

OPTIMIZACION DE LA PLANTA DE POTABILIZACION DE AGUAS DEL
MUNICIPIO DE BELEN

VALENTINA MEDINA SERRANO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2025

OPTIMIZACION DE LA PLANTA DE POTABILIZACION DE AGUAS DEL
MUNICIPIO DE BELEN

VALENTINA MEDINA SERRANO

Pasantía o Proyecto Social para obtener el título de Ingeniero Civil

Director: Diana María Beltrán Beltrán
Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio
Ambiente

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2025

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la ingeniera Diana María Beltrán Beltrán por su valioso acompañamiento y guía a lo largo de mi pasantía en la empresa *SERVIBELÉN E.S.P.* Su apoyo incondicional y su disposición para compartir su conocimiento fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Asimismo, extendo mi profunda gratitud al ingeniero Diego Porras, quien, con su dedicación y orientación, me guió pacientemente a través de los complejos procesos técnicos de la planta de tratamiento de aguas. Sus detalladas explicaciones y su compromiso para que yo comprendiera cada etapa fueron cruciales para mi aprendizaje y para la correcta ejecución de mi trabajo. La confianza que depositaron en mí fue una motivación constante para dar lo mejor de mí y superar los retos que se presentaron.

Gracias a su invaluable apoyo, esta experiencia no solo me permitió aplicar los conocimientos adquiridos en la academia, sino también crecer profesionalmente y adquirir nuevas habilidades que, sin duda, serán de gran utilidad en mi futuro.

DEDICATORIA

A mi amado hijo, Carlos Gabriel, la luz de mi vida y mi mayor inspiración. Cada día, tu sonrisa me ha recordado la razón de mi esfuerzo y me ha impulsado a dar lo mejor de mí. Esta tesis es para ti, mi amor, para que veas que con perseverancia y amor, los sueños se hacen realidad. Eres el motor de mi vida y mi más grande tesoro.

A mis padres, por su apoyo incondicional, su amor inquebrantable y por ser los pilares que siempre me sostuvieron. Su fe en mí me dio la fuerza para seguir adelante incluso cuando las cosas se pusieron difíciles. Gracias por cada sacrificio, por cada consejo y por la confianza que siempre depositaron en mí.

Y a mí misma, por mí la perseverancia, por no rendirme a pesar de las adversidades, por cada noche de desvelo, por las lágrimas de frustración y por la alegría de cada logro. Esta tesis es el reflejo de una batalla interna ganada, de la fortaleza que encontré en los momentos más oscuros y de la convicción de que era capaz. Es la prueba de que, con disciplina y un corazón lleno de amor, podemos alcanzar las metas más ambiciosas .

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 14 de julio, 2025.

CONTENIDO

DEDICATORIA	4
ABSTRACT RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS.....	12
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA O EMPRESA	13
3. DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....	16
4. APORTES DEL TRABAJO	51
4.1 COGNITIVOS.....	51
4.2 A LA COMUNIDAD	54
5. IMPACTOS DEL TRABAJO DESEMPEÑADO	57
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
7. GLOSARIO	65
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
9. APENDICES Y ANEXOS.....	68

INDICE DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1 Índice IRCA, valores de riesgo. Fuente: IRCA</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2 Evaluación fuente hídrica índice IRCA. Fuente: Propia.</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3 Prueba Fisico-química. Fuente: Propia.</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4 Valores fuente hídrica índice IRCA regular. Fuente: índice IRCA.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 5 Determinación física y química inicial muestra de agua cruda. Fuente: Propio.</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 6 Ensayo de Jarras, concentraciones. Fuente: Propio.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 7 Determinación física y química final Jarra 4. Fuente: Propia</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 8 Aforo bocatoma 1. Fuente: Propia.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 9 Aforo bocatoma 2 Fuente: Propia.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 10 Parámetros diseño Floculador. Fuente: Propia.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 11 Consideraciones generales Floculador. Fuente: Propia.</i>	<i>48</i>

