

Diagnóstico de las estructuras de captación, desarenador, línea de aducción y conducción, del acueducto ubicado en el corregimiento La Bella, en la ciudad de Pereira

Sebastián Rodríguez Arango.

1088308755

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Pereira, Colombia

2023

Diagnóstico de las estructuras de captación, desarenador, línea de aducción y conducción, del acueducto ubicado en el corregimiento La Bella, en la ciudad de Pereira

Sebastián Rodríguez Arango.

1088308755

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director (a):

Sergio Andrés Gutiérrez Zarate

Línea de Investigación:

Sistemas hidráulicos

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Pereira, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado _____, Cumple con los requisitos para optar Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Pereira, 02 noviembre 2023.

Contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introduccion.....	12
1. Justificación	14
2. Objetivos.....	16
3. Formulación y planteamiento del problema	17
4. Estado del arte	22
5. Marco teórico.....	28
6. Diseño metodológico.....	38
7. Resultados y analisis de resultados.....	57
8. Conclusiones.....	103
Referencias Bibliográficas	105
Anexos.....	110

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Ubicación regional del corregimiento la bella.</i>	18
Figura 2. <i>Mapa corregimiento la bella.</i>	19
Figura 3. <i>Ubicación de elementos hidráulicos.</i>	21
Figura 4. <i>Bocatoma de fondo cabuyales.</i>	29
Figura 5. <i>Desarenador.</i>	29
Figura 6. <i>Bocatoma de fondo.</i>	59
Figura 7. <i>Bocatoma cabuyales.</i>	59
Figura 8. <i>Desarenador.</i>	60
Figura 9. <i>Línea de aducción.</i>	61
Figura 10. <i>Tubería de polietileno.</i>	62
Figura 11. <i>Bocatoma de fondo san pablo.</i>	63
Figura 12. <i>Desarenador san pablo.</i>	63
Figura 13. <i>Cuarto de máquinas.</i>	64
Figura 14. <i>Sistema de bombeo.</i>	64
Figura 15. <i>Tanque de almacenamiento.</i>	65
Figura 16. <i>Tanques de almacenamiento.</i>	66
Figura 17. <i>Planta de tratamiento de agua potable.</i>	67
Figura 18. <i>Planos en planta y sección de la bocatoma.</i>	69
Figura 19. <i>Planos en planta y sección del desarenador.</i>	70
Figura 20. <i>Perfil de la línea de aducción.</i>	71

Figura 21. <i>Perfil de la línea de conducción.</i>	72
Figura 22. <i>Censo y proyección poblacional del corregimiento la bella.</i>	74
Figura 23. <i>Línea de conducción modelada en epanet 2.</i>	88
Figura 24. <i>Línea de conducción, Longitud y cotas de nivel.</i>	89
Figura 25. <i>Línea de conducción, Demanda base y diámetros de tubería.</i>	90
Figura 26. <i>Línea de conducción, Velocidad y presión.</i>	91
Figura 27. <i>Diagrama de isoclinas de presión.</i>	92
Figura 28. <i>Línea de conducción, población futura a 25 años.</i>	100
Figura 29. <i>Línea conducción, velocidad y presión en línea.</i>	101
Figura 30. <i>Línea de conducción con tubería de 6 pulg. en todo su tramo.</i>	102
Figura 31. <i>Mapa de isoclinas de presiones y velocidades con tubería de 6 pulgadas en todo el tramo.</i>	102

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Procedimiento metodológico Objetivo 1.</i>	41
Tabla 2. <i>Procedimiento metodológico Objetivo 2.</i>	41
Tabla 3. <i>Procedimiento metodológico Objetivo 3.</i>	42
Tabla 4. <i>Procedimiento metodológico. Objetivo 1</i>	42
Tabla 5. <i>Procedimiento metodológico. Objetivo 2.</i>	43
Tabla 6. <i>Procedimiento metodológico. Objetivo 3.</i>	44
Tabla 7. <i>Red de distribución.</i>	67
Tabla 8. <i>Porcentaje de suscriptores según uso de suelo.</i>	73
Tabla 9. <i>Censos de Pereira territorio sostenible población por comunas y corregimientos.</i>	73
Tabla 10. <i>Tasas de crecimiento por métodos: Aritmético, Geométrico y Exponencial..</i> 75	75
Tabla 11. <i>Proyección de población al año 2024.</i>	75
Tabla 12. <i>Proyección de población años 2024-2049.</i>	77
Tabla 13. <i>Usuarios Activos.</i>	78
Tabla 14. <i>Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.</i>	78
Tabla 15. <i>Datos de campo de la bocatoma de fondo.</i>	79
Tabla 16. <i>Cálculos realizados de la bocatoma de fondo.</i>	80
Tabla 17. <i>Cálculos realizados de la bocatoma de fondo.</i>	81
Tabla 18. <i>Diseño de línea de aducción.</i>	83

Tabla 19. <i>Datos de campo de desarenador.</i>	84
Tabla 20. <i>Cálculos realizados del desarenador.</i>	85
Tabla 21. <i>Calculo cámara de aquietamiento.</i>	86
Tabla 22. <i>longitud por tramos de la línea de conducción.</i>	92
Tabla 23. <i>Demanda, Altura y presión de la línea de conducción.</i>	93
Tabla 24. <i>Velocidades y perdidas en la línea de conducción.</i>	94
Tabla 25. <i>Demanda, Altura; Presión de línea de conducción proyectada.</i>	95
Tabla 26. <i>Velocidad y perdidas de línea de conducción proyectada.</i>	95
Tabla 27. <i>Diámetros y longitudes de línea de conducción proyectada.</i>	96
Tabla 28. <i>Presiones y altura de la línea de conducción proyectada.</i>	97
Tabla 29. <i>Velocidades y perdidas proyectadas.</i>	97

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por brindarme el apoyo para estudiar, por todos los sacrificios que han hecho a lo largo de este tiempo que llevo formándome, a los profesores por compartir sus conocimientos con los estudiantes, a mis compañeros que me colaboraron todo este tiempo, a comprender mejor lo visto y aprender cada día más.

Sebastián Rodríguez Arango

Resumen

Es esencial subrayar que para la población en general, la disponibilidad de un servicio de acueducto se erige como una necesidad. Este servicio debe operar con eficiencia, extender su cobertura de manera óptima y gestionar el recurso hídrico de forma ejemplar en beneficio de toda la comunidad.

En este contexto, es indispensable la implementación de sistemas de acueducto, entendido como una estructura destinada a la captación de agua superficial y su posterior conducción, sometiendo dicho recurso a un tratamiento que garantice la obtención de agua potable.

El presente documento se centra en el estudio y análisis hidráulico de la infraestructura actual y el funcionamiento del acueducto que abastece el corregimiento de La Bella, en la ciudad de Pereira. Esta evaluación se llevará a cabo mediante la recopilación de datos obtenidos a través de múltiples visitas de inspección in situ y el suministro de información por parte de la entidad encargada de los servicios públicos.

Palabras claves: Diagnostico, sistemas hidráulicos, plantas de tratamiento, agua potable.

Abstract

It is essential to emphasize that for the general population, the availability of an aqueduct service is a necessity. This service must operate efficiently, extend its coverage optimally and manage the water resource in an exemplary manner for the benefit of the entire community.

In this context, the implementation of aqueduct systems is essential, understood as a structure intended for the collection of surface water and its subsequent conduction, subjecting said resource to a treatment that guarantees the obtaining of drinking water.

This document focuses on the study and hydraulic analysis of the current infrastructure and the operation of the aqueduct that supplies the town of La Bella, in the city of Pereira. This evaluation will be carried out by collecting data obtained through multiple on-site inspection visits and the provision of information by the entity in charge of public services.

Introducción

Este Proyecto de grado se centra en la realización de un diagnóstico hidráulico de las estructuras clave en el sistema de abastecimiento de agua, incluyendo las instalaciones de captación, desarenador, así como la línea de aducción y conducción. No existe un diagnóstico técnico de estudios hidráulicos y de infraestructura, la importancia de estas estructuras para garantizar un suministro confiable y eficiente de agua no puede subestimarse, y su óptimo funcionamiento es esencial para satisfacer las demandas crecientes de la población. A través de este estudio, se busca identificar posibles deficiencias, evaluar el rendimiento hidráulico y proponer mejoras que contribuyan a asegurar un suministro de agua efectivo y sostenible en el corregimiento. Este análisis no solo aborda los desafíos actuales, sino que también sienta las bases para futuras intervenciones que optimicen la gestión hídrica en beneficio de la comunidad y el medio ambiente.

El trabajo se organiza en siete secciones distintas. La primera engloba los capítulos preliminares, detallando justificación. La segunda sección aborda los objetivos en general, en la tercera sección la formulación y planteamiento del problema.

La sección cuarta describe el estado actual de los acueductos en la región, nacional e internacional, en la quinta sección el marco teórico, desglosando los conceptos básicos para el diagnóstico del acueducto la bella.

En la sexta sección, se examinan los marcos metodológicos que respaldaron el estudio técnico durante el diagnóstico. En la séptima sección los resultados y análisis correspondientes se

presentan en este apartado, desglosando componentes y variables con sus respectivos diagnósticos.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones se encuentran en la última sección del documento. Se proponen acciones técnicas, especialmente centradas en mejorar el servicio del acueducto la bella, por consiguiente, la calidad de vida de los habitantes del sector.

1. Justificación

Se lleva a cabo una evaluación y un diagnóstico del funcionamiento del acueducto Acuabella, que presta el servicio de abastecimiento de agua potable y alcantarillado en el corregimiento La Bella. Este sistema crucial se nutre principalmente de las aguas provenientes de la microcuenca Cabuyales, donde la bocatoma desempeña un papel esencial al capturar agua a una tasa constante de 6,2 litros por segundo.

El proyecto se justifica en virtud del constante crecimiento del corregimiento de La Bella, evidenciando la necesidad de evaluar la capacidad actual del acueducto para abastecer a la población existente y anticipar las demandas futuras. Este análisis es crucial para asegurar un suministro constante de servicios, dado el crecimiento continuo identificado en la zona.

El objetivo primordial de esta evaluación es llevar a cabo un análisis detallado de las siguientes estructuras: captación, desarenador, línea de aducción y conducción, los diversos parámetros que inciden en el funcionamiento del sistema de acueducto. Estos parámetros incluyen, entre otros, la eficiencia operativa, capacidades hidráulicas como caudal de diseño, velocidades, tratamiento a los lodos del desarenador, golpes de ariete y cavitación en las líneas de aducción y conducción, la infraestructura asociada. Mediante esta evaluación, se busca comprender a fondo el estado actual de las estructuras y su componente hidráulico.

La importancia de este estudio se refleja en su impacto directo en la comunidad del corregimiento La Bella y sus alrededores. Garantizar que las estructuras del acueducto cumplan con todos los parámetros y estándares requeridos por la normativa nacional vigente,

específicamente la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017, es esencial para lograr un suministro de agua seguro y confiable. Además, este análisis proporcionará información valiosa que puede utilizarse para tomar decisiones informadas con respecto a mejoras, optimizaciones o posibles intervenciones necesarias para mantener y mejorar la calidad del servicio y la disponibilidad del agua en el corregimiento.

1.1 Pertinencia social

El diagnóstico del acueducto, centrado en mejorar la eficiencia y accesibilidad, se convierte en un aliado crucial para Acuabella, la empresa de servicios públicos comprometida con el abastecimiento de agua y la gestión del alcantarillado. Este análisis profundo del sistema hidráulico no solo busca optimizar las operaciones de la empresa, sino también impactar positivamente en la calidad de vida de la comunidad local, quienes son los destinatarios finales del servicio. Al perfeccionar las condiciones de suministro, el proyecto busca directamente elevar el bienestar de los hogares en la población local, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al fortalecimiento de la comunidad.

2. Objetivos

2.1 General

Realizar un diagnóstico hidráulico de las estructuras de captación de la micro cuenca cabuyal, desarenador, línea de aducción y conducción del acueducto.

2.2 Específicos

- 1) Recopilar y organizar la información primaria y secundaria correspondiente en el acueducto del corregimiento La Bella, ubicado en Pereira.
- 2) Realizar una evaluación hidráulica de cada uno de los componentes del sistema, considerando la población actual y futura en un horizonte de 25 años, y sus necesidades.
- 3) Proponer alternativas de soluciones y mejora.

3. Formulación y planteamiento del problema

El sistema de abastecimiento de agua potable, juega un papel vital en la satisfacción de las necesidades básicas de la comunidad local. Sin embargo, en vista de la importancia de este sistema, existe una necesidad apremiante de evaluar de manera integral y detallada el estado y funcionamiento de sus componentes fundamentales: las estructuras de captación, el desarenador, la línea de aducción y la conducción, no se cuenta con un análisis exhaustivo y actualizado que revele las posibles deficiencias, limitaciones y áreas de mejora que puedan afectar su rendimiento y, por ende, la calidad del servicio a la población.

Este proyecto radica en el crecimiento constante del corregimiento de La Bella, lo que resalta la imperante necesidad de examinar la capacidad actual del acueducto para proveer adecuadamente a la población actual y anticipar las futuras demandas. Este análisis resulta fundamental para garantizar una provisión ininterrumpida de servicios, especialmente dada la persistente expansión identificada en la zona.

La falta de un diagnóstico preciso y en profundidad de estas estructuras conlleva a una pérdida en prestación del servicio. Los posibles deterioros pueden resultar en interrupciones del suministro de agua, pérdida de calidad, fugas y, en casos extremos, afectar la salud y bienestar de los residentes. Además, la obsolescencia y falta de optimización pueden contribuir a la ineficiencia operativa y al desperdicio de recursos hídricos, lo que subraya la necesidad urgente de una evaluación técnica y detallada.

Por lo tanto, se pretende llenar el vacío de conocimiento y abordar las incertidumbres existentes en torno al estado y operatividad del sistema de abastecimiento de agua en el corregimiento La Bella. La realización de un diagnóstico integral y detallado de las estructuras de captación, desarenador, línea de aducción y conducción y tanque de almacenamiento se convierte en un imperativo para asegurar la continuidad y calidad del suministro de agua a la comunidad local.

El corregimiento de La Bella, ubicado en la ciudad de Pereira, se encuentra entre la divisoria de aguas de los Ríos Otún y Consotá, en la latitud $4,7637^{\circ}$ N y longitud $-75,63736^{\circ}$ O, a una altitud de 1807 m.s.n.m. Situado cerca del corregimiento La Estrella, presenta una temperatura media de 18°C , viento del este a 14 km/h y una humedad del 72%. Tiene una extensión de 2.194 Ha en las once veredas que lo componen, la vereda mundo nuevo es la de mayor extensión con 521 Ha y la bella la de menor extensión con casi 100 Ha, las otras veredas que lo integran son: vista hermosa, morrón, la estrella, la colonia. Etc. (Municipios, 2023).

Figura 1.

Ubicación regional del corregimiento la bella.



Nota: Imagen satelital del corregimiento de La Bella, adoptada de **Google Maps**, (2023).

Figura 2.

división política de corregimientos podemos observar los diferentes corregimientos de Pereira incluido el Mapa del corregimiento la bella.



Nota. Esta figura muestra la ubicación del corregimiento de La Bella. Adoptado de alcaldía social de Pereira, (2023).

la empresa asociación de suscriptores del servicio de acueducto y alcantarillado del corregimiento la bella E.S.P. esta entidad, se dedica a la captación, tratamiento y distribución de agua, presta el servicio de acueducto a las veredas la bella, la estrella, morrón, el rincón y la colonia con una población estimada de 3.195 habitantes para un total de 639 suscriptores. (Acuabella, 2023).

La actividad principal de la Asociación de Suscriptores del Servicio de Acueducto y Alcantarillado del Corregimiento La Bella E.S.P es la captación, tratamiento y distribución de agua. El sistema de acueducto está conformado por las siguientes estructuras, preexistente con una antigüedad aproximada de 40 años: fuentes de abastecimientos, (cabuyal y san pablo), captación superficial, y sus anexidades, red de aducción, sistema de bombeo, tanques de almacenamiento, planta de tratamiento y red de distribución. (Acuabella, 2023).

Figura 3.

Ubicación de elementos hidráulicos.



Nota. Imagen satelital, realizada en Google Earth, (2023). Donde se logra visualizar la ubicación actual de los elementos hidráulicos. **Fuente:** Elaboración propia.

3.1 Formulación del problema

¿Cuál es el estado hidráulico de las estructuras de captación, desarenador, línea de aducción y conducción del acueducto ubicado en el corregimiento La Bella, en la ciudad de Pereira, con respecto a la norma vigente?

4. Estado del arte

Para llevar a cabo esta sección del trabajo, se realizó una búsqueda en bases de datos y repositorios de universidades tanto a nivel regional, nacional como internacional, sobre diversos diagnósticos. A continuación, presentamos un análisis de las áreas de estudio relevantes:

4.1 Antecedentes Internacionales

4.1.1 Diagnóstico de acueductos rurales abastecidos de fuentes subterráneas.

Caso de estudio El Calabacito, Provincia de Herrera, Panamá (Melgar, Tejedor, & Deago, 2021) En este estudio se destaca la importancia del acceso a agua limpia y saneamiento, como lo establece las Naciones Unidas en su Objetivo 6 de Desarrollo Sostenible. Se subraya cómo el suministro confiable de agua de calidad es esencial para el bienestar social y el desarrollo económico.

4.1.2 Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México.

El crecimiento de la población y la expansión urbana en las mega ciudades, como la Ciudad de México, han aumentado la demanda de agua, lo que impacta negativamente en las cuencas y acuíferos locales y vecinos que abastecen a la ciudad. Esto conlleva a daños económicos y ambientales. El estudio se centra en diagnosticar las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México y analizar los factores que contribuyen a su vulnerabilidad, incluyendo aspectos relacionados con la infraestructura, la gestión legal y administrativa, y otros aspectos relevantes para la sostenibilidad de las fuentes. (Escolero, Martínez, & Kralisch, 2016)

4.1.3 Diagnóstico de la cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica

Se ha realizado un diagnóstico sobre la cobertura y calidad del agua potable en Costa Rica. Se utilizaron datos del Laboratorio Nacional de Aguas y la metodología de la OPS. Los resultados indican que el 97% de la población tiene acceso al agua, pero solo el 76% recibe agua de calidad. Las deficiencias principales se encuentran en acueductos con menos de 10,000 habitantes, especialmente en áreas rurales. Se recomienda establecer un programa nacional para mejorar la calidad del agua, con niveles de dirección y operación que involucren a diversas entidades, incluyendo el Ministerio de Salud, la OPS y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), así como operadores locales y laboratorios privado. (Darner, 2000).

