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p88 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p89 | 19.95 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p90 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p91 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p92 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p93 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p94 | 19.92 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p95 | 20.01 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p96 | 19.6 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p97 | 20.22 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p98 | 20.21 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p99 | 20.2 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |

| | | | | | |
|--------------|-------|--------|-------|------|-------|
| Tubería p100 | 20.17 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p101 | 20.16 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p102 | 20.13 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p103 | 20.07 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p104 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p105 | 19.99 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p106 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p107 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p108 | 19.98 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p109 | 20.01 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p110 | 20.04 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p111 | 19.76 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p112 | 20.06 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p113 | 21.68 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p114 | 21.31 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p115 | 20.28 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p116 | 20.17 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p117 | 20.22 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p118 | 20.23 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p119 | 20.1 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p120 | 20.03 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p121 | 19.92 | 100.84 | 64,97 | 8,13 | 0,012 |
| Tubería p122 | 20.02 | 100.84 | 64,97 | 8,13 | 0,012 |
| Tubería p123 | 19.91 | 100.84 | 64,97 | 8,13 | 0,012 |
| Tubería p124 | 20.02 | 100.84 | 64,97 | 8,13 | 0,012 |
| Tubería p125 | 19.87 | 100.84 | 64,97 | 8,13 | 0,012 |
| Tubería p126 | 20 | 100.84 | 64,97 | 8,13 | 0,012 |
| Tubería p127 | 20.01 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p128 | 20.03 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p129 | 19.85 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p130 | 20.01 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p131 | 20.02 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p132 | 19.98 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p133 | 20.02 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |

| | | | | | |
|--------------|-------|--------|-------|------|-------|
| Tubería p134 | 19.99 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p135 | 20 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p136 | 20.03 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p137 | 20.02 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p138 | 20.03 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p139 | 20.02 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p140 | 20.03 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p141 | 20.12 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p142 | 19.96 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p143 | 20.03 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p144 | 20.03 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p145 | 20.05 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p146 | 19.82 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p147 | 19.05 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p148 | 18.1 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p149 | 19.07 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p150 | 19.76 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p151 | 20.03 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p152 | 20.02 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p153 | 20.01 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p154 | 20 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p155 | 19.91 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p156 | 20 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p157 | 19.99 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p158 | 19.82 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p159 | 20.05 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p160 | 20 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p161 | 20.02 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p162 | 19.88 | 193.23 | 64,97 | 2,22 | 0,014 |
| Tubería p163 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p164 | 20.07 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p165 | 20.02 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p166 | 19.98 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p167 | 20.01 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |

| | | | | | |
|--------------|-------|---------------|-------|-------------|-------|
| Tubería p168 | 14.52 | 148.46 | 64,97 | 3,75 | 0,013 |
| Tubería p169 | | 193.23 | | 2,74 | |