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Ilustración 1 Ubicación geográfica del municipio de Belén. Fuente: GOOGLE MAPS.....</i>	14
<i>Ilustración 2 Estructura organizacional de Servibelén E.S.P Fuente: Plan Maestro de Servibelén E.S.P.....</i>	15
<i>Ilustración 3 Fuetes hídricas abastecedoras 1 Fuente: Propia.</i>	17
<i>Ilustración 4 Bocatomas fuentes hídricas abastecedoras 1. Fuente: Propia.....</i>	18
<i>Ilustración 5 Dimensionamiento desarenador 1. Fuente: Propia.</i>	19
<i>Ilustración 6 Dimensionamiento desarenador 1 Cámara de aquietamiento. Fuente: Propia.</i>	20
<i>Ilustración 7 Dimensionamiento Desarenador 1, Área de sedimentación y Válvula de lavado. Fuente: Propia.</i>	21
<i>Ilustración 8 Dimensionamiento desarenador 1, Válvula de rebose. Fuente: Propia.</i>	22
<i>Ilustración 9 Dimensionamiento desarenador 1, Estructura total del desarenador1. Fuente: Propia.</i>	23
<i>Ilustración 10 Bocatoma fuentes hídricas abastecedoras 2. Fuente: Propia.</i>	24
<i>Ilustración 11 Fuentes hídricas abastecedoras 2, Río Salguera. Fuente: Propia. ..</i>	25
<i>Ilustración 12 Dimensionamiento desarenador 2, Cámara de aquietamiento, Zona de sedimentación. Fuente: Propia.</i>	26
<i>Ilustración 13 Dimensionamiento desarenador 2, Estructura total. Fuente: Propia.</i>	27
<i>Ilustración 14 Planta de tratamiento de agua potable de Belén. Fuente: Plan Maestro Servibelén E.S.P.....</i>	28
<i>Ilustración 15 Planta de tratamiento de agua potable de Belén, Filtro dinámico. Fuente: Propia.</i>	29
<i>Ilustración 16 Planta de tratamiento de agua potable de Belén, Filtro grueso. Fuente: Propia.</i>	30
<i>Ilustración 17 Planta de tratamiento de agua potable de Belén, Filtro lento. Fuente: Propia.</i>	31
<i>Ilustración 18 Planta de tratamiento de agua de Belén, Caseta de cloración. Fuente: Propia.</i>	32
<i>Ilustración 19 Planta de tratamiento de agua potable de Belén, Tanque de almacenamiento. Fuente: Propia.</i>	33
<i>Ilustración 20 Toma de muestras. Fuente: Propia.</i>	35
<i>Ilustración 21 Análisis de muestras laboratorio USTA Tunja. Fuente: Propia.</i>	43
<i>Ilustración 22 Modelo de optimización PTAP Belén. Fuente: Propia.</i>	50

RESUMEN

La presente pasantía desarrollada a continuación se realizó en el municipio de Belén en el departamento de Boyacá, en La empresa solidaria de servicios públicos SERVIBELÉN E.S.P, la cual se encarga de la prestación de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, con un enfoque enmarcado en la mejora de la calidad del agua potable de la región, por lo que se llevó a cabo un análisis extenso de todos los componentes del acueducto del municipio desde la captación de agua, conducción, tratamiento y posterior distribución de la misma. Lo cual permitió diagnosticar el estado del sistema de agua potable y centrar primordialmente su atención en la planta de potabilización de agua, una vez diagnosticados los defectos presentes en esta se procede a diseñar un método de optimización que mejore todas las falencias encontradas, implementando un modelo que integre el criterio de floculación para de esta manera contribuir positivamente con el eficaz desarrollo de la región ya que protege la salud pública, genera un beneficio socioeconómico y de esta manera mejora significativamente la calidad de agua potable.

Palabras clave: calidad de agua, diagnostico, floculación, optimización, acueducto.

ABSTRACT

The present internship developed below was carried out in the municipality of Belén in the department of Boyacá, in the public services company SERVIBELEN E.S.P, which is responsible for providing public services of aqueduct, sewerage and cleaning, with a focus on improving the quality of drinking water in the region, for which an extensive analysis of all components of the municipality's aqueduct was carried out from water intake, conduction, treatment and subsequent distribution. This allowed to diagnose the state of the drinking water system and focus primarily on the water purification plant, once the defects present in it were diagnosed, an optimization method was designed to improve all the deficiencies found, implementing a model that integrates the flocculation criterion in order to contribute positively to the effective development of the region since it protects public health, generates a socioeconomic benefit and thus significantly improves the quality of drinking water.

Keywords: water quality, diagnosis, flocculation, optimization, aqueduct.

INTRODUCCIÓN

El presente documento desarrolla la pasantía realizada en La empresa solidaria de servicios públicos de Belén - SERVIBELEN, con la asignación de auxiliar en ingeniería civil, la cual se realizó con un enfoque de análisis, diagnóstico y mejoramiento de la planta de potabilización del agua del municipio de Belén.