4.2 Antecedentes Nacionales

4.2.1 Diagnóstico de la infraestructura de la red de acueducto de las veredas Charcón, Brasil, Florida, Cuatro Esquinas y Los Medios del municipio del Carmen de Apicala.

Este trabajo se enfoca en mejorar la calidad de vida en zonas rurales, específicamente en el municipio del Carmen de Apicala. Se destaca la importancia de garantizar un suministro adecuado de agua potable. (Rincon & Novoa, 2022)

4.2.2 Metodología para el diagnóstico integral de acueductos rurales como complemento a los instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano.

Este proyecto se concentra en desarrollar una metodología de diagnóstico para identificar problemas de infraestructura y potabilización en acueductos rurales. Se subraya la necesidad de complementar las actividades de inspección y control de la autoridad competente. (Duque, 2019)

7.3.3 Diagnóstico y optimización del sistema de acueducto veredal asuarcopsa de anapoima entre la bocatoma y la planta de tratamiento.

Su objetivo es mejorar las condiciones actuales del acueducto mediante un análisis que incluye la evaluación de la población servida, el estudio de las fuentes de agua, la evaluación de la infraestructura actual y la presentación de propuestas de mejora. El propósito principal es garantizar la calidad del recurso hídrico y la continuidad del servicio. Durante este proyecto, se han detectado ciertos problemas y deficiencias en el sistema de acueducto ASUARCOPSA, que se han identificado en función de los requisitos de diseño y operación establecidos en la

normativa vigente, específicamente la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017. (Alexander & Daniel, 2019).

4.3.4 Diagnostico y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del acueducto FAIMSYS del municipio de Cachipay

La planta de tratamiento de agua potable del acueducto FAIMSYS en Cachipay, Cundinamarca, se construyó hace más de 30 años como un sistema de abastecimiento de agua por gravedad. Incluye una bocatoma, una línea de aducción hasta un desarenador y una línea de conducción a la planta de tratamiento de agua potable. Es esencial evaluar su eficacia y conformidad con las normativas RAS 0330 de 2017 para determinar si requiere mejoras y optimizaciones antes de 2049. La metodología incluirá levantamientos, análisis de agua y otros datos importantes, por lo que es crucial que el municipio proporcione la información necesaria para llevar a cabo el proyecto. (Castro Ovalle & Serrano Aguirre, 2019)

4.3.5 Diagnóstico de Sistemas de Acueductos Rurales en el Municipio de Victoria - Caldas, con caso aplicativo de diseño hidráulico de tratamiento de agua potable para un sistema que lo requiera.

En este proyecto se caracterizaron 14 acueductos rurales en Victoria Caldas. Se realizaron visitas técnicas para evaluar su infraestructura y las microcuencas de abastecimiento. Se aplicaron encuestas a los responsables y a la comunidad para identificar deficiencias y necesidades. Se propuso una intervención para mejorar un acueducto con problemas de infraestructura y calidad del agua. Este estudio es importante ya que, a pesar de la abundante

agua en la región, gran parte de la población rural carece de servicio de agua potable debido a problemas en los acueductos rurales. (Quintero Jimenez, 2022).

4.3 Antecedentes Regionales

4.3.1 Diagnóstico técnico del acueducto comunitario Santiago Londoño, en el municipio de Dosquebradas, Risaralda

Se llevó a cabo un análisis técnico-ambiental del sistema de abastecimiento de agua en el acueducto comunitario Santiago Londoño. Se resalta la importancia de abordar los problemas de calidad del agua y mejorar la capacidad técnica de los sistemas de tratamiento. (Ortiz & Bolivar, 2014)

4.3.2 Construcción Diagnóstico técnico del acueducto comunitario de San Fernando del municipio de Dosquebradas

Este proyecto se enfoca en realizar un diagnóstico técnico completo del sistema de acueducto en San Fernando, Dosquebradas, con el objetivo de mejorar el servicio a la comunidad y asegurar una infraestructura adecuada. (Lerma, 2014)

4.3.3 Diagnóstico y evaluación de los componentes del sistema de potabilización y la calidad del agua en el Municipio de Mistrató, departamento de Risaralda

Este trabajo de grado realiza un diagnóstico técnico del sistema de potabilización y calidad del agua en Mistrató, Risaralda. Se basa en la normativa vigente y estudios regionales anteriores. (Holguin & Palacio, 2020).

5. Marco teórico

se explorarán conceptos clave relacionados con la infraestructura de acueductos, la eficiencia hidráulica y los factores que influyen en el rendimiento del sistema. Este marco teórico sienta las bases para comprender y abordar de manera integral los desafíos hidráulicos que enfrenta el acueducto objeto de nuestro análisis.

5.1.1 Estructuras de Captación y Desarenador

En el ámbito de la ingeniería hidráulica, se ha investigado ampliamente sobre el diseño, funcionamiento y mantenimiento de las estructuras de captación y desarenado en sistemas de abastecimiento de agua. El sistema de captación recoge tanto fuentes de agua superficial como subterránea para abastecer a la población con aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas. El Tanque desarenador cumple la función de separar arena y partículas gruesas del agua cruda, evitando depósitos en las estructuras de conducción, protegiendo las bombas contra la abrasión y previniendo sobrecargas en las etapas subsiguientes del tratamiento. La desarenación se concentra típicamente en eliminar partículas mayores a 0,2 mm. (Emserpla, 2014).

Figura 4.

Bocatoma de fondo cabuyales.



Nota. Condiciones actuales de la bocatoma del coregimiento la Bella. **Fuente:** Elaboración propia.

Figura 5.

Desarenador.



Nota. Tanque de sedimentación, este tiene como función remover y separar la arena y los restos de material sólido. **Fuente:** Elaboración propia.

5.1.2 Línea de Aducción

El conducto que lleva el agua desde la bocatoma hasta el desarenador se caracteriza por operar con flujo a superficie libre, con la particularidad de que, durante periodos de aguas elevadas, su funcionamiento cambia a presión. Este trayecto abarca desde la cámara de derivación hasta el punto de desarenación. (Carlos, 2020).

5.1.3 tanque de almacenamiento

Es una estructura utilizada para almacenar agua potable o tratada antes de ser distribuida a los consumidores finales. Cumple varias funciones como: Almacenamiento, regulación de presión, tratamiento adicional, reserva de emergencia y reducción de costos de bombeo. La capacidad y el diseño de los tanques depende de la población servida y el patrón de consumo.

5.1.4 Diagnóstico en Sistemas de Acueducto

Los diagnósticos en sistemas de acueducto son esenciales para evaluar su estado y desempeño. Se han desarrollado técnicas de inspección y monitoreo que permiten identificar problemas como fugas, deterioro de las estructuras y acumulación de sedimentos. Además, se han propuesto enfoques para evaluar la calidad del agua y garantizar el cumplimiento de las normativas. Identificando una serie de pasos sucesivos para la construcción de información confiable y la propuesta de acciones de mejora que pueden ser objeto de seguimiento, conformar el equipo de trabajo, elaborar el croquis o dibujo del sistema, evaluar los componentes del sistema, identificar riesgos y fallas por componente, priorizar la atención por componente,

formular acciones de mejora, estimar los recursos necesarios, seguimiento a las acciones de mejora. (Ministerio, 2019).

5.1.4 línea de conducción

El elemento del sistema de suministro de agua encargado de trasladar el agua desde el desarenador hasta la planta de tratamiento, el tanque de almacenamiento o directamente a la red de distribución se conoce como línea de conducción. Esta línea presenta diversos tipos de conducciones según su comportamiento hidráulico, que incluyen canales abiertos, conductos cerrados sin presión, y conductos cerrados a presión, donde el agua se impulsa por gravedad o mediante estaciones de bombeo. (Carlos, 2020).

5.1.5 Sistema de suministro de agua para consumo humano

Engloba las estructuras, herramientas, materiales, procedimientos, actividades y el personal involucrado en la captación, conducción, pretratamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución del agua destinada al consumo humano. (Emserpla, 2014).

5.1.7 Optimización de Sistemas de Abastecimiento de Agua

La optimización de sistemas de abastecimiento de agua es un campo de estudio en constante evolución. Se han investigado métodos para mejorar la eficiencia operativa, reducir pérdidas de agua y maximizar la calidad del suministro. La implementación de tecnologías de automatización y control también ha sido un enfoque importante para lograr la optimización. Específicamente, en lo que respecta a los subsistemas de distribución, enfocándonos en el

contexto de un sistema de riego con bombeo directo a la red, se han examinado enfoques metaheurísticos para la optimización. Por otro lado, en relación con los subsistemas de transporte, se ha evaluado la viabilidad del método determinista de optimización mediante programación lineal. (Campos, 2023).

5.1.8 Agua potable o agua para consumo humano:

Es considerada apta para el consumo humano aquella agua que, conforme a las características físicas, químicas y microbiológicas establecidas en este decreto y otras normativas aplicables, puede ser empleada directamente para beber, en la elaboración de alimentos o en prácticas de higiene personal.

5.1.9 Capacidad hidráulica:

El caudal máximo que puede ser transportado por un conducto, canal u otra infraestructura hidráulica representa la capacidad máxima de conducción. Asimismo, denota la máxima capacidad que un componente o estructura hidráulica puede gestionar, manteniendo sus condiciones operativas normales. (market, 2021).

5.1.10 Cavitación:

El concepto de cavitación, que se describe de manera elemental como la generación de burbujas en un líquido, puede acarrear consecuencias adversas en el funcionamiento de una bomba hidráulica. En un sistema hidráulico carente de un diseño adecuado, se propicia la

creación de un vacío que facilita la extracción de aire atrapado en el fluido, dando origen a la formación de diminutas burbujas. (solorzano, 2016).

5.1.11 Golpe de ariete:

El golpe de ariete en tuberías de gravedad se refiere a un fenómeno hidráulico que ocurre cuando se interrumpe bruscamente el flujo de agua en una tubería que transporta líquido por efecto de la gravedad. Esta interrupción puede deberse a la rápida apertura o cierre de válvulas, la detención súbita de una bomba, o cualquier evento que cause una variación brusca en la velocidad del flujo. (market, 2021).

5.1.12 Planta de tratamiento o de potabilización:

Conjunto de infraestructuras, dispositivos y suministros esenciales para llevar a cabo los procedimientos que garanticen el cumplimiento de las normativas de calidad del agua potable.

En resumen, el estado del conocimiento en áreas como ingeniería hidráulica, diagnóstico de sistemas de acueducto y optimización de abastecimiento de agua proporciona una base sólida para la ejecución exitosa del proyecto. La integración de estos conocimientos previos permitirá desarrollar un diagnóstico efectivo y propuestas de mejora sustentadas en la experiencia acumulada en estos campos.

5.2. Marco legal

El ministerio de vivienda, ciudad y territorio expidió la Resolución No. 0330 de 2017 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento

Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”. Que el reglamento técnico contenido en la Resolución 0330 de 2017 debe dar cumplimiento a los lineamientos de los documentos CONPES 3934 de 2018 “Política de Crecimiento Verde” y CONPES 4004 de 2020 “Economía Circular en la Gestión de los Servicios de Agua Potable y Manejo de Aguas Residuales”. (Ministerio de Vivienda, 2021).

Que se hace necesario articular disposiciones de la Resolución 330 de 2017 y la Resolución 0844 de 2018 “Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del título 7, de la parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015”. Resolución No. 0799 Del 09 DIC de 2021. (Ministerio de Vivienda, 2021).

5.2.1 criterio y parámetros de diseño

Los criterios y parámetros que rigen el funcionamiento de un sistema de acueducto están estipulados en el Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), actual resolución 0330 del 2021. (Ministerio de Vivienda, 2021).

ARTÍCULO 53. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021): Requisitos para el diseño de estructuras de captación de agua superficial.

ARTÍCULO 54. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021): Tipo de captaciones de agua superficial. Para la selección del tipo de captación de las aguas superficiales, se deberá efectuar un análisis justificativo del caso y tener en cuenta los tipos de infraestructuras indicadas

a continuación; así mismo su diseño deberá involucrar los cálculos propios de la hidráulica, las estructuras y la geotecnia:

Toma en dique: Se implementa principalmente para pequeños cauces en donde se debe estabilizar el nivel de la fuente mediante un dique de represamiento construido transversalmente y la boca de captación se ubica sobre la cresta del vertedero.

ARTÍCULO 55. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021): Requisitos mínimos de diseño para desarenadores. El componente destinado para la remoción de la arena que está en suspensión en el agua se ubicará lo más cerca posible al sitio de captación, se localizará la tubería de aducción en el eje longitudinal de la estructura, tendrá un dispositivo de rebose mediante un vertedero lateral, ubicado cerca a la entrada del desarenador, no tendrá placa de cubierta sino cerramiento que evite el ingreso de personas no autorizadas o animales y cumplirá los siguientes requerimientos:

Para el diseño del desarenador se requiere prever la eliminación de partículas con diámetro mínimo de 0,1 mm, con una velocidad del asentamiento vertical calculada en función de la temperatura del agua y el peso específico de la partícula, teniendo en cuenta el régimen laminar, de transición o turbulento y se deberá mantener una velocidad horizontal inferior a 0,25 m/s.

El peso específico de las partículas de arena por remover será de 2.65 gr/cm³; La relación entre la velocidad horizontal y la velocidad de asentamiento vertical será inferior a veinte.

El tiempo de retención de las partículas muy finas no debe ser menor de 20 minutos.

Las estructuras deberán contar suficiente almacenamiento de arenas y contar con sistemas hidráulicos con pendientes superiores al 10% para obtener una eficiente evacuación del producto de desarenado.

La unidad debe tener un sistema de paso directo con la capacidad para operar el caudal de diseño cuando la estructura esté en limpieza; además deberá contar con los respectivos descoles a las fuentes receptoras de los caudales de exceso y del producto de desarenado.

ARTÍCULO 56. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021): Aducción y Conducción. Los sistemas de aducción y conducción deben contar con un cálculo hidráulico que contemple diferentes condiciones operativas o de expansión, tomando como referencia el trazado sobre planos topográficos a escala adecuada de la conducción existente, si la hubiere, y de las alternativas de conducción propuestas por el diseñador.

ARTÍCULO 66. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021): Válvulas de ventosa. Las líneas de conducción y distribución deben contar con válvulas ventosas. Éstas se ubicarán en los sitios altos de la red, en cambios bruscos de pendiente de positiva a negativa, en tramos de tubería con pendiente constante y baja ($\leq 3\%$), cada 300 m y en otras zonas en las que se considere necesario, de acuerdo con un análisis técnico. El diámetro mínimo de las ventosas debe ser de 25 mm. En todos los casos, el diámetro deberá calcularse para las condiciones particulares de cada proyecto.

ARTÍCULO 67. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021): Válvulas de purga. Deben instalarse válvulas de purga en los puntos bajos de las redes, con el fin de permitir el lavado y la descarga de las mismas. El diámetro de la tubería de desagüe deberá estar entre 1/3 y

1/4 del diámetro de la tubería principal, con un mínimo de 100 mm para tuberías mayores de 100 mm. Para diámetros menores debe adoptarse el mismo diámetro de la tubería principal. Se deberán verificar las condiciones de presión y protección respectiva de la válvula para evitar su daño.

ARTÍCULO 69. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021): Golpe de ariete en líneas de aducción y conducción. A partir de las condiciones de operación que generen las mayores sobrepresiones y menores subpresiones, se deben desarrollar comprobaciones de golpe de ariete, de manera tal que en función del resultado se establezcan las medidas correctivas para la prevención de este fenómeno.

ARTÍCULO 81. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021): Volumen útil del tanque de almacenamiento. El volumen de diseño debe ser la mayor cantidad obtenida entre la capacidad de regulación y la capacidad de almacenamiento.

5.3 simulación en software EPANET 2.

Las funciones de EPANET 2 incluyen modelación dinámica de precipitaciones y flujo de fluidos, tanto para eventos únicos como simulaciones a largo plazo. El modelo hidrológico aborda precipitaciones variables, evaporación, acumulación de nieve, interceptión e infiltración en el suelo. En cuanto al modelo de tránsito hidráulico, maneja regímenes uniformes, onda cinemática y onda dinámica para diversos escenarios. (Iiama, 2023).

6. Diseño metodológico

6.1. Alcance de la investigación: Descriptiva

los estudios descriptivos al buscar las propiedades, características de grupos y de personas, debe especificarlas, pero solo recogiendo la información sin alterar la variable para analizarlos, como lo es de acuerdo con los objetivos planteados en este trabajo. (Baptista, Fernández, & Hernández, 2014).

6.2 Instrumentos y fuentes utilizadas en la investigación.

6.2.1 Información secundaria

La información secundaria se concentra en la presentación y comunicación. Se solicita a la empresa de servicios públicos, datos relevantes como la proyección de la población actual, contribuciones basadas en el caudal de diseño y la cantidad de usuarios registrados en el sistema de acueducto. Este proceso se lleva a cabo durante la fase de investigación del proyecto. Cabe destacar que se ha establecido contacto previo por vía telefónica con el personal encargado de la empresa de servicios públicos del municipio.

6.2.2 Información primaria

La veracidad de la información proporcionada por la entidad prestadora de servicios se somete a una verificación. Esta validación implica una visita in situ al municipio con el fin de corroborar los datos mencionados.

6.2.3 Información de campo

La recolección de información se materializa mediante múltiples visitas al corregimiento de La Bella. Durante estas visitas, se realiza un registro fotográfico y se documentan los componentes y elementos necesarios para calcular los parámetros esenciales y establecer las condiciones que determinarán el funcionamiento del sistema de captación del acueducto del corregimiento. Esta tarea se lleva a cabo con la ayuda de herramientas físicas y software especializados, que incluyen programas de cálculo y dibujo. Los datos obtenidos en esta fase son fundamentales para el análisis de datos del sistema y, a partir de los resultados obtenidos, se verificará el cumplimiento de la normativa vigente, específicamente la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017.

6.3 Fases del proyecto

6.3.1 Fase de planeación

Se ha llevado a cabo una investigación en repositorios académicos de universidades y recursos especializados disponibles en línea, con el propósito de identificar y analizar una amplia gama de publicaciones, como tesis de pre y post grado, investigaciones académicas, y trabajos relacionados con diversos aspectos de los sistemas de acueductos, abarcando temáticas que incluyen su normativa, diagnósticos, gestión, diseño de instalaciones, problemáticas asociadas y sus impactos en la sociedad.

Este proceso de investigación se ha enfocado en obtener una base sólida de conocimientos que ha resultado fundamental para la formulación del planteamiento del presente trabajo. Además, ha permitido desarrollar marcos teóricos y legales, así como la creación de un

completo estado del arte en el área de estudio. Es importante destacar que esta indagación abarcó múltiples niveles de análisis, considerando perspectivas tanto a nivel internacional, nacional, como regional o local.