Fuente: software EPANET 2.0

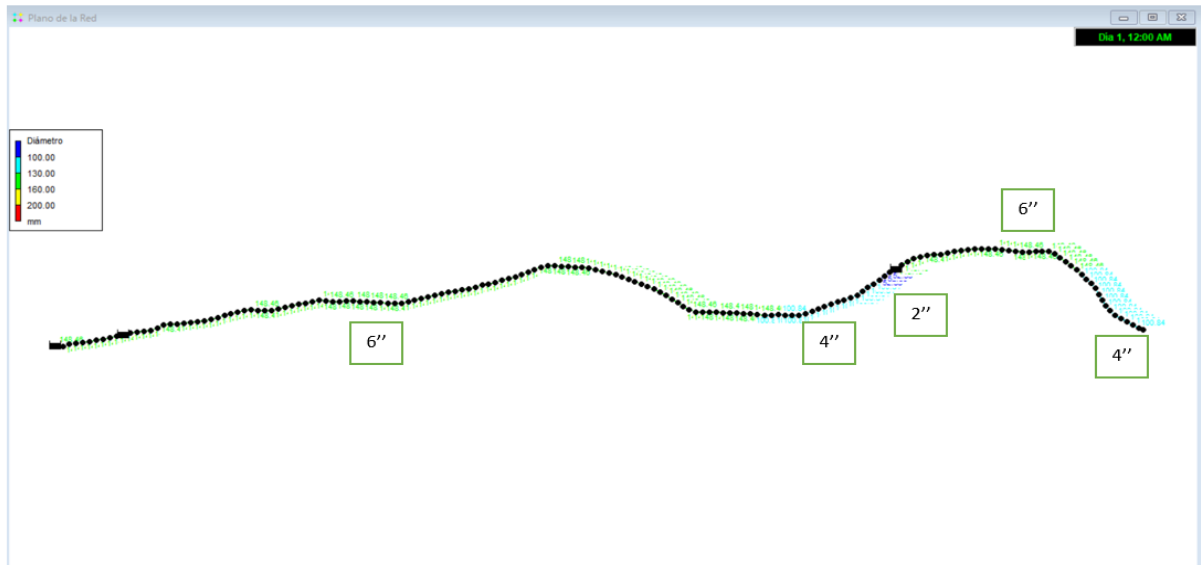
De acuerdo a la tabla 22 son datos extraídos por medio del software de modelación, específicamente hace referencia a los conductos que están conectados a cada uno de los nodos en donde se analizan variables como longitud (m), diámetro (mm), caudal (l/s), velocidad (m/s), y el factor de fricción. De acuerdo a los datos obtenidos se puede corroborar información de funcionamiento actual del sistema de aducción, se obtiene un diámetro mayor en la línea de aducción de 193.23 mm 8'' donde el sistema está transportando una demanda base de 64.97 l/s lo cual afecta el proceso de tratamiento de las demás estructuras produciendo un caudal de excesos que no tiene una adecuada disposición final, de esta manera se necesita realizar una reducción en cuanto al diámetro de la tubería para transportar el caudal necesario al año proyectado el cual es un equivalente a 26.978 l/s, la velocidad de flujo de 2,74 m/s la cual permite el arrastre de partículas sedimentables.

2.6.1. Propuesta de optimización línea de aducción municipio Belén – Boyacá

De acuerdo al análisis realizado anteriormente sobre las condiciones de funcionamiento en estado actual del sistema de aducción se plantea como propuesta de optimización el trazado de una nueva red de tubería con reducción del diámetro para transportar el caudal requerido al año de proyección (26.978l/s) y la selección del material de PVC, debido a que la red también presenta perforaciones por parte de la comunidad para realizar sus actividades agrícolas y por otra parte el sistema también ya cumple su periodo de diseño. Se realiza el proceso de modelación obteniendo los siguientes resultados.

Figura 16

Diámetro de la tubería como propuesta de optimización de la red de aducción

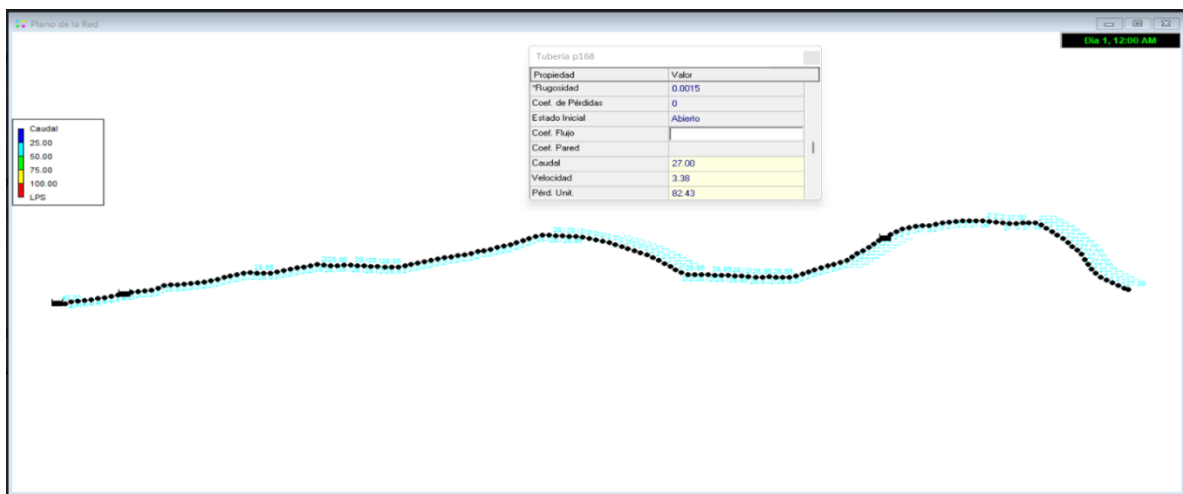


Fuente: software EPANET 2.0

De acuerdo a la figura 16 se plantea la red con una reducción de diámetro con el objetivo de transportar la demanda base proyectada y brindar mayor eficiencia a las demás estructuras continuas mejorando el proceso tanto de pretratamiento y tratamiento.