Inicialmente junto con el comienzo de actividades con fecha de inicio veinticuatro de octubre de dos mil veintitrés se realizó un análisis y profundización del estado del acueducto y alcantarillado del municipio, lo que permitió hacer una diagnostico general del estado de estos componentes de tratamiento, traslado, distribución y desecho; generando un encuadre especialmente en la planta de potabilización de aguas en la cual se evidenciaron varios factores de alarma que necesitaban un rediseño e implementación de diferentes elementos que permitieran mejorar la calidad del agua y desarrollar un modelo de optimización en su etapa final con la finalización de la pasantía el día dieciséis de febrero de dos mil veinticuatro.

Bajo la guía y el apoyo de mi tutora e ingeniera a cargo se logró plantear un diseño de mejora y optimización de la planta de potabilización de agua, mediante las actividades realizadas, con la asignación de tareas en diferentes áreas donde se realizaron y ejecutaron procesos para determinar la calidad del agua óptima para el municipio de Belén.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la necesidad y viabilidad de implementar una ampliación en la planta de potabilización del municipio de Belén, con el propósito de optimizar los procesos de remoción de partículas y mejorar la calidad del agua suministrada a la comunidad.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar el funcionamiento actual de la planta de potabilización del municipio de Belén, con el fin de identificar sus componentes, procesos operativos y eficiencia en la remoción de partículas.
2. Diagnosticar el estado técnico y operativo de la planta de potabilización de agua de Belén, considerando aspectos estructurales, hidráulicos y de calidad del agua tratada.
3. Diseñar un modelo de optimización para la planta de potabilización, incorporando un método de floculación que contribuya a mejorar la eficiencia del tratamiento y la calidad del agua suministrada.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA O EMPRESA

La Empresa Solidaria de Servicios Públicos de Belén, SERVIBELEN E.S.P., es una entidad sin fines de lucro establecida en 2003 con el objetivo de proveer servicios públicos esenciales en el municipio de Belén, Boyacá, Colombia. Su creación responde a la política de descentralización de los servicios públicos del país, buscando que los municipios asuman la responsabilidad de su gestión (García, 2020). La empresa está conformada principalmente por representantes de barrios y organizaciones legalmente constituidas.

Desde su fundación, la empresa ha adaptado sus operaciones a las exigencias y normativas del sector, incluyendo la Resolución 0330 de 2017 y la Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, s.f.). Este compromiso garantiza una mejora continua en la calidad de los servicios, en coherencia con los objetivos de desarrollo municipal (Plan de Desarrollo Municipal Belén, s.f.) y las políticas departamentales (Boyacá, s.f.).

La empresa ha realizado inversiones en infraestructura para expandir la cobertura y optimizar la eficiencia de sus servicios, siguiendo las directrices del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Belén (Boyacá, B., 2010). A pesar de estos avances, enfrenta desafíos en la gestión de recursos hídricos y la sostenibilidad ambiental. Un ejemplo de su compromiso es la implementación del Plan de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA).

Ubicado en la región andina de Colombia, el municipio de Belén se caracteriza por su geografía montañosa. Aunque posee recursos hídricos significativos, la economía local, basada en la agricultura y ganadería, ha generado un impacto negativo en fuentes de agua como el Río Salguera, donde se han vertido desechos pecuarios, de curtiembres, agrícolas y de minería.



Ilustración 1 Ubicación geográfica del municipio de Belén. Fuente: GOOGLE MAPS

La estructura organizativa de SERVIBELEN E.S.P. está diseñada para garantizar la eficiencia en la prestación de los servicios y el cumplimiento de sus objetivos, donde cuenta con una Asamblea de usuarios la cual desarrolla una labor fundamental por lo que respalda la participación ciudadana involucrándola activamente en la gestión de los servicios públicos, contribuyendo a la transparencia y la confianza en la misión de la empresa; El Consejo de Administración órgano crucial de dirección, encargado de establecer las políticas y estrategias de la empresa este supervisa la gestión de la gerencia y toma decisiones clave para el funcionamiento de la empresa; seguido de la Gerencia la cual es responsable de la gestión operativa de la misma, ejecutando las decisiones del Consejo de Administración además dirige las diferentes áreas de la entidad y coordina las actividades para garantizar la prestación de los servicios; Cuenta fundamentalmente con un área operativa que está compuesta por Acueducto y PTAP(Planta de Tratamiento de Agua Potable) el cual se encarga de la captación, tratamiento y distribución de agua potable, el Alcantarillado responsable de la recolección y tratamiento de aguas residuales y el Aseo encargado de la recolección, transporte y disposición de residuos sólidos. Para complementar su funcionalidad cuenta con unas áreas de apoyo las cuales están distribuidas en Administrativa y financiera donde se gestionan los recursos económicos y administrativos de la empresa y Atención al usuario encargado de la comunicación con los usuarios, y de la recepción de quejas y reclamos.