6.3.2 Fase exploratoria

En la visita preliminar a las instalaciones de La empresa Asociación de Suscriptores del Servicio de Acueducto y Alcantarillado del Corregimiento La Bella E.S.P, por medio de una reunión con la administradora, se logra obtener información requerida para la elaboración del proyecto, y recopilar la información de la población actual y los suscriptores actuales en el corregimiento.

6.3.3 Fase de ejecución

Se realiza una evaluación hidráulica para analizar el estado actual de la captación principal en Cabuyales. Posteriormente, se procede a la recopilación y extracción de datos relevantes acerca del censo de la población que utiliza los servicios de la Empresa de Servicios Públicos (E.S.P). Estos datos proporcionan una comprensión más precisa de la demanda actual, permitiendo un acercamiento a la realidad del contexto.

6.3.4 Fase de evaluación

La información recopilada se somete a un proceso de análisis a través de software de aplicación en la etapa de ejecución. Esto nos permite elaborar un diagnóstico sobre la condición actual de los sistemas de captación en Cabuyales, la línea de aducción, el desarenador, la línea de conducción en el corregimiento La Bella.

6.4. Procedimiento metodológico.

A continuación, se presentan las tablas de cada objetivo específico con una breve descripción de cómo se van abordar.

Tabla 1.

Procedimiento metodológico Objetivo 1.

Objetivo 1) Recopilar y organizar la información primaria y secundaria

correspondiente el acueducto del corregimiento La Bella, ubicado en Pereira. .

- 1.1 Se formuló una solicitud para acceder a la base de datos de usuarios registrados en empresa de servicios públicos, así como para calcular la proyección de población te el período de diseño.
 - 1.2 Se llevó a cabo una recopilación de datos en la zona en cuestión.
 - 1.3 Se procedió a la toma y asignación de cada uno de los componentes requeridos.
 - 1.4 Registro fotográfico.
-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.

Procedimiento metodológico Objetivo 2.

Objetivo 2) Realizar una evaluación hidráulica de cada uno de los componentes

del sistema, considerando la población actual y futura en un horizonte de 25 años, y sus necesidades.

- 2.1 inspección visual y toma de medidas del sistema de captación, desarenador, líneas de aducción y conducción.
 - 2.2. Relación física tramo a tramo del sistema a evaluar.
 - 2.3. Realización de Planos de la captación, desarenador.
 - 2.4. Inspección visual del sistema.
 - 2.5. Realizar la simulación hidráulica de los sistemas analizados empleando la herramienta de software EPANET.
 - 2.6. Llevar a cabo una evaluación hidráulica de los resultados obtenidos y compararlos con la normativa actual según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.

Procedimiento metodológico Objetivo 3.

Objetivo 3) Proponer alternativas de soluciones y mejora.

3.1 En base a los resultados obtenidos proponer alternativas de solución.

Fuente: Elaboración propia.

6.5. Operacionalización de variables

Para desarrollar el objetivo general de Realizar un diagnóstico hidráulico de las estructuras de captación de la micro cuenca cabuyal, desarenador, línea de aducción y conducción y tanque de almacenamiento del acueducto, se requiere:

Tabla 4.

Procedimiento metodológico. Objetivo 1

1) Procesar la información recopilada para llevar a cabo una evaluación detallada de las condiciones hidráulicas de las estructuras presentes en el acueducto del corregimiento La Bella, ubicado en Pereira.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Fuentes
----------	-------------	-------------	--------------	---------

Visita de campo Análisis hidráulico Medicas de elementos estructurales	Información			Acueducto la bella
	brindada por la		Parámetros	Información
	E.S.P	Base de datos	hidráulicos	recopilada en
	Información de inspección			campo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.

Procedimiento metodológico. Objetivo 2.

2) Realizar una evaluación hidráulica de cada uno de los componentes del sistema, considerando la población actual y futura en un horizonte de 25 años, y sus necesidades

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Fuentes
Identificar población actual y futura	Información técnica de los usuarios	Base de datos de acueducto	Número de usuarios inscritos en la E.S.P	Acueducto de la bella
Diagnostico hidráulico	Litros/segundos	Inspección del lugar Reglamento técnico Ras	Parámetros hidráulicos	Acueducto la bella Reglamento técnico

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.*Procedimiento metodológico. Objetivo 3.*

3) Proponer alternativas de soluciones y mejora.				
Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Fuentes
Comparar y solucionar		Reglamento técnico	Diagnostico	Acueducto la bella
			Simulación en software	Reglamento técnico Ras
			Datos compartidos por entidad	Cálculos propios

Fuente: Elaboración propia.

6.6 Alcance de la investigación

El sistema sujeto a evaluación corresponde a la infraestructura que comprende la captación de Cabuyales, el desarenador, las líneas de aducción y conducción, una red con más de cuatro décadas de existencia. El análisis que se está llevando a cabo es de carácter técnica e hidráulica, y se basa en el siguiente proceso:

1. Se procede a la recopilación y análisis de la información disponible en el corregimiento y por parte de la Empresa de Servicios Públicos (E.S.P).
2. Se realiza un levantamiento en campo para obtener información complementaria esencial.
3. La recopilación y cálculo de los datos necesarios para nutrir el software correspondiente se efectúa de manera rigurosa.

4. Se lleva a cabo un análisis de los resultados obtenidos a través de la aplicación del modelo hidráulico.

5. Se realiza una comparación de los parámetros obtenidos con los establecidos por la normativa vigente.

6. Finalmente, se presentan las conclusiones y se realizan recomendaciones fundamentadas en los hallazgos del análisis.

6.7 Cálculos y parámetros de diseño

La proyección de la población y la tasa de crecimiento por el método aritmético se calcula con la siguiente ecuación:

$$1. \quad Tc = \frac{Pf - Pa}{Tf - Ta}$$

$$2. \quad f = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Yci} \times (Tf - Tuc)$$

Donde:

Tc = Tasa de crecimiento

Pa = Población anterior de acuerdo a la proyección del DANE (habitantes).

Pf = Población final de acuerdo a la información del DANE (habitantes).

Tc = Año inicial del periodo evaluado.

Tf = Año al cual se proyecta la tasa de crecimiento.

La proyección de la población y la tasa de crecimiento por el método geométrico se calculan con la siguiente ecuación:

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

$$4. \quad Pf = Puc(1 + r)^{Tf - Tuc}$$

Donde:

r = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

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

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

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

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

Tf= Año al cual se quiere proyectar la información.

La proyección de la población y la tasa de crecimiento por el método exponencial se calcula con la siguiente ecuación:

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

$$6. \quad Pf = Pci \times e^{kx(Tf - Tci)}$$

Donde:

Pcp = Población del censo posterior (proyección del DANE).

Pca = Población del censo anterior (habitantes).

Tcp = Año correspondiente al censo posterior.

Tca = Año correspondiente al censo anterior.

Ln = Logaritmo natural.

1. Dotación Bruta o consumo total:

Cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, considerando las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

$$Dotacion\ Bruta = \frac{Dotacion\ neta}{1 - \%P} =$$

$$Dotacion\ Bruta = \frac{130\ L/Hab - dia}{1 - 25\%} = 173,33\ L/Hab - Día$$

2. Cobertura del 50% de la población actual

$$poblacion\ servida = Poblacion\ actual * cobertura = 6440 * 50\% = 3220\ Hab$$

$$poblacion\ Flotante = Poblacion\ servida * 0,1 = 3220 * 0,1 = 322$$

3. Caudal de diseño

Se requiere calcular el caudal apropiado para el diseño de las diferentes estructuras hidráulicas del sistema de acueducto, normalmente se trabaja con tres tipos de caudales:

4. Caudal Medio Horario:

Promedio de los consumos diarios de caudal en un periodo de un año, proyectando al horizonte de diseño.

$$\text{Caudal medio horario} = \frac{\text{Dotacion Bruta} * N^{\circ} \text{ de Hab}}{86400}$$

$$\text{Consumo neto residencial} = \frac{130 * 3220}{86400} = 4,84 \text{ l/s}$$

$$\text{Flotante} = \frac{\text{Dotacion Bruta} * N^{\circ} \text{ Flotante}}{86400} \Rightarrow \frac{173,33 * 322}{86400} = 0,65 \text{ L/s}$$

$$\text{Total consumos} = \frac{4,84 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 0,65 \text{ L/s}}{98\%} = 5,50 \text{ L/s}$$

$$\text{Caudal medio horario} = \frac{5,50 \frac{\text{L}}{\text{s}}}{(1 - 0,25)} = 7,33 \text{ L/s}$$

5. Caudal Máximo Diario:

Consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un periodo de un año, mayorado por el coeficiente de consumo máximo diario (k1)

$$QMD = Qmin * (K1)$$

En este caso tomamos K1= 1,3 para poblaciones menores a 12500.

$$QMD = 7,33 \frac{L}{s} * (1,3) = 9,54 \frac{L}{s}$$

6. Caudal Máximo Horario:

Consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio, mayorado por un coeficiente de consumo máximo horario (k2).

$$QMH = QMD * (K2)$$

Para este caso tomamos K2= 1,8 para poblaciones menores a 5.000 habitantes.

$$QMH = 9,54 \frac{L}{s} * (1,8) = 17,17 \frac{L}{s}$$

6.7.1 Cálculos bocatoma de fondo

1) Calculo dique o presa

- Lámina de agua sobre la presa en condiciones de diseño (H)

$$a. H = \left(\frac{Q}{C*L}\right)^{2/3} \Rightarrow H = \left(\frac{0,019m^3/s}{1,84*3,20m}\right)^{2/3} = 0,02 m$$

Q: Caudal de diseño

L: Ancho de vertedero

C: Coeficiente

- Corrección por las dos contracciones laterales (L')

$$b. L' = L - (0,1 * n * H) \Rightarrow L' = 3,20m - (0,1 * 2 * 0,02m) = 3,20 m$$

n: número de contracciones

- Velocidad del río sobre la presa (valor entre 0,30 y 3,00 m/s)

$$c. V = \left(\frac{Q}{L'*H}\right) \Rightarrow V = \left(\frac{0,019m^3/s}{3,20m*0,02m}\right) = 0,27 m/s$$

2) Cálculo del canal de aducción

- Ancho del canal de aducción

$$d. Xs = 0,36 * v^{\frac{2}{3}} + 0,6 * H^{4/7} \quad Xs = 0,36 * 0,27^{\frac{2}{3}} + 0,6 * 0,02m^{\frac{4}{7}} = 0,219 m$$

V: velocidad paso del rio

BL: 0,13 Asumido

$$e. B = Xs + BL \Rightarrow B = 0,219m + 0,13 = 0,35 m$$

3) Cálculo de la rejilla

- Caudal que pasa a través de la rejilla

K: 0,9 para flujo paralelo a la sección.

$$f. Q = k * v * An \Rightarrow Q = 0,90 * 0,10 \frac{m}{s} * 0,212m = 0,019 m^3/s$$

- Área neta de la rejilla

v: velocidad entre barras

$$An = \frac{Q}{K * v} \Rightarrow An = \frac{0,019m^3/s}{0,90 * 0,10m/s} = 0,212 m^2$$

- Longitud de la rejilla Lr=0,94m
- Calculo de área total

a: espacio entre barras

b: diámetro de barras

$$g. AT = \frac{An}{\left(\frac{a}{a+b}\right)} \Rightarrow AT = \frac{0,212m^2}{\left(\frac{0,01m}{0,01m+0,010m}\right)} = 0,414 m^2$$

- Ancho de la rejilla

$$h. Br = \frac{AT}{Lr} \Rightarrow Br = \frac{0,414m^2}{0,94m} = 0,44 m$$

- Numero de espacios de la rejilla

$$i. N = \frac{Lr+b}{a+b} \Rightarrow N = \frac{0,94m+0,010m}{0,01m+0,010m} = 49$$

- Número de varillas

$$j. n = N - 1 \Rightarrow n = 49 - 1 = 48$$

4) Capacidad de captación

- Altura media con Qmed

$$k. h = \left(\frac{Q_{med}}{C * L}\right)^{2/3} \Rightarrow h = \left(\frac{0,012 m^3/s}{1,84 * 3,20 m}\right)^{2/3} = 0,02 m$$

- Caudal de entrada

C (Coeficiente de descarga) = 0,40

$$Q = C * An * \sqrt{2 * g * h} =$$

$$l. Q = 0,40 * 0,212 m^2 * \sqrt{2 * 9,8 * 0,02 m} = 0,05 m^3/s$$

5) Cálculo de la altura de los muros laterales

- Borde libre BL= 0,31m
- Altura de lámina para el caudal máximo del río

$$m. HQ_{max} = \left(\frac{Q_{max}}{C * L}\right)^{2/3} \Rightarrow HQ_{max} = \left(\frac{0,015 m^3/s}{1,84 * 3,20 m}\right)^{2/3} = 0,02 m$$

- Altura de los muros laterales

$$n. Hm = HQ_{max} + BL \Rightarrow Hm = 0,02 m + 0,31 m = 0,33 m$$

6) Cálculo de caja de derivación

- Velocidad del agua al final de canal de aducción

$$o. Vc = \frac{QD}{Br * he} \Rightarrow Vc = \frac{0,019 m^3/s}{0,44 m * 0,011 m} = 3,932 m^2/s$$

- Ancho mínimo de la caja de derivación

BL=0.3m

$$p. Am = Xs + BL \Rightarrow Am = 0,9 m + 0,3 m = 0,11 m$$

- Cálculo del perfil superior de la lámina de agua (Xs)

$$q. Xs = 0,36 * Vc^{\frac{2}{3}} + 0,6 * he^{\frac{4}{7}} \Rightarrow Xs = 0,36 * 3,932^{\frac{2}{3}} + 0,6 * 0,011^{\frac{4}{7}} = 0,9 m$$

- Calculo de la altura lámina de agua en el canal de aducción (he)

$$r. he = \left(\frac{(Q_{medr})^2}{L^2 * 9,8}\right)^{1/3} \Rightarrow he = \left(\frac{(0,012)^2}{3,20^2 * 9,8}\right)^{1/3} = 0,011 m$$

7) Cálculo del canal de aducción

- Longitud del canal de aducción (Lc)

$$s. Lc = \frac{Lr + (L - Lr)}{2 + Am} \Rightarrow Lc = \frac{0,94 + (3,20 - 0,94)}{2 + 0,31} = 2,37 m$$

- Ancho del muro (Am)=0,31m

- Altura de la lámina parte superior (he)

$$he = hc$$

$$he = hc = 0,22m$$

$$t. \quad hc = \left(\frac{(Qd)^2}{L^2 * 9,8} \right)^{1/3} \Rightarrow hc = \left(\frac{(0,019)^2}{0,53^2 * 9,8} \right)^{1/3} = 0,22 \text{ m}$$

- Altura de la lámina parte inferior (ho)

$$-ho = \left(2 * he^2 + \left(he - i * \left(\frac{Lc}{3} \right) \right)^2 \right)^{0,5} - 2 * i * \left(\frac{Lc}{3} \right)$$

$$u. \quad -ho = \left(2 * 0,011^2 + \left(0,011 - i * \left(\frac{2,37}{3} \right) \right)^2 \right)^{0,5} - 2 * 0,12 * \left(\frac{2,37}{3} \right) = -0,021m$$

- Altura geométrica del canal parte superior (Ho)

$$BL = 0,3$$

$$v. \quad Ho = ho + BL \Rightarrow Ho = -0,021m + 0,3m = 0,28 \text{ m}$$

- Altura geométrica del canal parte inferior (Hc)

$$Hc = he + (ho - he) + i * Lc + BL \quad i \text{ pendiente} = 12\%$$

$$w. \quad Hc = 0,011 + (-0,020 - 0,011) + 0,12 * 2,37 + 0,3 = 0,56m$$

6.7.2 Cálculos del desarenador

- Velocidad de sedimentación (Vs)

$$a) \quad Vs = \left(\frac{980}{18} \right) * \left(\frac{\gamma - \gamma_{H2O}}{\text{visc}} \right) * d^2 \Rightarrow Vs = \left(\frac{980}{18} \right) * \left(\frac{2,65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 1}{1,14E-02 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}} \right) * 0,01 \text{ cm}^2 = 0,788 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

d: tamaño de partículas a remover

vics: Viscosidad cinemática

λ_{H2O} : densidad del agua

λ : peso específico arena

- Chequeo de Reynolds

$$b) \text{ Reynold} = \left(\frac{Vs*d}{\text{viscosidad cinemática}} \right) \Rightarrow \text{Reynold} = \left(\frac{0,788 \frac{cm}{s} * 0,01 \text{ cm}^2}{1,14E-02 \text{ cm}^2/s} \right) = 0,69$$

- Coeficiente de descarga

$$c) CD = \frac{24}{\text{Reynold}} + \frac{3}{\sqrt{\text{Reynold}}} + 0,34 \Rightarrow CD = \frac{24}{0,69} + \frac{3}{\sqrt{0,69}} + 0,34 = 38,67$$

- Tiempo teórico de caída de la partícula (t)

H= altura de 270 cm

$$d) t = \frac{H}{vs} \Rightarrow t = \frac{270 \text{ cm}}{0,788 \text{ cm/s}} = 342,63 \text{ s}$$

- Tiempo real de caída de la partícula (a)

(a/t): eficiencia del desarenador 2,75

$$e) a = t * \left(\frac{a}{t} \right) \Rightarrow a = 342,63 \text{ s} * 2,75 = 942,24 \text{ s}$$

- Volumen del tanque (V)

$$f) V = a * Qd \Rightarrow V = 942,24 \text{ s} * 0,00954 \frac{m^3}{s} = 8,989 \text{ m}^3$$

- Área superficial del tanque (As)

$$g) As = \frac{V}{H} \Rightarrow As = \frac{8,989 \text{ m}^3}{2,7 \text{ m}} = 3,329 \text{ m}^2$$

- Ancho del tanque (B)

$$h) B = \left(\frac{As}{4} \right)^{0,5} \Rightarrow B = \left(\frac{3,329 \text{ m}^2}{4} \right)^{0,5} = 0,91 \text{ m}$$

- Largo del tanque (L)

$$i) L = 4 * B \Rightarrow L = 4 * 0,91 \text{ m} = 3,6 \text{ m}$$

- Chequeo de la carga hidráulica superficial

$$j) CHS = \frac{Q}{As} \Rightarrow CHS = \frac{(0,00954 \frac{m^3}{s} * 86400 \text{ s})}{3,95 \text{ m}} = 248 \frac{m^3}{m^2 \cdot \text{dia}}$$

La carga hidráulica no **Cumple ya que debe estar entre los valores 15 – 80 m³/m²*d.**

Chequeo del tiempo de retención hidráulico

$$k) TRH = \frac{V}{Q} \Rightarrow TRH = \frac{8,989 \text{ m}^3}{0,019 \text{ m}^3/\text{s}} = 942 \text{ s}$$

Tiempo de retención hidráulico **no cumple** ya que debe ser mínimo 30 minutos y cuatro horas.