Figura 17

Demanda base necesaria para el funcionamiento de la red de aducción y demás estructuras del sistema de acueducto



Fuente: software EPANET 2.0

Al realizar un nuevo trazado de la red de aducción reduciendo los diámetros existentes se puede evidenciar que la red transportaría un caudal de 27 lps lo cual sería suficiente y consecuente con el dato obtenido de demanda base para el año 2048 (26.978 lps), de esta manera la red estaría en mejor funcionamiento, disminuiría el caudal de excesos y se estaría supliendo la necesidad de consumo de los 12.381 habitantes.

Conclusiones

Actualmente la bocatoma capta un mayor caudal del concesionado por la CAR (Corporación autónoma regional de Boyacá), lo cual estará afectando las estructuras que componen el sistema de acueducto, se hace necesario un replanteo de esta estructura para reducir su proceso de captación.

En atención a los resultados de la evaluación de la red de aducción para el sistema de acueducto del municipio de Belén - Boyacá, se determina la selección de la alternativa, la cual consiste en emplear como material Policloruro Vinilo PVC RDE 21 como diámetro máximo 6'' necesario para transportar el caudal requerido.

Bajo la modelación hidráulica se obtiene un análisis que permite brindar continuidad al sistema de acuerdo a cada una de sus variables comparándolas con la resolución 0330 de 2017.

En cuanto al diagnóstico de la red de aducción se determinó que el sistema cumple con lo establecido a los parámetros de velocidad y presión, pero el sistema presenta inconsistencia en lo que respecta a caudal y diámetro de la tubería debido a que se está transportando un mayor caudal al requerido para el suministro de sus habitantes.

Según los datos obtenidos por medio del modelo existen puntos de presión que están por debajo de los 5 m.c.a. de esta manera el sistema no estaría cumpliendo con lo planteado en la normatividad por tanto la entidad pertinente del acueducto deberá hacer un replanteo en estos puntos para verificar la profundidad hidráulica de la tubería y adecuarla para mejorar la eficiencia en el sistema en cuanto a la presión.

De acuerdo a los datos obtenidos de la modelación de la red de distribución se infiere que es necesario realizar un estudio más detallado con respecto a la topografía y validación de la información de los usuarios del municipio de Belén debido a su crecimiento poblacional.

La propuesta de optimización plantea reducción de diámetros en la red de aducción para transportar el caudal correspondiente lo cual generara una reducción de costos y mejoraría la eficiencia del sistema.

Recomendaciones

Para un funcionamiento óptimo se recomienda la constante supervisión a la unidad de aducción con el fin de mantener un sistema eficiente y funcional todo el tiempo.

Debido a que la red en su tramo inicial y aguas arriba estará expuesta a daños por posible arrastre de material y la actividad agropecuaria se hace necesario que la entidad pertinente declare determinada cantidad de terreno como zona de reserva natural para que de esta manera se respalde el cuidado del componente de aducción.

Es necesario implementar las válvulas de ventosas y las válvulas de purga para garantizar un flujo óptimo de agua en la tubería ubicados en los puntos requeridos por el sistema.

Recomendar una intervención integral que incluya procesos de verificación y mantenimiento para reparar algunos tramos de tubería, en el caso en que no fuera posible realizar el cambio de red de aducción en el sistema de acueducto.

Referencias

- Abril, J. y Beltrán, A. (2014). *Análisis de la demanda y la red de distribución de agua en el municipio de Aracataca, Colombia*. (Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia). <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/9afaccb1-717b-4a29-a5ed-6bb5ec3f890c/content>.
- Caicedo, D. y Garcés, J. (2016). *Diagnostico técnico del acueducto urbano del municipio de Quipile Cundinamarca*. (Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia). <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/9afaccb1-717b-4a29-a5ed-6bb5ec3f890c/content>.
- López Cualla, R (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados: Consumo de agua*. (2ª Ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017, 08 de junio) *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, Título B. Sistemas de acueducto*. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017, 08 de junio). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2017*. [Resolución 0330 de 2017]. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021, 09 de diciembre). *Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017*. [Resolución 0799 de 2021]. <https://www.acofi.edu.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-799-de-2021.pdf>