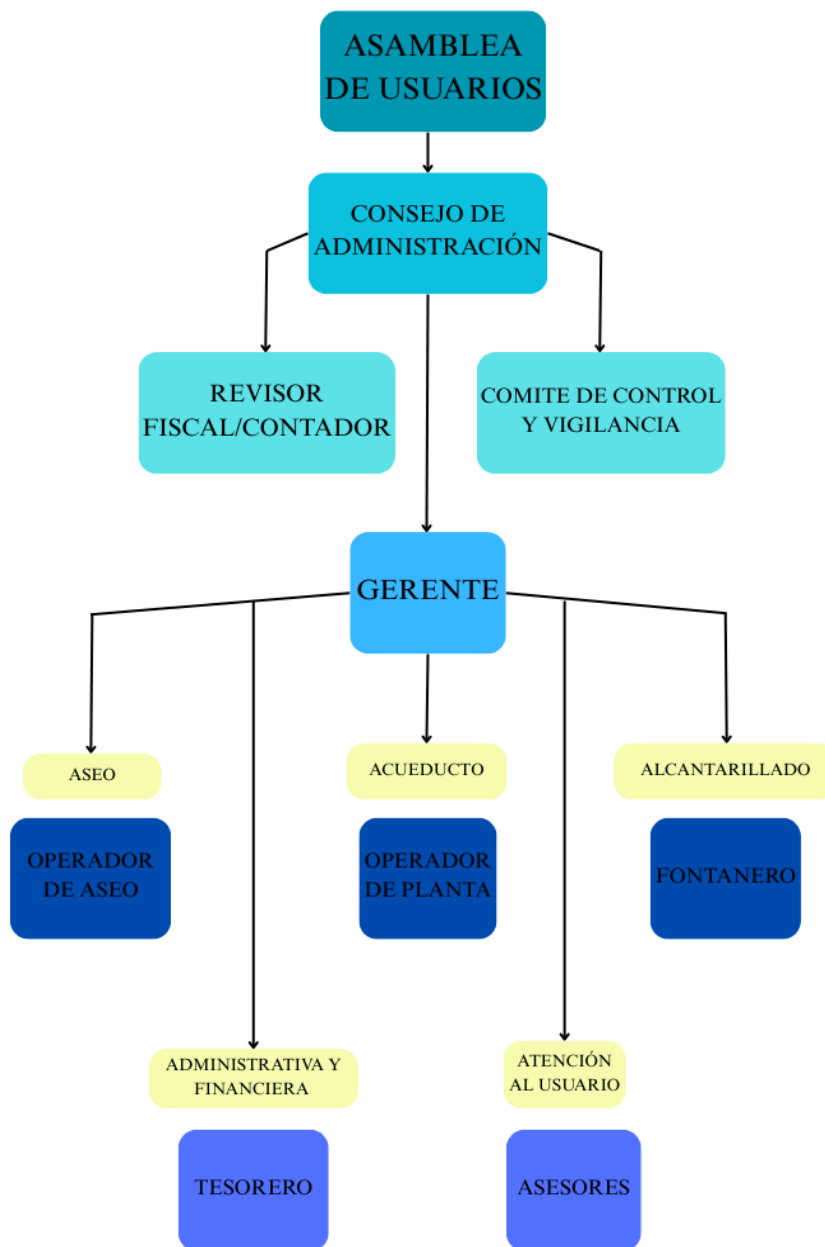


Ilustración 2 Estructura organizacional de Servibelén E.S.P Fuente: Plan Maestro de Servibelén E.S.P

A nivel interno como empresa están constantemente buscando la manera de optimizar la gestión de esta en cada componente de su estructura corporativa con la finalidad de mejorar la eficiencia en la prestación de los servicios y al mismo tiempo garantizar la sostenibilidad financiera de la empresa.

3. DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Durante su periodo como pasante de ingeniería civil en SERVIBELEN E.S.P, el pasante tuvo la oportunidad de participar activamente en proyectos esenciales para la optimización y el mantenimiento de la infraestructura de acueducto. Su enfoque principal se centró en aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en la universidad a situaciones prácticas, contribuyendo a la mejora continua de los servicios que la empresa ofrece a la comunidad. Las actividades desarrolladas abarcaron desde el diseño de soluciones para la optimización de procesos críticos, como la desarenación y la floculación, hasta la implementación de mejoras en el mantenimiento de las instalaciones sanitarias. A continuación, se detallan cada una de las tareas realizadas y su impacto en la eficiencia y calidad del servicio de acueducto.

1. Desarrollar actividades concernientes al diseño para la optimización en el funcionamiento del desarenador No. 2 en conformidad a los lineamientos establecidos por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio en el RAS 21 y en relación con lo establecido en la respectiva concesión de aguas.