- Chequeo de la velocidad horizontal

$$l) V = \frac{Qd}{TRH} \Rightarrow V = \frac{0,00954 \text{ m}^3/\text{s}}{(2,7\text{m} \cdot 0,91\text{m})} = 0,004 \text{ m/s}$$

- Velocidad horizontal máxima admitida

$$m) V = 20 * V_s \Rightarrow V = 20 * \frac{0,788 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{100 \text{ cm}} = 0,1576 \text{ m/s}$$

Velocidad horizontal máxima **Cumple** ya que esta debe ser menor a la velocidad de arrastre de partículas.

- Altura de la lámina en el vertedero de salida

$$n) H = \left(\frac{Q}{1,84 * B} \right)^{2/3} \Rightarrow H = \left(\frac{0,00954 \text{ m}^3/\text{s}}{1,84 * 0,91\text{m}} \right)^{2/3} = 0,032 \text{ m}$$

- Velocidad sobre la cresta del vertedero de salida

$$o) V_v = \frac{Q}{B * H} \Rightarrow V_v = \frac{0,00954 \text{ m}^3/\text{s}}{0,91 \text{ m} * 0,032 \text{ m}} = 0,33 \text{ m/s}$$

- Ancho del canal de salida

$$p) X_s = 0,36 * v_v^{2/3} + 0,6 * H^{4/7} \Rightarrow X_s = 0,36 * 0,33^{2/3} + 0,6 * 0,032^{4/7} = 0,255 \text{ m}$$

- Caudal de excesos

$$q) Q_{exc} = \frac{Q_{des} - Q_d}{\text{Num Modulo}} \Rightarrow Q_{exc} = \frac{0,01908 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} - 0,00954 \text{ m}^3/\text{s}}{2} = 0,005 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Altura de la lámina sobre el vertedero de excesos

$$r) H_e = \left(\frac{Q_{exc}}{1,84 * L} \right)^{2/3} \Rightarrow H_e = \left(\frac{0,005 \text{ m}^3/\text{s}}{1,84 * 1,10\text{m}} \right)^{2/3} = 0,018 \text{ m}$$

Almacenamiento de lodos

Relación longitud: profundidad lodos: 10:1

Profundidad máxima = 2,90m

Profundidad máxima adoptada= 1,9m

Profundidad mínima adoptada= 1,0m

- Distancia pto. De salida a cam aqui $L/3= 1,7m$

s)

$$\text{Dist. Sal. Cam aquí} = \frac{L}{3} \Rightarrow \frac{3,6}{3} = 1,2 \text{ m}$$

- Distancia pto. De salida a vert salida

$$t) \text{ Dist. Sal. Vertsalida} = 2 \left(\frac{L}{3} \right) \Rightarrow 2 * \left(\frac{3,6}{3} \right) = 2,43 \text{ m}$$

- Pendiente transversal

$$u) \text{ Pendiente trans.} = \frac{\text{Prof.max-Prof.min}}{B} \Rightarrow \frac{1,9 \text{ m}-1,0 \text{ m}}{0,91} = 98,6\%$$

- Pendiente longitudinal (en L/3)

$$v) \text{ Pendiente Longit.} = \frac{\text{Prof.max-Prof.min}}{\text{Distancia Sal.Camara quiet}} = \frac{1,9 \text{ m}-1,0 \text{ m}}{1,2 \text{ m}} = 74\%$$

- Pendiente longitudinal (en 2(L/3))

w)

$$\begin{aligned} \text{Pendiente Longit.} &= \frac{\text{Prof.max} - \text{Prof.min}}{\text{Distancia Sal.Vertedero Sal.* 2}} = \frac{1,9\text{m} - 1,0\text{m}}{2,43\text{m}} \\ &= 18,5\% \end{aligned}$$

Cámara de quietamiento

- Profundidad

$$x) \text{ Profundidad} = \frac{H}{3} = \frac{2,70\text{m}}{3} = 0,900 \text{ m}$$

- Ancho

$$y) \text{ Ancho} = \frac{B}{3} = \frac{0,91}{3} = 0,30\text{m}$$

- Largo adoptado = 1,2m

Altura de la lámina sobre el vertedero de excesos

$$z) \text{ He} = \left(\frac{Q_{exc}}{1,84 * Le} \right)^{2/3} \Rightarrow \text{He} = \left(\frac{0,00954\text{m}^3/\text{s}}{1,84 * 1,2\text{m}} \right)^{2/3} = 0,027 \text{ m}$$

7. Resultados y análisis de resultados

En el presente capítulo, se exponen los resultados y análisis de resultados obtenidos tras la evaluación del acueducto, constituyendo un análisis integral que abarca diversos aspectos para su funcionamiento, se revelaran las condiciones actuales de la infraestructura, identificando posibles áreas de mejora y ofreciendo una visión detallada de la calidad del servicio hídrico, este conjunto de resultados sienta las bases para futuras acciones correctivas y optimizaciones que contribuirán a garantizar un servicio de agua potable eficiente y sostenible para la comunidad.

Los análisis de los resultados obtenidos se muestran en el presente capítulo donde se logra cumplir con el objetivo específico número 2, se realizó una evaluación hidráulica de cada uno de los componentes del sistema como la bocatoma de fondo, el desarenador, la línea de aducción y conducción considerando la población actual y futura en un horizonte de 25 años, y sus necesidades.

La modelación hidráulica del sistema, se realiza mediante el software EPANET 2, lo que hace es simular el comportamiento de la línea de conducción, para determinar sus velocidades y presiones.

7.1 Recopilar y organizar la información primaria y secundaria correspondiente en el acueducto del corregimiento La Bella, ubicado en Pereira.

Se inicia el proceso de recopilación y análisis de la información disponible tanto en el corregimiento como proporcionada por la Empresa de Servicios Públicos (E.S.P). Para complementar de manera integral nuestra base de datos, se lleva a cabo un levantamiento en

campo con el objetivo de obtener información esencial adicional. La recopilación y cálculo de los datos necesarios para alimentar los cálculos y parámetros de diseño correspondiente se realiza con un enfoque riguroso, asegurando la precisión y confiabilidad de la información recabada (Ver anexo 1). Posteriormente, se procede a realizar un análisis detallado de los resultados obtenidos a través de la aplicación del modelo hidráulico empleado en este estudio. Finalmente, se efectúa una comparación de los parámetros obtenidos con los establecidos por la normativa vigente específicamente la resolución 0330 del 2017, con el propósito de evaluar el cumplimiento de los estándares y garantizar la integridad del análisis realizado. A continuación, se presenta la descripción de cada uno de los componentes que hacen parte del acueducto para tener mayor facilidad de entendimiento del estudio realizado.

7.1.1 Descripción del proceso actual de la Captación principal

Por medio de las visitas de campo y la consulta de información de la E.P.S de la bella se obtiene que el proceso de captación de agua implica el uso de una bocatoma de fondo en forma de rejilla hecha de concreto con aletas para estabilidad, está ubicada en las coordenadas geodésicas $4^{\circ}44'19''N$ $75^{\circ}37'00''W$ y una altitud de 1.978 msnm. Esta estructura cuenta con una rejilla metálica de barras circulares de $3/8''$. El agua se transporta desde el canal de aducción a través de dos tuberías de 2" hasta una cámara de salida y luego se lleva al desarenador mediante una manguera de polietileno de 4", que se conecta a una tubería de polietileno de 4" en una longitud de aproximadamente 117 metros.

Figura 6.

Bocatoma de fondo.



Nota. Podemos observar la bocatoma y el levantamiento de medidas, **Fuente:** elaboración propia.

Figura 7.

Bocatoma cabuyales.



Nota. Toma de medicas de la rejilla de caja colectora. **Fuente:** elaboración propia.

Desarenador

Está ubicada en las coordenadas geodésicas $4^{\circ}44'24''\text{N}$ $75^{\circ}37'20''\text{W}$ y una altitud de 1.962 msnm. El desarenador es una estructura de concreto con dimensiones de 5.0m x 1.75m x 2.55m, equipada con una válvula para controlar el flujo de entrada. Tiene una cámara de entrada con una estructura de disipación de energía y una cámara de salida de 1.10m x 0.67m. También cuenta con cámaras de aforo en la entrada y salida, con rebosaderos que desembocan en la Quebrada a través de tubos de PVC de 4".

Figura 8.

Desarenador.



Nota. Podemos observar la toma de medidas del desarenador. **Fuente:** elaboración propia.

Línea de aducción

La línea de aducción está compuesta por manguera de polietileno de 4" desde la bocatoma hasta el desarenador y luego tuberías de polietileno de 6" y 3" hasta el tanque de almacenamiento. Esta línea tiene una longitud total de aproximadamente 1.134m y se encuentra en buen estado.

Además, en la red de aducción se han instalado ventosas artesanales para eliminar el aire atrapado en el interior de las tuberías. Esta red cruza propiedades privadas, incluyendo las fincas Bella Vista, La Honda y La Secreta.

Figura 9.

Línea de aducción.



Nota. Tubería en PVS con conexión a tubería de polietileno con su respectiva válvula. **Fuente:** elaboración propia.

Figura 10.

Tubería de polietileno.



Nota. Tubería en polietileno semi enterrada. **Fuente:** aporte entregado por la E.S.P, 2023.

7.1.2 Segunda captación como contingencia

El sistema de abasto San Pablo se utiliza como contingencia en caso de una disminución del caudal de la quebrada Cabuyales. Este sistema consta de una bocatoma de fondo, un desarenador, un tanque de succión y una estación de bombeo. El agua se captura de la quebrada San Pablo y se transporta a través de una tubería de PVC desde la bocatoma hasta el tanque de succión.

El desarenador es una estructura de concreto con una cámara de entrada y una zona de salida que conduce el agua al tanque de succión. Este tanque, con capacidad de 87 m³, suministra agua al tanque Cabuyales y vierte el exceso en la quebrada.

Figura 11.

Bocatoma de fondo san pablo.



Nota. Condición actual de la bocatoma que funciona como contingencia. **Fuente:** aporte entregado por la E.S.P, 2023.

Figura 12.

Desarenador san pablo.



Nota. Condición actual de desarenador que funciona como contingencia. **Fuente:** aporte entregado por la E.S.P, 2023.

Sistema de bombeo

El sistema de bombeo se utiliza como solución de contingencia y cuenta con motores de 50 y 48 HP. El agua bombeada se dirige al tanque de almacenamiento común para ambos sistemas a través de una tubería galvanizada. La red de impulsión atraviesa la finca La Secreta.

Figura 13.

Cuarto de máquinas.



Nota. Se observa el cuarto de máquinas donde se opera el sistema de bombeo. **Fuente:** aporte entregado por la E.S.P, 2023.

Figura 14.

Sistema de bombeo.



Nota. Sistema de bombeo con sus respectivos elementos. **Fuente:** aporte entregado por la E.S.P, 2023.

7.1.3 Tanque de almacenamiento

Están ubicados en las coordenadas geodésicas 4°44'41"N 75°37'37"W y una altitud de 1939.9 msnm en el predio La Secreta, se encuentran dos tanques de almacenamiento de concreto con un total de 248 m³ de capacidad. Estos tanques alimentan la planta de tratamiento donde se añade cloro granulado al agua. Los tanques cuentan con cerramientos para evitar el acceso no autorizado. Además, una tubería de PVC de 1-1/2" sale del tanque N° 1 hacia un tanque auxiliar llamado "Los Ocho," que abastece a catorce viviendas. Este tanque también se encuentra en buen estado y tiene una capacidad de 31.0 m³.

Figura 15.

Tanque de almacenamiento.



Nota. Condiciones actuales del tanque. **Fuente:** aporte entregado por la E.S.P, 2023.

Figura 16.

Tanques de almacenamiento.



Nota. Zona cercada donde están ubicados los tanques. **Fuente:** aporte entregado por la E.S.P, 2023.

7.1.3 Planta de tratamiento de agua potable

La planta de tratamiento del acueducto del Corregimiento de La Bella es una instalación modular con tres tanques de acero inoxidable que pueden tratar un caudal de 10.5 litros por segundo. Utiliza un proceso de filtración ascendente y descendente con diferentes materiales como grava, gravilla, arena, antracita y carbón activado. La planta puede llevar a cabo floculación, coagulación y filtración, y el sistema de desinfección se encuentra en una unidad separada sobre el tanque No 2.

En cada componente de la infraestructura, se ha incorporado un sistema de restitución de sobrantes directamente a las fuentes de agua.

Figura 17.

Planta de tratamiento de agua potable.



Nota. En esta imagen se evidencia la planta de tratamiento de la comunidad La Bella, la cual tiene como objetivo principal brindar a la población agua apta para el consumo humano. Aporte entregado por la E.S.P, 2023.

La red de distribución principal es lineal y tiene una longitud real de 7.337 metros. Se ramifica en varios sectores para suministrar agua según se indica en una tabla.

Tabla 7.

Red de distribución.

DIÁMETRO (PULGADAS)	SECTOR				
	LA BELLA	EL RINCÓN	COLONIA BAJA	BELLA BAJA	PASO DIRECTO
¾	1634	0	0	0	0
1(1/2)	0	1175,27	1250	548,87	0
2	1448,49	0	0	0	886,96
3	1673,18	0	0	0	0
4	2582,15	0	0	0	0
Total	7337,82	1175,27	1250	548,87	886,96

Fuente: datos suministrados de la empresa de servicios público, 2023.

La calidad del agua para consumo humano se controla mensualmente a través del Laboratorio de Aguas y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira o Analtec Laboratorios. Además, el Fontanero realiza un seguimiento diario del cloro residual y el pH en la red de distribución.

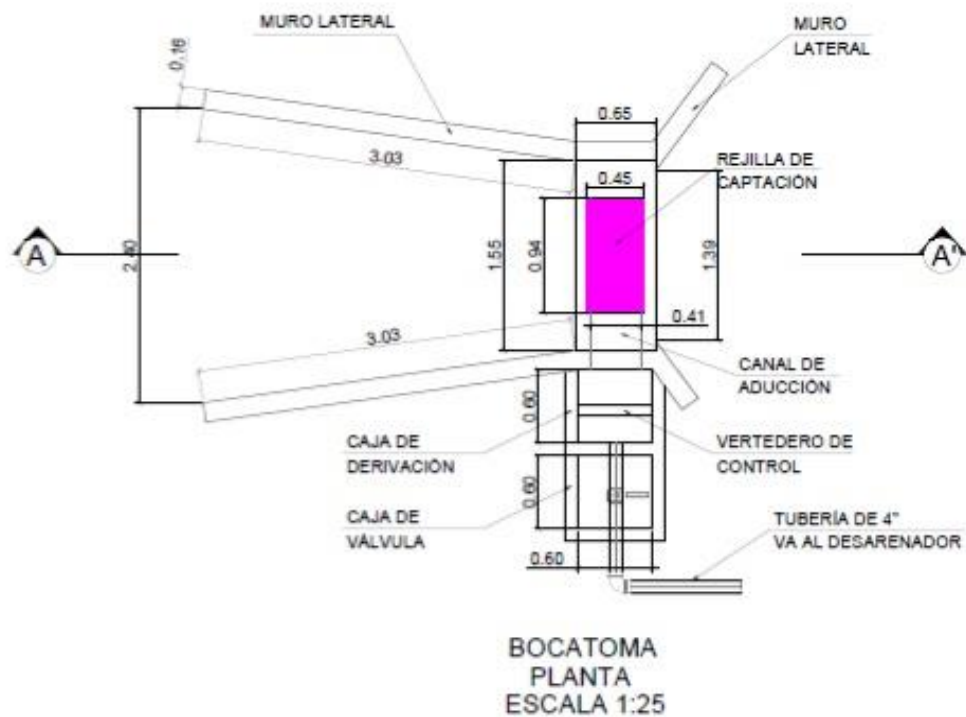
7.1.5 Levantamiento de planos

A continuación, se presentan los planos de las estructuras del acueducto, correspondiente a la captación y al desarenador en planta y secciones, de igual forma se presentan los planos planta perfil de la línea de aducción y conducción, contribuyendo a la empresa prestadora del servicio, porque en la actualidad no existen los planos de las estructuras mencionadas. (Ver anexos 3 y 4).

Planos bocatoma de fondo

Figura 18.

Planos en planta y sección de la bocatoma.

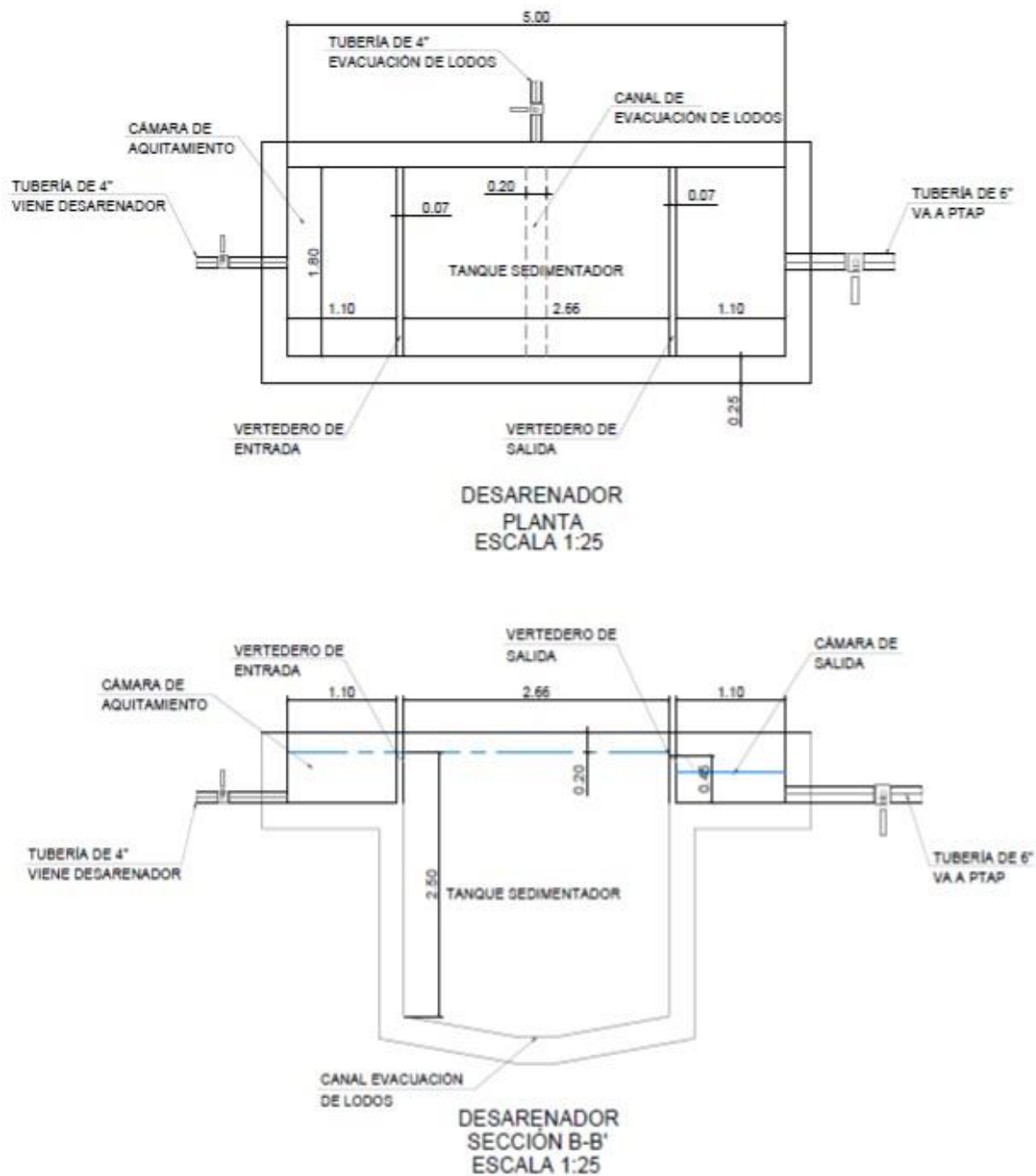


Fuente: elaboración propia.

Planos de desarenador

Figura 19.

Planos en planta y sección del desarenador.

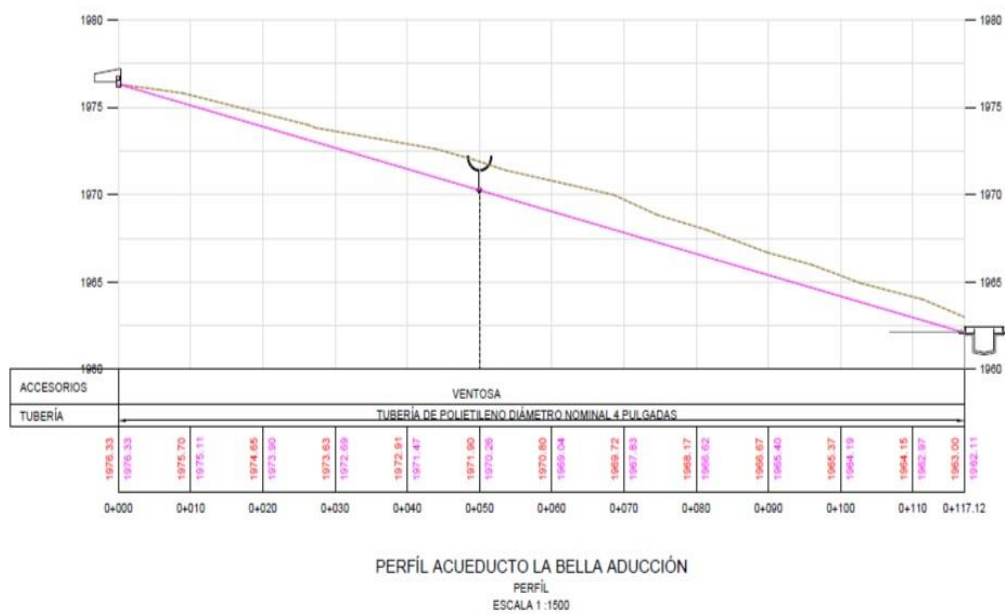


Fuente: elaboración propia.

Perfil de la línea de aducción

Figura 20.

Perfil de la línea de aducción.

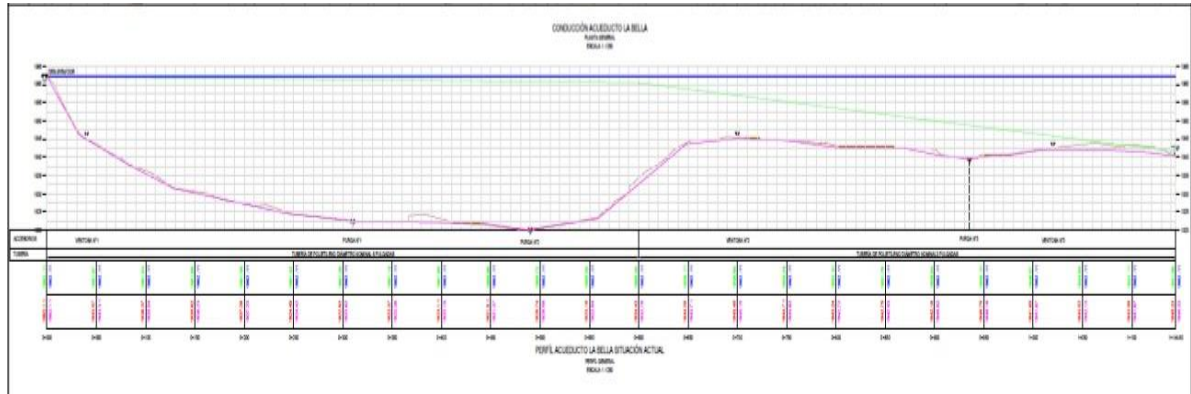


Fuente: elaboración propia.

Perfil de la línea de conducción

Figura 21.

Perfil de la línea de conducción.



Fuente: elaboración propia.

7.2 Realizar una evaluación hidráulica de cada uno de los componentes del sistema, considerando la población actual y futura en un horizonte de 25 años, y sus necesidades.

Los aportes residencial, comercial, institucional y proyección de la población urbana del corregimiento de la bella, se obtuvieron por información suministrada durante las visitas a la empresa de servicios públicos.

Tabla 8.

Porcentaje de suscriptores según uso de suelo.

SUSCRIPTORES SEGÚN USOS DE SUELO		
RESIDENCIAL	643 suscriptores	98%
COMERCIAL	2 suscriptores	0.30%
INSTITUCIONAL	11 suscriptores	1.7%

Fuente: elaboración propia, datos suministrados por la empresa de servicios públicos.

Durante la visita de campo a la E.S.P., se proporcionaron datos que indican la ausencia de registros de suscriptores relacionados con el uso de suelo industrial. Esta información es esencial para calcular los caudales que se incorporan en el proceso de modelación hidráulica.

La siguiente información de población del corregimiento de la bella, es obtenida de esta fuente principal (Territorio & Sostenible, 2023), de acuerdo a los estudios actuales se compara que es una información coherente, concordante y puede ser aplicada en el estudio.

Tabla 9.

Censos de Pereira territorio sostenible población por comunas y corregimientos.

Población Urbana del corregimiento

la bella

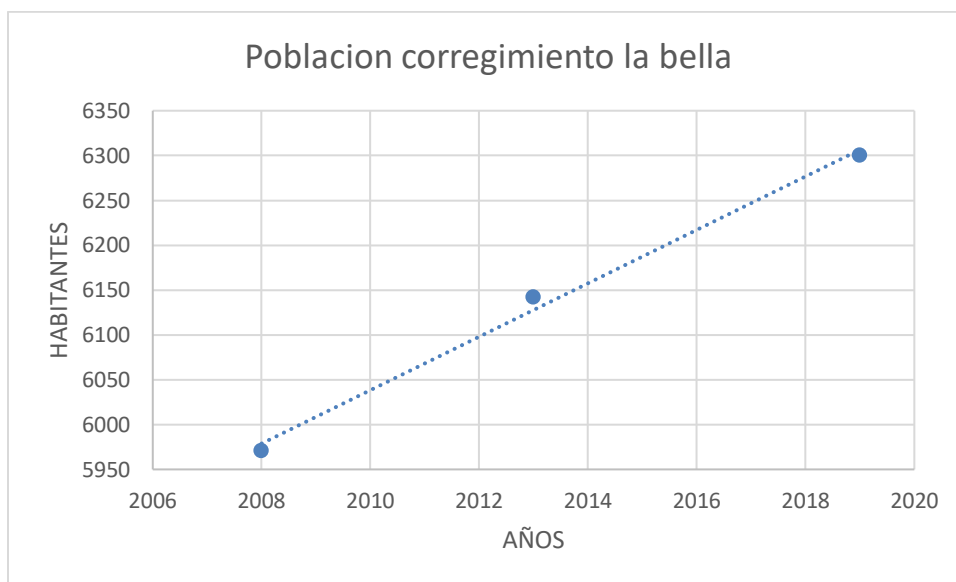
Año	Población
------------	------------------

2008	5971
2013	6142
2019	6300

Fuente: elaboración propia, datos suministrados por Pereira territorio sostenible (2023).

Figura 22.

Censo y proyección poblacional del corregimiento la bella.



Nota. **Fuente:** elaboración propia, basada en los registros de censos de Pereira territorio sostenible (2023).

La tabla muestra el crecimiento poblacional con datos obtenidos (Territorio & Sostenible, 2023), y se muestra esquemáticamente en la gráfica de la figura 22.

En el transcurso de la investigación, se recopilan datos demográficos abarcando el período de 2008 a 2019. Con el propósito de evaluar la situación actual del acueducto, es importante llevar a cabo la proyección de la población hasta el año 2024, lo que implica la

necesidad de calcular las tasas de crecimiento detalladas en la tabla. Y también se proyecta la población futura de 25 años por criterios específicamente de la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017, para llevar a cabo una evaluación más detallada, para mejoras en el sistema actual.

Tabla 10.

Tasas de crecimiento por métodos: Aritmético, Geométrico y Exponencial

PERIODO	M. ARITMETICO	M. GEOMETRICO	M. EXPONENCIAL
2008-2013	35	0,0057	0,0056
2013-2019	27	0,0042	0,0042

Nota. Fuente: elaboración propia.

Para estimar la población proyectada en 2024, se emplearon tasas de crecimiento basadas en el lapso comprendido entre 2008 y 2019. Estas tasas se encuentran detalladas en la tabla y se seleccionaron con valores de 27, 0.0042 y 0.0042, correspondientes a los métodos aritmético, geométrico y exponencial, respectivamente. La elección de este intervalo se fundamenta en su proximidad a la fecha de evaluación de este informe y en la disponibilidad de datos.

Tabla 11.

Proyección de población al año 2024.

Método	Método	Método
Aritmético	Geométrico	Exponencial
6440 hab.	6444 hab.	6444 hab.

Fuente: Elaboración Propia.

Se efectuó una proyección demográfica para el periodo comprendido entre 2019 y 2024, empleando los métodos aritmético, geométrico y exponencial, lo cual arrojó cifras de 6440 habitantes, 6444 habitantes y 6444 habitantes, respectivamente.

Las proyecciones realizadas mediante los tres métodos proporcionan resultados bastante similares, el método aritmético, con una población proyectada de 6440 habitantes para el año 2024 y 7115 habitantes para el año 2049, se considera el más adecuado en el contexto del corregimiento de la bella. Esto se debe a que dicho corregimiento presenta una baja densidad poblacional en comparación con otros corregimientos o municipios de la región, con una capacidad económica limitada y un crecimiento urbano reducido.

Tabla 12.*Proyección de población años 2024-2049.*

PROYECCION			
AÑO	M. ARITMETICO	M. GEOMETRICO	M. EXPONENCIAL
2024	6440	6440	6440
2025	6467	6468	6468
2026	6494	6496	6496
2027	6521	6524	6524
2028	6548	6552	6552
2029	6575	6580	6580
2030	6602	6608	6608
2031	6629	6637	6637
2032	6656	6666	6666
2033	6683	6695	6695
2034	6710	6724	6724
2035	6737	6753	6753
2036	6764	6782	6782
2037	6791	6811	6811
2038	6818	6840	6840
2039	6845	6870	6870
2040	6872	6900	6900
2041	6899	6930	6930
2042	6926	6960	6960
2043	6953	6990	6990
2044	6980	7020	7020
2045	7007	7050	7050
2046	7034	7080	7080
2047	7061	7111	7111
2048	7088	7142	7142
2049	7115	7173	7173

Fuente: elaboración propia

Se realizan los siguientes cálculos para realizar el análisis de los resultados:

Población Abastecida:

De acuerdo a la información suministrada por la empresa de servicios públicos Acuabella, el acueducto abastece:

Tabla 13.

Usuarios Activos.

Tipo de Usuario	Nº
Residencial	643
Comercial	2
Institucional	11
Total	656

Fuente: Datos suministrados por la empresa.

Dotación

La dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida muestra sus límites mínimos y máximos, se define respecto a la tabla proporcionada.

Tabla 14.

Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.

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

Fuente: (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS, 2017).

Dotación Neta

Considerando la altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida se determinó previamente que el corregimiento la bella se encuentra en una altitud entre los rangos 1000-2000 m.s.n.m, se establece en 130 litros por habitante por día.

7.2.1 Diseño y evaluación de la bocatoma de fondo

Tabla 15.

Datos de campo de la bocatoma de fondo.

DATOS DE CAMPO				
CAUDAL MAX DIARIO (QMD)	9,54	L/S	0,010	m ³ /s
CAUDAL DE DISEÑO (QD) = CMD*2,0	19,08	L/S	0,019	m ³ /s
CAUDAL MÍNIMO DEL RÍO (Q _{mín})	8,917	L/S	0,009	m ³ /s
CAUDAL MEDIO DEL RÍO (Q _{medr})	11,590	L/S	0,012	m ³ /s
CAUDAL MÁXIMO DEL RÍO (Q _{máxr})	15,070	L/S	0,015	m ³ /s
ANCHO DEL RÍO (L)	3,20	m		
BARRAS EN LA REJILLA (b = 3/8")	0,010	m		
SEPARACIÓN ENTRE BARRAS (a)	0,01	m		
GRAVEDAD (g)	9,80	m/s ²		
VELOCIDAD DE PASO ENTRE LOS BARROTOS (v)	0,10	m/s		
PENDIENTE CANAL DE ADUCCION (i)	12,0%			
NÚMERO DE CONTRACCIONES (n)	2,00			
C	1,84			
K	0,90			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16.

Cálculos realizados de la bocatoma de fondo.

CÁLCULO DEL DIQUE O PRESA			
Lámina de agua sobre la presa en condiciones de diseño (H)	$H = (Q/C*L)^{2/3}$	Para QD Para Qmín Para Qmed Para Qmáx	HD = 0,02 m HD = 0,01 m HD = 0,02 m HD = 0,02 m
Corrección por las dos contracciones laterales (L')	$L' = L - (0,1*n*H)$		L' = 3,20 m
Velocidad del río sobre la presa (valor entre 0,30 y 3,00 m/s)	$V = Q/(L'*H)$	Para QD Para Qmínimo Para Qmedio Para Qmáximo	V = 0,27 m/s V = 0,45 m/s V = 0,18 m/s V = 0,19 m/s
CÁLCULO DEL CANAL DE ADUCCIÓN			
Ancho del canal de aducción	$X_s = 0,36*v^{2/3} + 0,6*H^{4/7}$		Xs = 0,219 m
BL	0,13 m Asumido	$B = X_s + BL$	B = 0,35 m
CÁLCULO DE LA REJILLA			
Caudal que pasa a través de la rejilla	$Q = k*v*An$		Q = 0,019 m ³ /s
Área neta de la rejilla	$An = Q / k*v$		An = 0,212 m ²
Longitud de la rejilla			Lr = 0,94 m
Calculo de area total	$AT = An/(a/a+b)$		AT = 0,414 m ²
Ancho de la rejilla	$Br = AT/Lr$		Br = 0,44 m
Numero de espacios de la rejilla	$N = Lr + b/a + b$		49
Número de varillas	$n = N - 1$		n = 48 m
CAPACIDAD DE CAPTACION			
Altura media con Qmed			0,02
Caudal de entrada	$Q = C* An* \text{raiz}(2g*h)$		0,05
C (Coeficiente de descarga)			0,40
Gravedad			9,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17.

Cálculos realizados de la bocatoma de fondo.

CÁLCULO DE LA ALTURA DE LOS MUROS LATERALES		
Borde libre	BL	0,31
Altura de lámina para el caudal máximo del río	$HQ_{\text{máx}} = (Q_{\text{máx}} / (C * L))^{2/3}$	0,02
Altura de los muros laterales	$H_m = HQ_{\text{máx}} + BL$	$H_m = 0,33 \text{ m}$

CÁLCULO DE CAJA DE DERIVACIÓN		
Velocidad del agua al final de canal de aducción		$V_c = 3,932 \text{ m/s}$
Ancho mínimo de la caja de derivación	$X_s + BL$	1,2 m
BL		0,3 m
Cálculo del perfil superior de la lámina de agua (X_s)	$X_s = 0.36 * V_e^{2/3} + 0.60 \text{ he}^{4/7}$	0,9 m
Calculo de la altura lamina de agua en el canal de aduccion (he)		0,011 m

CÁLCULO DEL CANAL DE ADUCCIÓN		
Longitud del canal de aducción (L_c)	$L_c = L_r + (L - L_r) / 2 + A_m$	$L_c = 2,37 \text{ m}$
Ancho del muro (A_m)		0,30
Altura de la lámina parte superior (he)	$he = hc$	$he = hc = 0,22 \text{ m}$
Altura de la lámina parte inferior (ho)	$ho = (2 * he^2 + (he - i * L_c / 3)^2)^{0,5} - 2$	$ho = 0,021 \text{ m}$
Altura geométrica del canal parte superior (Ho)	$Ho = ho + BL$	$Ho = 0,28 \text{ m}$
BL		0,3
Altura geométrica del canal parte inferior (Hc)	$Hc = he + (ho - he) + i * L_c + BL$	$Hc = 0,56 \text{ m}$
Pendiente (i)		12%

EVALUACIÓN DE LOS EXCESOS DE LA BOCATOMA		
Calculo de la altura de la lámina para el Q med R	$HQ_{\text{med}} = (Q_{\text{med}} / ((C * L))^{2/3}$	$HQ_{\text{med}} = 0,016 \text{ m}$
Calculo de la capacidad de captacion para Q med R	$Q = C_d * A_n * (2 * g * HQ_{\text{med}})^{0,5}$	$Q_{\text{capt}} = 0,047 \text{ m}^3/\text{s}$
Caudal de excesos	$Q_{\text{ex}} = Q_{\text{captado}} - Q_{\text{diseño}}$	$Q_{\text{ecx}} = 0,028 \text{ m}^3/\text{s}$
Altura de la lámina del vertedero para evacuar excesos	$H_{\text{exc}} = (Q_{\text{exc}} / ((C * B_c))^{2/3}$	$H_{\text{exc}} = 0,053 \text{ m}$
Velocidad producida por el caudal de excesos	$V_{\text{exc}} = Q_{\text{exc}} / (H_{\text{exc}} * B_c)$	$V_{\text{exc}} = 0,424 \text{ m/s}$

Fuente: elaboración propia.