Partiendo de la primera función a desarrollar como pasante, lo que inicialmente se hizo fue una contextualización del estado de las estructuras sanitarias en las que se iba a trabajar. Para ello, se tuvo en cuenta el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado del municipio de Belén, los planos estructurales del acueducto y alcantarillado, un informe topográfico de las estructuras, el RAS 21, el IRCA, informes de laboratorio de agua cruda y tratada, el diagnóstico del alcantarillado, y los documentos "Potabilización del agua" y "Calidad del agua" de Jairo Alberto Romero.

Con el conocimiento del estado de las estructuras sanitarias, se realizó una visita de campo a cada una de ellas. La primera, en las fuentes abastecedoras, correspondió a las quebradas Hoya de Porras o Concordia y Cuchilla Larga, las cuales se unen en el sitio denominado Puente de Niñas. Estas fuentes cuentan con una concesión de aguas de 14.7 litros por segundo, de acuerdo con la Resolución No. 0444 del 19 de abril de 2006, expedida por CorpoBoyacá. La *Ilustración 3* muestra la confluencia de las quebradas Hoya de Porras y Cuchilla Larga, encausada a la Bocatoma 1.

FUENTES HÍDRICAS ABASTECEDORAS

1

1. QUEBRADA
HOYA DE
PORRAS
2. QUEBRADA
CUCHILLA
LARGA
3. VÁLVULAS DE
CONTROL
4. BOCATOMA

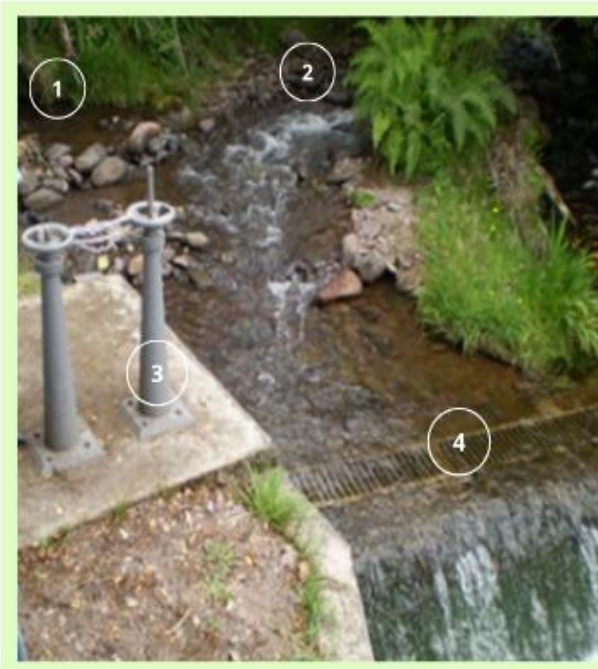


Ilustración 3 Fuentes hídricas abastecedoras 1 Fuente: Propia.

Donde además se pudo evidenciar que la Bocatoma 1 en este punto está construida en concreto, cuenta con una rejilla metálica longitudinal, de 4.20m de largo * 0.45m de ancho con barras de $\frac{1}{2}$ " separadas entre sí 0.06m y direccionadas en el sentido de flujo de la corriente como se ve en la *Ilustración 4*.

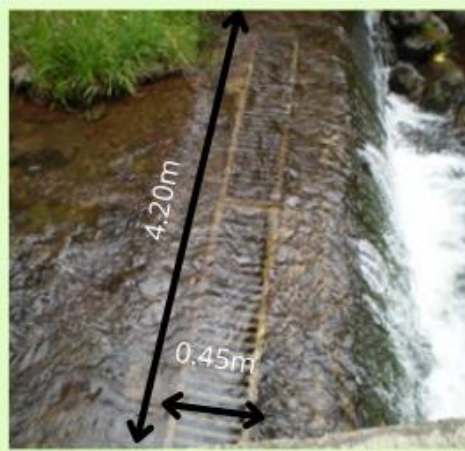
BOCATOMA FUENTES HÍDRICAS ABASTECEDORAS 1

DIMENSIONES BOCATOMA

1

Longitud: 4.20 m

Ancho: 0.45 m



Valvulas de control

Ilustración 4 Bocatomas fuentes hídricas abastecedoras 1. Fuente: Propia.

El diámetro de tubería de la rejilla a la caja de válvulas corresponde a 12", controlan el caudal con dos válvulas de 8" cada una, sale en un diámetro de 8" hasta el desarenador y recorre una longitud de 200m.

El caudal captado es conducido a una caja de concreto de 2.5 m de largo * 2.20m de ancho y una altura de 2.20m. El cual no cuenta con orificio de control de caudal, por lo que el caudal captado es superior al caudal concesionado por Corpoboyaca.

La Bocatoma se encuentra en buenas condiciones y se le hace un mantenimiento el primer día de cada mes.

Por otra parte, se ve la línea aducción del puente de niñas o de la Bocatoma 1 al Desarenador 1, donde se efectúa a través de tubería de PVC de 8" en una distancia de 200m al primer desarenador.

Prosiguiendo con la visita de campo se continuo al Desarenador Puente de Niñas o Desarenador 1 el cual está construido en concreto y presenta un dimensionamiento como se ve en la *Ilustración 5* donde se puede observar la cámara de entrada la cual tiene una longitud de 1.25m, un ancho de 1.25m y el espesor de los muros es de 0.20m.

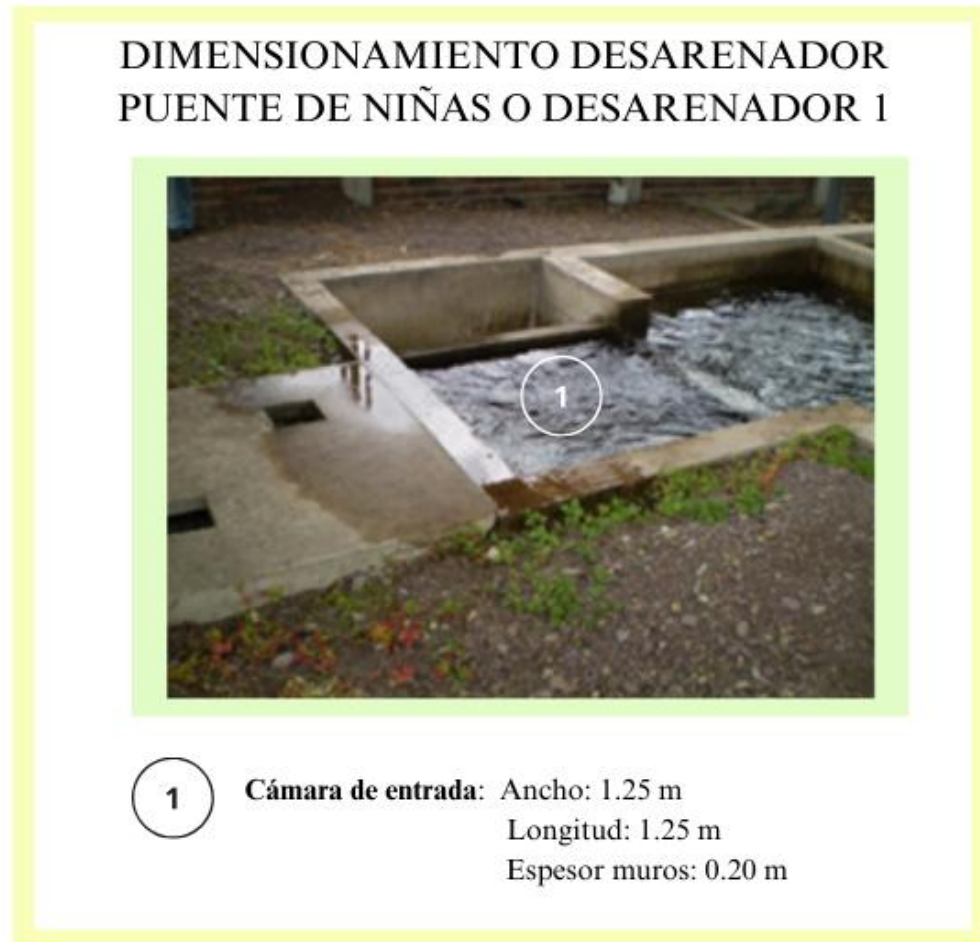


Ilustración 5 Dimensionamiento desarenador 1. Fuente: Propia.

Posteriormente se observa en la *Ilustración 6* la cámara de quietamiento la cual tiene un dimensionamiento de 2m de largo, 1.20m de ancho y una pantalla deflectora de 0.20m la cual cuenta con orificios de $\frac{1}{2}$ "

DIMENSIONAMIENTO DESARENADOR PUENTE DE NIÑAS O DESARENADOR 1



2 **Cámara de quietamiento:** Longitud: 2.0 m
Ancho: 1.20 m
Espesor muros: 0.20 m
Pantalla deflectora: 0.20m. Orificios de ½"

Ilustración 6 Dimensionamiento desarenador 1 Cámara de quietamiento. Fuente: Propia.