- La bocatoma cumple la función de recolectar agua, y su ubicación garantiza que no sea arrastrada por las crecidas del arroyo.

- Canal de derivación: Este canal está equipado con rejillas y se encarga de eliminar partículas en suspensión de gran tamaño, captura el agua y la dirige hacia el tanque de derivación.
- Se tiene válvula para regulación de caudal.
- No dispone de un operador a tiempo completo.
- La zona de la bocatoma no dispone de los medios de protección y cercado para evitar la entrada de personas no autorizadas y/o animales.
- La velocidad del agua al pasar sobre la rejilla, debe estar entre 0,3 m/s y 3,0 m/s, cumple con este parámetro de diseño la bocatoma actual.

A continuación, podemos observar en la tabla 18. Los chequeos de cada uno de los componentes del elemento hidráulico de captación.

Tabla 18.

Evaluación de la bocatoma de fondo con respecto a la norma Ras 2017.

BOCATOMA DE FONDO		
ELEMENTO	CHEQUEO	OBSERVACION
DIQUE O PRESA	Cumple	La bocatoma cumple su función de captar 6.2 L/s, La zona de la bocatoma no dispone de los medios de protección y cercado para evitar la entrada de personas no autorizadas y/o animales
CANAL DE ADUCCIÓN	Cumple	Este canal está equipado con rejillas y se encarga de eliminar partículas en suspensión de gran tamaño, captura el agua y la dirige hacia el tanque de derivación
REJILLA DE CAPTACION	Cumple	
CAPACIDAD DE CAPTACION	Cumple	su ubicación garantiza que no será arrastrada por crecientes
ALTURA DE LOS MUROS LATERALES	No cumple	se requiere realzar los muros
CAJA DE DERIVACIÓN	No cumple	no existe
EXCESOS DE LA BOCATOMA	No cumple	no existe
PERFIL DE LA PRESA	No cumple	no existe
POZO DE AMORTIGUACIÓN	No cumple	no existe
EL DADO DISIPADOR	No cumple	no existe

Fuente: Elaboración propia

7.2.2 Diseño y evaluación de la línea de aducción

Tabla 19.

Diseño de línea de aducción.

TRAMO	QD (L/S)	ABCISAS		LONG (m)	COTAS BATEA		PENDIEN TE (%)	N° TUBERIA FLEXIBLE	DIAM (mm)	V0 (m/S)	Q0 (L/S)	QD/Q0
		INICIAL	FINAL		INICIAL	FINAL			ASUMIDO			
BOCATOMA -- DESARENADO R	9,54	K0+000	K0+117,12	117	1976,33	1962,11	12%	0,011	100,0	2,71	21,28	0,45

RELACIONES HIDRAULICA			Vr (m/S)	d (m)	Rh (m)	REGIMEN	F. TRACTIVA (Kg/m ²)
V/V0	d/D	Rh/Rh0					
1,039	0,892	1,192	2,82	0,09	0,03	3,01	3,71

Fuente: elaboración propia.

- El desarenador debe situarse lo más cerca posible de la bocatoma, esta aducción está comprendida entre 50 y 300 metros, en el caso de la línea de aducción del acueducto tiene una longitud de 117 metro, cumpliendo con el reglamento.
- Se recomienda que la línea de aducción a flujo libre tenga un diámetro nominal mínimo de 4 pulgadas (100mm).
- Se debe garantizar una velocidad mínima de 0,6 m/s y una velocidad máxima de 5 m/s, en este caso la velocidad cumple con los estándares implementados por el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS 2017.

A Continuación, podemos observar en la tabla 20 La comparación de los pa

Tabla 20.

Evaluación de la línea de aducción actual respecto al Ras 2017.

LINEA DE ADUCCION		
ELEMENTO	CHEQUEO	OBSERVACION
VELOCIDAD 2.71 m/s	Cumple	Se debe garantizar una velocidad mínima de 0,6 m/s y una velocidad máxima de 5 m/s, en este caso la velocidad cumple con los estándares implementados por el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS 2017
LONGITUD DE TUBERIA 117 metros	Cumple	El desarenador debe situarse lo más cerca posible de la bocatoma, esta aducción está comprendida entre 50 y 300 metros, en el caso de la línea de aducción del acueducto tiene una longitud de 117 metro, cumpliendo con el reglamento
DIAMETRO TUBERIA 4 pulgadas	Cumple	Se recomienda que la línea de aducción a flujo libre tenga un diámetro nominal mínimo de 4 pulgadas (100mm).

Fuente: Elaboración propia.

7.2.3 Diseño y evaluación del desarenador

Tabla 21.

Datos de campo de desarenador.

DATOS DE CAMPO		
Caudal de diseño QMD	9,54 L/S	0,00954m ³ /s
Numero de modulos	2,0	
Tamaño de particulas a remover	d = 0,01 cm	
Temperatura del agua	15 °C	
Viscosidad cinemática	1,14,E-02 cm ² /s	
Eficiencia del desarenador 87.5%	2,75 a/t	
Peso específico de la arena (γ _{ar})	2,65 g/cm ³	
Relación longitud : ancho : 4:1	4,00	
Profundidad útil del desarenador	2,7 m	d = 270 cm
Caudal de llegada al desarenador	19,08 L/S	0,01908m ³ /s
Ancho de la cámara de llegada al desarenador	1,10 m	
Caudal por modulos	0,019m ³ /s	
Borde Libre	0,30	
Gravedad	9,81 m/s ²	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22.*Cálculos realizados del desarenador.*

CÁLCULOS DEL DESARENADOR		
Velocidad de sedimentación (Vs)	$V_s = (980/18) * ((\gamma_s - \gamma_{H_2O}) / \text{visc}) * d^2$	$V_s = 0,788 \text{ cm/s}$
Chequeo de reynolds		0,69
Coefficiente de descarga	CD	38,67
Tiempo teórico de caída de la partícula (t)	$t = H/v$	$T = 342,63 \text{ S}$
H = 270,00 cm	Asumido	
Tiempo real de caída de la partícula (a)	$a = t * (a/t)$	$a = 942,24 \text{ S}$
Volumen del tanque (V)	$V = a * Q$	$V = 8,989 \text{ m}^3$
Área superficial del tanque (As)	$A_s = V/H$	$A_s = 3,329 \text{ m}^2$
Ancho del tanque (B)	$B = (A_s/4)^{0.5}$	$B = 0,91 \text{ m}$
Largo del tanque (L)	$L = 4 * B$	$L = 3,6 \text{ m}$
Chequeo de la carga hidráulica superficial	$CHS = Q/A_s$	$CHS = 248 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-dia}$
Chequeo del tiempo de retención hidráulico	$TRH = V/Q$	$TRH = 942 \text{ S}$
Chequeo de la velocidad horizontal	$V = L/TRH$	$V = 0,004 \text{ m/s}$
Velocidad horizontal máxima admitida	$V = 20 * V_s$	$V = 0,1576 \text{ m/s}$
Altura de la lámina en el vertedero de salida	$H = (Q/(1.84 * B))^{2/3}$	$H = 0,032 \text{ m}$
Velocidad sobre la cresta del vertedero de salida	$V_v = Q/B * H$	$V = 0,33 \text{ m/s}$
Ancho del canal de salida	$X_s = 0.36 * v^{2/3} + 0.6 * H^{4/7}$	$X_s = 0,255 \text{ m}$
Caudal de excesos	$Q_{exc} = (Q_{des} - Q_d) / \text{Num.Modulo}$	$0,005 \text{ m}^3/\text{s}$
Altura de la lámina sobre el vertedero de excesos	$H_e = (Q_{exc}/1.84 * L)^{2/3}$	$H_e = 0,018 \text{ m}$

ALMACENAMIENTO DE LODOS

Relación longitud : profundidad lodos: 10:1	10
Profundidad máxima	2,90 m
Profundidad máxima adoptada	1,90 m
Profundidad mínima adoptada	1,00 m
Distancia pto. De salida a cam aquiet	$L/3 = 1,2 \text{ m}$
Distancia pto. De salida a vert salida	$2(L/3) = 2,43 \text{ m}$
Pendiente transversal	PT = 98,6%
Pendiente longitudinal (en L/3)	74%
Pendiente longitudinal (en 2(L/3))	PT = 18,5%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 23.*Calculo cámara de quietamiento.*

CÁMARA DE AQUIETAMIENTO		
Profundidad = $H/3 = 0,900$ m	Ancho = $B/3 = 0,30$ m	Largo adoptado = 1,20 m
Altura de la lámina sobre el vertedero de excesos		$H_e = (Q_{exc}/1.84 * L_e)^{(2/3)}$ He = 0,027 m
$Q = 0,0095$ m ³ /s	$L_e = 1,20$ m	

Fuente: elaboración propia.

- El periodo de retención hidráulica debe fluctuar entre 30 minutos y cuatro horas, en el caso del desarenador diagnosticado no cumple con este tiempo ya que nos dio un tiempo de 15,7 minutos respecto al reglamento técnico específicamente la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017.
- La carga hidráulica superficial debe estar entre 15 y 80 m³/m²*día, el desarenador diagnosticado no cumple con este parámetro porque nos dio un valor de 248 m³/m²*día.
- La velocidad horizontal debe ser menor que 0,25 m/s, el diagnostico actual del desarenador nos da como resultado una velocidad de 0,1576 m/s, cumpliendo a cabalidad con lo establecido con la norma.
- Las estructuras deben contar suficiente almacenamiento de arenas y contar con sistemas hidráulicos con pendientes superiores al 10% para obtener una eficiente evacuación del producto de desarenado, el desarenador cumple con estos requisitos, con una pendiente transversal de 98,6 % y una pendiente longitudinal de 74%.

En la tabla 24 podemos observarla la evaluación del desarenador y sus chequeos en cada uno de sus elementos comparados con la normativa.

Tabla 24.

Evaluación del desarenador respecto a la norma vigente Ras 2017.

DESARENADOR		
ELEMENTO	CHEQUEO	OBSERVACION
CHEQUEO CARGA HIDRAULICA SUPERFICIAL 248m ³ /m ² *día	No cumple	La carga hidráulica superficial debe estar entre 15 y 80 m ³ /m ² *día, el desarenador diagnosticado no cumple con este parámetro porque nos dio un valor de 248 m ³ /m ² *día
CHEQUEO DEL TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA 15,7 minutos	No cumple	El periodo de retención hidráulica debe fluctuar entre 20 minutos y cuatro horas, en el caso del desarenador diagnosticado no cumple con este tiempo ya que nos dio un tiempo de 15,7 minutos respecto al
VELOCIDAD HORIZONTAL MAXIMA ADMITIDA 0,1576 m/s	Cumple	La velocidad horizontal debe ser menor que 0,25 m/s, el diagnostico actual del desarenador nos da como resultado una velocidad de 0,1576 m/s, cumpliendo a cabalidad con lo establecido con la norma.
PENDIENTE LONGITUDINAL 74%	Cumple	Las estructuras deben contar suficiente almacenamiento de arenas y contar con sistemas hidráulicos con pendientes superiores al 10% para obtener una eficiente evacuación del producto de desarenado, el desarenador cumple con estos requisitos, una pendiente longitudinal de 74%.

Fuente: Elaboración propia.

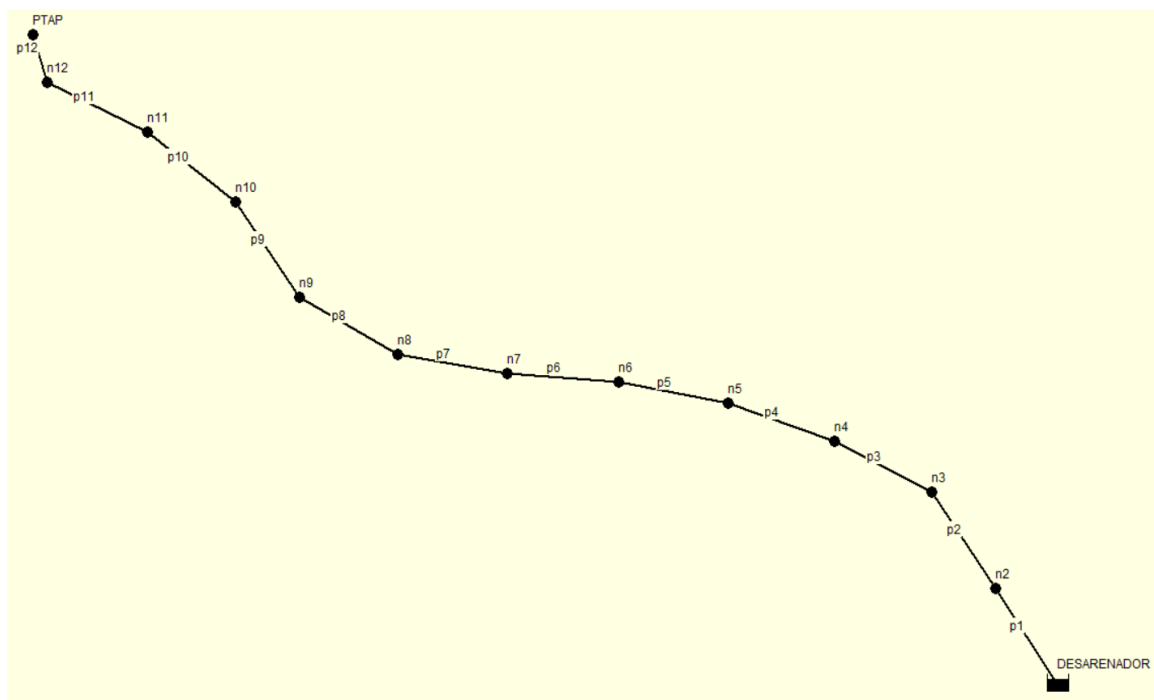
7.2.4 Evaluación de la Línea de conducción

Para evaluar la línea de conducción del acueducto en su situación actual y futura se hace necesario realizar una simulación hidráulica que permita identificar toda la variabilidad de sus componentes para cada escenario evaluado.

Para elaborar la simulación, se tomó la información de altimetría ofrecida de libre acceso por el IGAC en la plancha 224, esta se complementó con la visita a campo para la identificación de los accesorios y componentes de la línea, a continuación, se presenta el esquema de los componentes de la línea de conducción.

Figura 23.

Línea de conducción modelada en epanet 2.

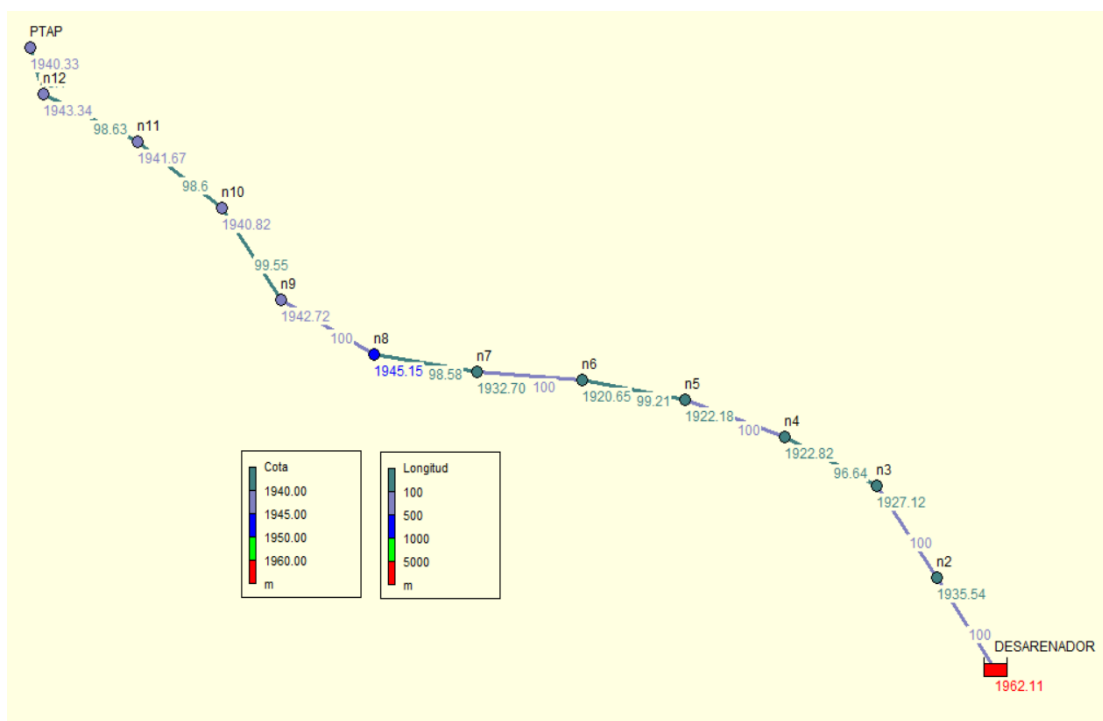


Nota. Fuente: Elaboración propia, modelación hidráulica en software EPANET 2.

En la figura 23 podemos observar, el desarenador y la línea de conducción con sus respectivos nodos que son los puntos de conexión de la tubería cada 100 metros aproximadamente, se tiene un tramo de tubería en polietileno de 6 pulgadas con una longitud de 595,85 metros y se reduce a una tubería de 3 pulgadas con aproximadamente 538.46 metros de longitud, llegando a la planta de tratamiento de agua potable.

Figura 24.

Línea de conducción, Longitud y cotas de nivel.