Seguido del área de sedimentación en la cual las partículas de suspensión serán removidas por la acción de gravedad y como se observa en la *Ilustración 7* tiene una longitud de 5m y un ancho de 2.6m

DIMENSIONAMIENTO DESARENADOR PUENTE DE NIÑAS O DESARENADOR 1

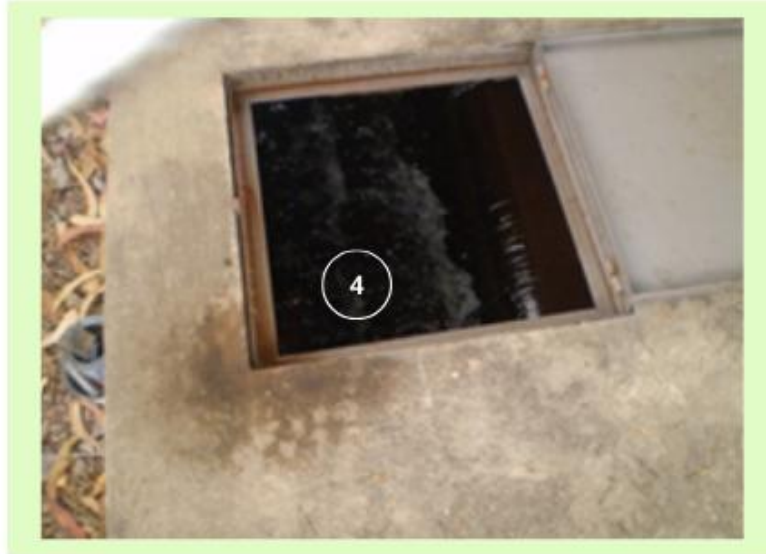


- 3** Área de sedimentación: Longitud. 5.80 m
Ancho: 2.60 m
- 5** Válvula de lavado: Diámetro 12"

Ilustración 7 Dimensionamiento Desarenador 1, Área de sedimentación y Válvula de lavado. Fuente: Propia.

Otra de las partes del desarenador 1 es la válvula de rebose la cual permite devolver a la corriente natural los excesos de agua que entran por la toma de esta como se puede ver en la *Ilustración 8*.

DIMENSIONAMIENTO DESARENADOR PUENTE DE NIÑAS O DESARENADOR 1



4 Válvula de rebose: Diámetro 6"

Ilustración 8 Dimensionamiento desarenador 1, Válvula de rebose. Fuente: Propia.

Finalmente, la estructura del Desarenador 1 se encuentra protegida mediante un cerramiento en mampostería y malla para de esta manera tener controlado el acceso a este y evitar el ingreso de animales y personal ajeno ya que es restringido como se aprecia en la *Ilustración 9*.

DIMENSIONAMIENTO DESARENADOR PUENTE DE NIÑAS O DESARENADOR 1



Estructura total del Desarenador Puente de Niñas

Ilustración 9 Dimensionamiento desarenador 1, Estructura total del desarenador1. Fuente: Propia.

Continuando con la visita a campo de la segunda fuente abastecedora que corresponde al Río Salguera el cual es una corriente de segundo orden, ubicado a la margen izquierda sobre la vía que conduce a Susacón, en la cual desembocan corrientes permanentes de primer orden, se evidencia que existe una captación de tipo lateral está construida en concreto, esta se divide en tres cámaras las cuales permiten la entrada por medio de las barras metálicas verticales ubicadas en la cara frontal de la misma; cada unidad cuenta con válvulas de regulación y tapas de acceso para facilitar su mantenimiento en la *Ilustración 10* se puede observar la ubicación de la captación antes mencionada.

BOCATOMA FUENTES HÍDRICAS ABASTECEDORAS 2

UBICACION BOCATOMA

2

Captación lateral

Rio Salguera



Válvulas de regulación y
tapas de acceso

Ilustración 10 Bocatoma fuentes hídricas abastecedoras 2. Fuente: Propia.

La Corporación Autónoma de Boyacá CORPOBOYACA otorgo al municipio de Belén, la concesión de aguas para el abastecimiento del sistema para un caudal de 8.39 litros por segundo.

Esta fuente hídrica principalmente es de mucho cuidado ya que presenta contaminación por riego, ganado, curtiembres y cultivo de peces, lo que implica un mantenimiento meticuloso en la planta de tratamiento.

FUENTES HÍDRICAS ABASTECEDORAS

2



RIO SALGUERA

Ilustración 11 Fuentes hídricas abastecedoras 2, Rio Salguera. Fuente: Propia.

De la misma forma se evidencia la ubicación de la línea de aducción que conduce de la Captación del Rio Salguera al Desarenador 2, mediante el uso de tubería de PVC de 3”.