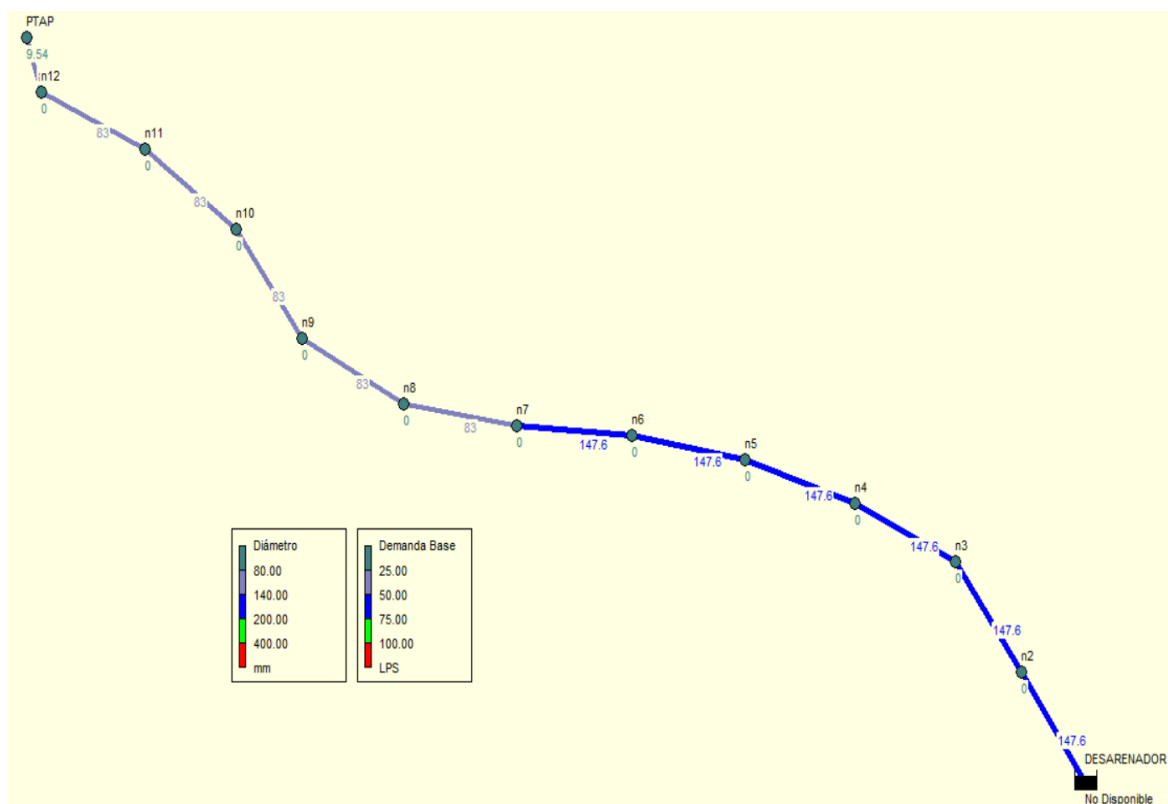
Nota. Fuente: elaboración propia, modelación hidráulica en software EPANET 2.

En la figura 24 podemos observar las respectivas longitudes y cotas de nivel de cada tramo de tubería de la línea de conducción desde el desarenador hasta la planta de tratamiento de agua potable.

Observamos en las figuras 25 y 26, se presentan la demanda base de 9,54 l/s que llega a la planta de tratamiento de agua potable en tubería de polietileno de diámetro interno de 6 pulgadas, hasta el nodo número 7, se puede observar que la presión y velocidad en la línea cumple con los estándares establecidos por la norma vigente, luego se reduce la tubería a un diámetro interno de 3 pulgadas hasta la planta de tratamiento de agua potable, la presión y la velocidad en este tramo de tubería también cumple a cabalidad con lo establecido por el Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2017).

Figura 25.

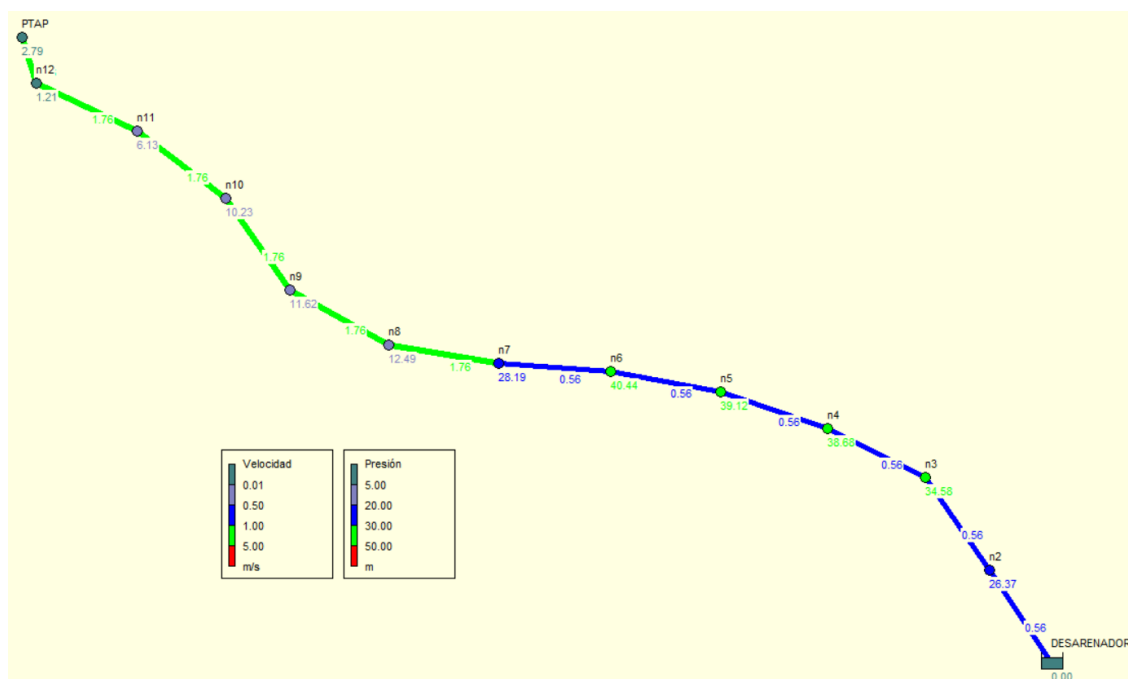
Línea de conducción, Demanda base y diámetros de tubería.



Nota. Fuente: elaboración propia, modelación hidráulica en software EPANET 2.

Figura 26.

Línea de conducción, Velocidad y presión.

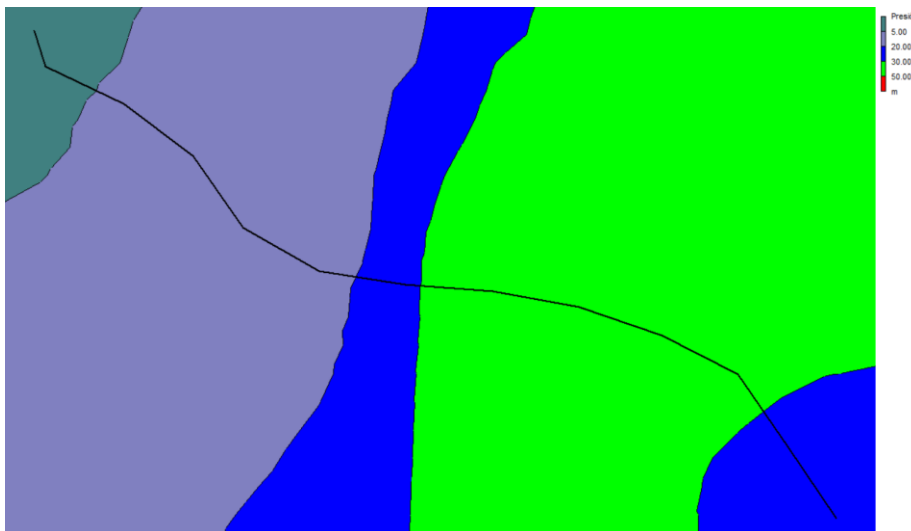


Nota. **Fuente:** elaboración propia, modelación hidráulica en software EPANET 2.

A continuación, en la figura 27 se presenta el mapa de isolneas de presiones que es la representación visual de los contornos de las presiones que tiene la línea de tubería, facilita el entendimiento de las zonas donde se pueden presentar mayores y menores presiones.

Figura 27.

Diagrama de isoclinas de presión donde podemos observar los contornos de las presiones de la línea.



Nota. Fuente: elaboración propia, modelación hidráulica en software EPANET 2.

Evaluación de la línea de conducción.

En las siguientes tablas se muestra, el desarenador y la línea de conducción, que operan como nodos intermedios, estableciendo puntos de unión a intervalos en el sistema de tuberías. Se destaca un segmento de tubería fabricada en polietileno de 6 pulgadas, con una extensión total de 595.85 metros, que experimenta una disminución progresiva a una tubería de 3 pulgadas, alcanzando una longitud de aproximadamente 538.46 metros.

Tabla 25.

longitud por tramos de la línea de conducción.

ID	Nudo	Nudo	Longitud	Diámetro
Línea	Inicial	Final	m	mm
p1	DESARENADOR	n2	100	147.6
p2	n2	n3	100	147.6

p3	n3	n4	96.64	147.6
p4	n4	n5	100	147.6
p5	n5	n6	99.21	147.6
p6	n6	n7	100	147.6
p7	n7	n8	98.58	83
p8	n8	n9	100	83
p9	n9	n10	99.55	83
p10	n10	n11	98.6	83
p11	n11	n12	98.63	83
p12	n12	PTAP	43.1	83

Fuente: elaboración propia, basado en resultados de simulación.

En la tabla 26, se describen las condiciones de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable, desde la demanda inicial de 9,54 litros por segundo que ingresa a través de una tubería de polietileno. Es importante destacar que, durante este tramo, las presiones del flujo cumplen de manera satisfactoria con los parámetros definidos por la normativa vigente.

Tabla 26.

Demanda, Altura y presión de la línea de conducción.

ID	Demanda	Altura	Presión	Calidad
Nudo	LPS	m	m	
n2	0.00	1961.91	26.37	0.00
n3	0.00	1961.70	34.58	0.00
n4	0.00	1961.50	38.68	0.00
n5	0.00	1961.30	39.12	0.00
n6	0.00	1961.09	40.44	0.00
n7	0.00	1960.89	28.19	0.00
n8	0.00	1957.64	12.49	0.00
n9	0.00	1954.34	11.62	0.00
n10	0.00	1951.05	10.23	0.00
n11	0.00	1947.80	6.13	0.00
n12	0.00	1944.55	1.21	0.00
PTAP	9.54	1943.12	2.79	0.00
DESARENADOR	-9.54	1962.11	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia, basado en resultados de simulación.

Al modelar los tramos podemos encontrar las velocidades mostradas en las tablas 27 donde todos los tramos cumplen, Cabe resaltar que, en este segmento de la tubería, las condiciones de la velocidad del flujo también se mantienen en total conformidad con los requisitos establecidos por el Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS). Se aprecian las pérdidas en los tramos de la línea de conducción.

Tabla 27.

Velocidades y pérdidas en la línea de conducción.

ID	Caudal	Velocidad	Pérd.	Unit.
Línea	LPS	m/s	m/km	
p1	9.54	0.56	2.05	Abierto
p2	9.54	0.56	2.05	Abierto
p3	9.54	0.56	2.05	Abierto
p4	9.54	0.56	2.05	Abierto
p5	9.54	0.56	2.05	Abierto
p6	9.54	0.56	2.05	Abierto
p7	9.54	1.76	32.99	Abierto
p8	9.54	1.76	32.99	Abierto
p9	9.54	1.76	32.99	Abierto
p10	9.54	1.76	32.99	Abierto
p11	9.54	1.76	32.99	Abierto
p12	9.54	1.76	33.20	Abierto

Fuente: elaboración propia, basado en resultados de simulación.

Es necesario establecer la evaluación tanto presente como futura de los sistemas de acueducto, se ha observado en la tabla 28 que en la población proyectada se presentan desafíos en la infraestructura por presiones negativas en los tramos donde la tubería es de 3 pulgadas, los cuales requieren prontas correcciones a fin de asegurar la continuidad del suministro de este servicio.

No se evidencian velocidades significativamente elevadas que puedan generar un deterioro prematuro de la infraestructura de tuberías, como se ilustra en la tabla 26.

Tabla 28.*Demanda, Altura; Presión de línea de conducción proyectada.*

ID	Demanda	Altura	Presión	Calidad
Nudo	LPS	m	m	
n2	0.00	1961.25	25.71	0.00
n3	0.00	1960.39	33.27	0.00
n4	0.00	1959.56	36.74	0.00
n5	0.00	1958.69	36.51	0.00
n6	0.00	1957.84	37.19	0.00
n7	0.00	1956.98	24.28	0.00
n8	0.00	1942.97	-2.18	0.00
n9	0.00	1928.76	-13.96	0.00
n10	0.00	1914.61	-26.21	0.00
n11	0.00	1900.60	-41.07	0.00
n12	0.00	1886.59	-56.75	0.00
PTAP	21.08	1880.42	-59.91	0.00
DESARENADOR	-21.08	1962.11	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia, basado en resultados de simulación.**Tabla 29.***Velocidad y pérdidas de línea de conducción proyectada.*

ID	Caudal	Velocidad	Pérd.	Unit.
Línea	LPS	m/s	m/km	
p1	21.08	1.23	8.61	Abierto
p2	21.08	1.23	8.61	Abierto
p3	21.08	1.23	8.61	Abierto

p4	21.08	1.23	8.61	Abierto
p5	21.08	1.23	8.61	Abierto
p6	21.08	1.23	8.61	Abierto
p7	21.08	3.90	142.11	Abierto
p8	21.08	3.90	142.10	Abierto
p9	21.08	3.90	142.10	Abierto
p10	21.08	3.90	142.11	Abierto
p11	21.08	3.90	142.11	Abierto
p12	21.08	3.90	143.12	Abierto

Fuente: elaboración propia, basado en resultados de simulación.

La propuesta de enmienda para prevenir un posible colapso en la línea de conducción consiste en el aumento del diámetro de la tubería de polietileno a 6 pulgadas a lo largo de todo el tramo. Esta medida permitiría evitar complicaciones relacionadas con presiones negativas y minimizaría el riesgo de velocidades excesivas que pudieran ocasionar un desgaste prematuro de la infraestructura, tal como se ilustra en las tablas 30, 31 y 33.

Tabla 30.

Diámetros y longitudes de línea de conducción proyectada.

ID	Nudo	Nudo	Longitud	Diámetro
Línea	Inicial	Final	m	mm
p1	DESARENADOR	n2	100	147.6
p2	n2	n3	100	147.6
p3	n3	n4	96.64	147.6
p4	n4	n5	100	147.6
p5	n5	n6	99.21	147.6
p6	n6	n7	100	147.6
p7	n7	n8	98.58	147.6
p8	n8	n9	100	147.6
p9	n9	n10	99.55	147.6
p10	n10	n11	98.6	147.6
p11	n11	n12	98.63	147.6
p12	n12	PTAP	43.1	147.6

Fuente: elaboración propia, basado en resultados de simulación.

Tabla 31.*Presiones y altura de la línea de conducción proyectada.*

ID	Demanda	Altura	Presión	Calidad
Nudo	LPS	m	m	
n2	0.00	1961.25	25.71	0.00
n3	0.00	1960.39	33.27	0.00
n4	0.00	1959.56	36.74	0.00
n5	0.00	1958.69	36.51	0.00
n6	0.00	1957.84	37.19	0.00
n7	0.00	1956.98	24.28	0.00
n8	0.00	1956.13	10.98	0.00
n9	0.00	1955.27	12.55	0.00
n10	0.00	1954.41	13.59	0.00
n11	0.00	1953.56	11.89	0.00
n12	0.00	1952.71	9.37	0.00
PTAP	21.08	1952.34	12.01	0.00
DESARENADOR	-21.08	1962.11	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia, basado en resultados de simulación.**Tabla 32.***Velocidades y perdidas proyectadas.*

ID	Caudal	Velocidad	Pérd.	Unit.
Línea	LPS	m/s	m/km	
p1	21.08	1.23	8.61	Abierto
p2	21.08	1.23	8.61	Abierto
p3	21.08	1.23	8.61	Abierto
p4	21.08	1.23	8.61	Abierto
p5	21.08	1.23	8.61	Abierto
p6	21.08	1.23	8.61	Abierto
p7	21.08	1.23	8.61	Abierto
p8	21.08	1.23	8.61	Abierto
p9	21.08	1.23	8.61	Abierto
p10	21.08	1.23	8.61	Abierto
p11	21.08	1.23	8.61	Abierto
p12	21.08	1.23	8.71	Abierto

Fuente: elaboración propia, basado en resultados de simulación

En la siguiente tabla observamos la evaluación de la línea de conducción con la población actual y proyectada comparando los parámetros con la resolución 0330 de junio de 2017.

Tabla 33.

Evaluación de la línea de conducción actual y futura respecto al Ras 2017.

LINEA DE CONDUCCION		
ELEMENTO	CHEQUEO	OBSERVACION
LINEA DE CONDUCCION ACTUAL Presiones positivas y velocidad menor a 5 m/s.	Cumple	se puede observar que la presión y velocidad en la línea cumple con los estándares establecidos por la norma vigente
LINEA DE CONDUCCION FUTURA A 25 AÑOS presiones negativas en el tramo de tubería de 3 "	No cumple	En la población proyectada se presentan desafíos en la infraestructura por presiones negativas en los tramos donde la tubería es de 3 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia.

7.3 Proponer alternativas de soluciones y mejora.

Con base a los cálculos y parámetros de diseño estipulados específicamente en la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017 se identificó que las condiciones actuales del sistema de acueducto no cumplen con todos los requisitos. Se pretende con esta información proponer algunas alternativas de mejoras para implementar y mejorar el rendimiento y funcionamiento del acueducto en su situación actual y proyectado.

7.3.1 Alternativas de soluciones y mejora de la bocatoma de fondo

- Conformación del perfil de la presa o Azud para evitar la socavación en el cuerpo de la presa.
- Tubería de evacuación de sedimentos, que actualmente no está en funcionamiento.
- Construir un pozo de amortiguación o amortiguamiento, y el dado disipador con esto se controla la socavación y erosión, y se evitaría traumatismo a la quebrada. Esto también con el fin de que el resalto hidráulico controle el régimen súper crítico.
- Diseñar caja de derivación para control de caudal de captación.
- Realce de muros laterales para evitar filtraciones de la quebrada en la bocatoma.

7.3.2 Alternativas de soluciones y mejora del desarenador

- Diseñar vertedero de excesos para mejorar las condiciones por que no cumple el tiempo de retención y la capacidad.
- La mejor solución es construir un nuevo desarenador porque este no cumple con la capacidad que se requiere por su tamaño.

7.3.3 Alternativas de soluciones y mejora la línea de aducción

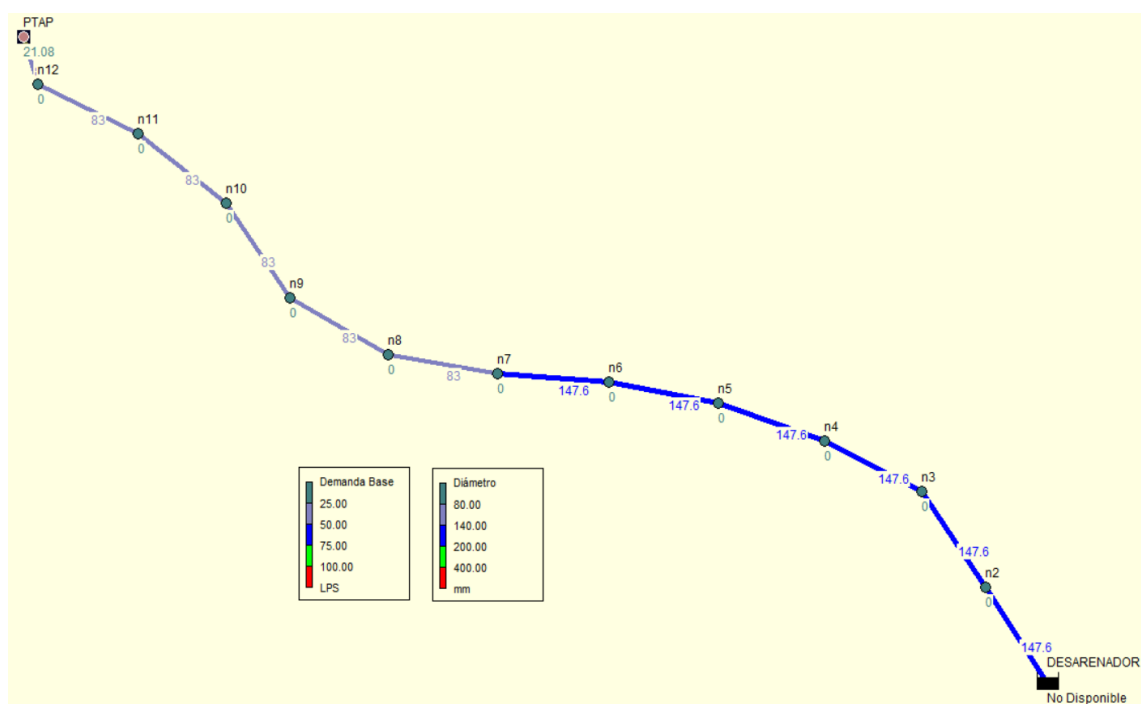
Actualmente cumple con todos los requerimientos de la norma vigente específicamente la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017.

7.3.4 Alternativas de soluciones y mejora de la línea de conducción

Según la resolución 0330 del 2017 RAS artículo 135, el acueducto se debe evaluar con un periodo de diseño a 25 años. Para el presente proyecto se evalúa con un tiempo de proyección de caudal de diseño futuro de 21,08 L/S. (ver anexo 2)

Figura 28.

Línea de conducción, población futura a 25 años.

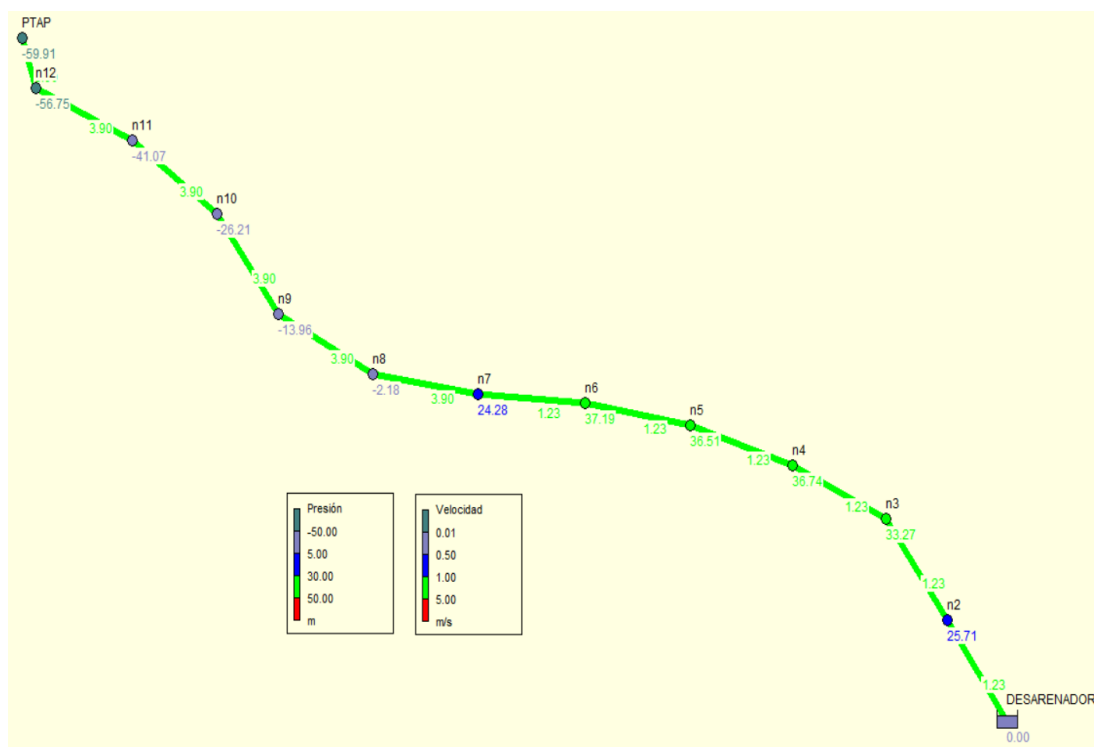


Nota. Fuente: elaboración propia, modelación hidráulica en software EPANET 2.

En la siguiente figura 29, observamos que el tramo comprendido entre los nodos 8 y el nodo 12, donde se reduce el tamaño de la tubería interna de 6 pulgadas a 3 pulgadas diseño actual, se presentan presiones negativas lo cual haría que la línea de conducción colapse.

Figura 29.

Línea conducción, velocidad y presión en línea.

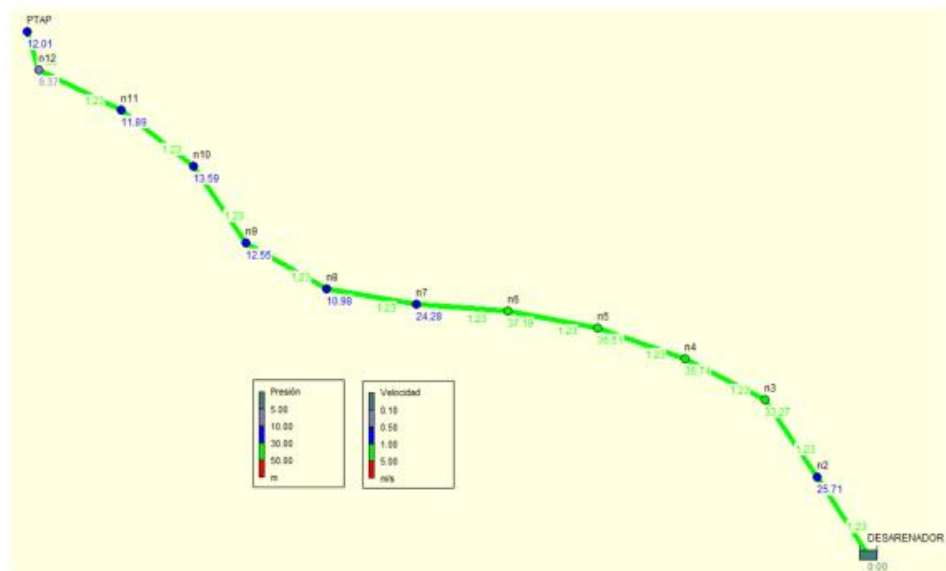


Nota. **Fuente:** elaboración propia, modelación hidráulica en software EPANET 2.

- La alternativa de solución y mejora para evitar que la línea de conducción colapse, es aumentar el tamaño a todo el tramo en tubería de polietileno de 6 pulgadas de esta forma evitaríamos tener problemas de presiones negativas y no se presentan velocidades altas que produzcan desgaste prematuro a la tubería, como se presenta en la siguiente figura 30.

Figura 30.

Línea de conducción con tubería de 6 pulgada. en todo su tramo.

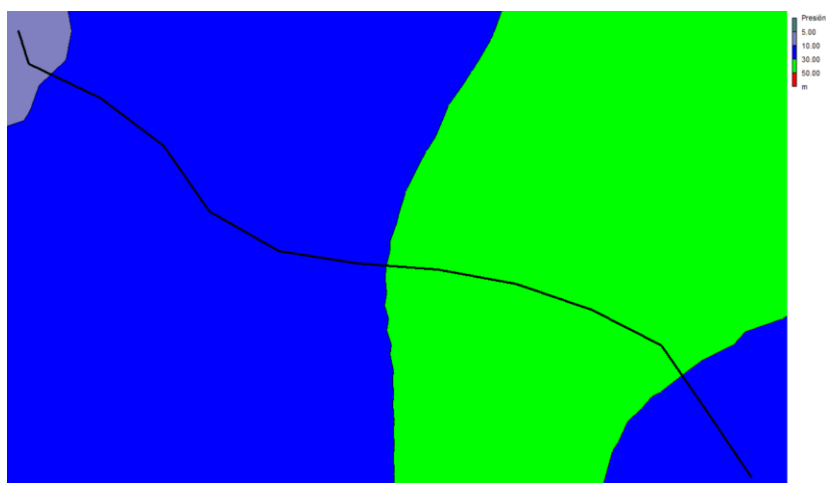


Nota.

Fuente: elaboración propia, modelación hidráulica en software EPANET

Figura 31.

Mapa de isolineas de presiones y velocidades positivas con tubería de 6 pulgadas en todo el tramo donde se puede observar el comportamiento de la tubería cumpliendo a cabalidad con la norma Ras 2017.



Nota. Fuente: elaboración propia, modelación hidráulica en software EPANET 2.

8. Conclusiones

Para una adecuada evaluación de un acueducto es menester poseer la mayor cantidad de información primaria e histórica del sitio tanto de su población como las características de su fuente superficial, para el caso de estudio se logró llevar a cabo una evaluación física ya que se logró de primera mano identificar cada uno de los principales componentes del acueducto.

La norma vigente presenta los parámetros mínimos para cada componente de los sistemas de acueducto los cuales son los lineamientos para realizar las evaluaciones tanto actual como futura. En el caso de estudio el acueducto funciona adecuadamente para su población actual, presenta carencias de algunos elementos de las estructuras, los cuales, si bien son elementos necesarios para un correcto funcionamiento, no son determinantes para la entrega del fluido.

Se ha observado que existen inconvenientes en la infraestructura de la línea de conducción que podrían afectar la población proyectada. Estos problemas requieren intervenciones y correcciones anticipadas para asegurar que el servicio se preste de manera eficiente y sin interrupciones. Es crucial abordar estos desafíos con la debida antelación, implementando medidas correctivas y de mantenimiento para garantizar la continuidad y la calidad del suministro de servicios a la población prevista. La planificación y ejecución de estas acciones correctivas son esenciales para evitar posibles complicaciones y asegurar una operación fluida y confiable de la línea de conducción en el futuro.

la implementación de estas medidas de mejoramiento de la captación se revela de vital importancia para asegurar la estabilidad y eficacia de la presa o azud. La conformación del perfil

de la estructura, la habilitación de la tubería de evacuación de sedimentos, la construcción del pozo de amortiguación y dado disipador, el diseño de la caja de derivación y el realce de los muros laterales son pasos esenciales para prevenir la socavación, la erosión, y garantizar la protección de la quebrada. Además, estas acciones contribuirán a que el resalto hidráulico tenga el control sobre el régimen súper crítico, mejorando la seguridad y la eficiencia de la presa, lo que es de suma relevancia para el éxito del proyecto y la preservación del entorno natural.

las implementaciones de estas medidas de mejoramiento de la captación son necesarias para garantizar la estabilidad de la estructura en el tiempo.

En el desarenador se tiene la necesidad de diseñar un vertedero de excesos y la construcción de un nuevo desarenador son pasos críticos en la mejora de las condiciones operativas de este sistema. La incapacidad del desarenador actual para cumplir con la capacidad requerida y la falta de un vertedero de excesos adecuado han sido identificados como limitaciones significativas. Estas acciones son fundamentales para garantizar un tiempo de retención adecuado y mejorar la capacidad del sistema. La implementación de estas soluciones será esencial para optimizar el funcionamiento y la eficiencia del acueducto, lo que resultará en un sistema más efectivo y capaz de cumplir con los requisitos establecidos.

Referencias Bibliográficas

- Acuabella. (2023). *empresa asociacion de suscriptores del servicio de acueducto y alcantarillado . pereira .*
- Alexander, H. M., & Daniel, S. G. (2019). *diagnóstico y optimización del sistema de acueducto veredal asuarcopsa de anapoima entre la bocatoma y la planta de tratamiento. medellin: repositorio universidad catolica.*
- Baptista, L. M., Fernández, C. C., & Hernández, S. R. (2014). *Metodología de la Investigación.* Mexico D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Campos, J. C. (1 de noviembre de 2023). *Revista tecnica de medio ambiente.* Obtenido de Obtenido de: <https://www.retema.es/actualidad/metodos-optimizacion-ayudan-reducir-consumo-coste-energetico-redes-hidraulicas-presion>
- Carlos, D. (1 de enero de 2020). *Ibal .* Obtenido de obtenido de: <https://ibal.gov.co/sites/default/files/ibal/sites/default/files/images/stories/Dise%C3%B1o%20hidraulico%20de%20acueductos.pdf>
- Castaño García, J. P. (2022). *Revisión y seguimiento al diagnóstico, alternativas y diseño de redes de acueducto en la comuna 1, municipio de Medellín y red de alcantarillado en el barrio Obrero, municipio de Bello.* Medellin: trabajo de grado .
- Castro Ovalle, D. C., & Serrano Aguirre, A. F. (2019). *Diagnostico y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del acueducto FAIMSYS del municipio de Cachipay.*

Cundinamarca: encontrado en repositorio universidad unimilitar en:

<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32798>.

cualla, R. a. (julio de 2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. colombia : nuevas ediciones s.a.

Darner, M. A. (2000). *Diagnóstico de la cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa rica* : San jose disponible en

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292000000100002.

Duque, b. m. (2019). *METODOLOGÍA PARA EL DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE*

ACUEDUCTOS. manizales : universidad catolica de manizales, disponible en el repositorio

<https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2454/1/Maria%20Alejandra%20Duque%20Bueno.pdf>.

E.S.P . (2023). Fifura 17. La Bella , Colombia.

Emserpla. (2014). *emserpla.gov.co*. Obtenido de Obtenido de: <https://www.emserpla.gov.co/wp-content/uploads/2020/10/PROCEDIMIENTO-ACUEDUCTO.pdf>

Escolero, o., Martínez, s., & Kralisch, e. (2016). *Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la*

Ciudad de México, México. mexico : Universidad Nacional Autónoma de México

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222016000300409.

Holguin, Z. F., & Palacio, T. I. (2020). *Diagnóstico y evaluación de los componentes del sistema de potabilización y la calidad del agua en el Municipio de Mistrató, departamento de Risaralda*. Pereira : Universidad antonio nariño de pereira; encontrado en el repositorio en <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2899>.

Iiama. (1 de noviembre de 2023). *instituto de ingenieria del agua y medio ambiente*. Obtenido de Obtenida de: <https://www.iiama.upv.es/iiama/es/transferencia/software/epanet-esp#:~:text=EPANET%20es%20un%20programa%20de,redes%20de%20suministro%20a%20presi%C3%B3n>.

Lerma, a. d. (2014). *DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ACUEDUCTO COMUNITARIO DE SAN. dosquebradas: universidad libre de pereira, disponible en el resipositorio* <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17061/DIAGN%C3%93STICO%20T%C3%89CNICO%20DEL%20ACUEDUCTO%20COMUNITARIO%20DE%20SAN%20FERNANDO%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20DOSQUEBRADASCOMPLET>.

market, A. (2021). *agua market*. Obtenido de <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=345>

Melgar, y., Tejedor, f. n., & Deago, E. M. (2021). *Diagnóstico de acueductos rurales abastecidos de fuentes subterráneas: caso de estudio El Calabacito, Provincia de Herrera, Panamá*. panamá : Universidad Tecnológica de Panamá <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/339/3392429007/3392429007.pdf>.

Ministerio de Vivienda, C. y. (2021). *Resolucion numero 0799 del 09 diciembre de 2021*. bogota.

Ministerio, d. v. (2019). Diagnostico del suministro de agua para consumo humano y domestico para zonas rurales. *diagnostico del servicio de acueducto y de otras alternativas de suministro de agua en zonas rurales*, 108. Obtenido de Obtenido de:

<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/guia-diagnostico-plan-de-gestion.pdf>

Municipios. (noviembre de 2023). *Municipios.com*. Obtenido de Municipio . Com. (2021).

Municipios de Colombia /Departamento d<https://www.municipio.com.co/corregimiento-labella.html#neighbour>

Ortiz, v. D., & Bolivar, m. s. (2014). *PROYECTO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL*

ACUEDUCTO COMUNITARIO. pereira: universidad libre de pereira Disponible

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17134/PROYECTO%20DE%20DIAGN%C3%93STICO%20T%C3%89CNICO%20DEL%20ACUEDUCTO.pdf?sequence=1>.

Quintero Jimenez, S. M. (2022). *Diagnóstico de Sistemas de Acueductos Rurales en el Municipio*

de Victoria - Caldas, con caso aplicativo de diseño hidráulico de tratamiento de agua

potable para un sistema que lo requiera. Ibagué : Universidad cooperativa de colombia,

Disponible en el repositorio [https://repository.ucc.edu.co/items/d7a480c9-f18c-46ee-](https://repository.ucc.edu.co/items/d7a480c9-f18c-46ee-98bc-8c674463ad32)

[98bc-8c674463ad32](https://repository.ucc.edu.co/items/d7a480c9-f18c-46ee-98bc-8c674463ad32) .

Rincon, M. b., & Novoa, R. E. (2022). *DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA*

RED DE ACUEDUCTO. girardot, cundinamarca: universidad piloto de colombia,

Disponible en el repositorio

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/11983/Monografia%20>

Carmen%20de%20Apicala%20Final%202022%20%281%29%20%28Recuperado%20au
tom%C3%A1ticamente%29.pdf?sequence=1&isAllo.

solorzano, r. (2016). *power motiontech*. Obtenido de <https://www.powermotiontech.com/hp-en-espanol/article/21886592/cavitacin-en-un-sistema-hidraulico>

Territorio, P., & Sostenible. (2023). *Pereira territorio sostenible*. Obtenido de Obtenida de <https://pereira.tracking-progress.org/indicator/poblacion-comunas-corregimientos/>

Anexos

1. Hoja de cálculos estructuras de captación la bella población actual.
2. Hoja de cálculos estructuras de captación la bella población futura.
3. Planos acueducto la bella.
4. Perfiles línea de aducción y conducción.
5. Simulación línea de conducción.