Posteriormente en este punto se observa el Desarenador del rio Salguera o Desarenador 2, en el cual se integran las aguas captadas en las quebradas Hoya de Porras y Rio Salguera, estas llegan en tuberías de 6” y 3” respectivamente.

Este Desarenador está constituido por unas características constructivas las cuales se componen de una cámara de aquietamiento con un dimensionamiento de 2.8m de largo, 2.3m de ancho y un espesor de los muros de 0.12m, seguido de una zona de sedimentación de 8.35m de largo y 2.3m de ancho como se evidencia en la *Ilustración 12*.

DIMENSIONAMIENTO DESARENADOR RIO SALGUERA O DESARENADOR 2



1	Cámara de aquietamiento:	Longitud: 2.80 m Ancho: 2.30 m Espesor de muros: 0.12 m
2	Zona de sedimentación:	Longitud: 8.35 m Ancho: 2.30 m

Ilustración 12 Dimensionamiento desarenador 2, Cámara de aquietamiento, Zona de sedimentación. Fuente: Propia.

De igual manera por seguridad la estructura se encuentra protegida mediante un cerramiento en malla para impedir el ingreso de animales y personal ajeno *Ilustración 13*.

A las estructuras se le realiza mantenimiento el primer día de cada mes.

DIMENSIONAMIENTO DESARENADOR RIO SALGUERA O DESARENADOR 2



Ilustración 13 Dimensionamiento desarenador 2, Estructura total. Fuente: Propia.

Continuando con el recorrido de la visita llegamos a la Línea De Conducción del Desarenador 1 al Desarenador 2 esta sale en tubería de 6" en PVC, cuenta con una longitud de 2,0 KM, donde hacen parte de esta red una válvula de purga y una de ventosa.

Para de esta manera llegar a la planta de tratamiento de agua potable es tipo FIME, compuesta por filtro dinámico, filtro grueso ascendente y filtro lento como se aprecia en la *Ilustración 14*.

La línea de conducción presenta un adecuado funcionamiento hidráulico lo que proporciona continuidad en el transporte desde la fuente de captación a la planta de tratamiento. El ingreso a la planta de tratamiento se hace a través de tubería PVC de 8", la cual se ramifica en 4" y 4" entregando a dos unidades de filtración dinámica.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BELEN



Ilustración 14 Planta de tratamiento de agua potable de Belén. Fuente: Plan Maestro Servibelén E.S.P

Los componentes de la Planta de Tratamiento están conformados inicialmente por un Filtro dinámico el cual actúa como primer pre tratamiento y su función es servir como barrera de protección en caso de presentarse altos índices de turbiedad, está compuesto por dos unidades de filtración. La unidad 1 tiene una longitud de 7.5m y un ancho de 3.15m y la unidad dos posee una longitud de 8.19m de largo por 4.03 de ancho como se puede observar en la *Ilustración 15*. De cada unidad sale tubería 6" a los filtros gruesos ascendentes.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BELEN



Filtro dinámico

Unidad 2: Largo:8.19m
Ancho de 4.03m

Unidad 1: Largo:7.5m
Ancho de 3.15m

2

1

Ilustración 15 Planta de tratamiento de agua potable de Belén, Filtro dinámico. Fuente: Propia.

Seguido de los Filtros Gruesos Ascendentes tal como se observa en la *Ilustración 16*, los cuales están compuestos por tres unidades cada una con dos compartimientos, las dos tuberías de 6" provenientes de las unidades del filtro dinámico llegan a una cámara de aquietamiento y esta distribuye en forma ascendente a tres unidades que a su vez se distribuyen en forma ascendente a otras 3 unidades, cada unidad lleva una granulometría diferente de mayor a menor diámetro.

La longitud del filtro grueso ascendente es de 11,89m y el ancho de cada unidad es de 7.94m ,9.88m, y 7.94 m respectivamente.

Se observa de igual manera como se efectúa mantenimiento semanal y mensual al sistema de tratamiento.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BELEN



Caja Distribuidora
Ascendente



Cámara de Aquietamiento y
Canal de Distribución

Filtro grueso ascendente

El largo del
filtro grueso es
de 11,89m y el
ancho de cada
unidad es de
7.94m ,9.88m, y
7.94 m
respectivamente



Ilustración 16 Planta de tratamiento de agua potable de Belén, Filtro grueso. Fuente: Propia.

Continuando a la filtración lenta en arena esta de igual manera cuenta con tres unidades de filtración, la longitud total de la estructura es de 25,92m de largo y 16,77 m de ancho registrado en la *Ilustración 17*. A cada unidad de filtración llega una tubería de PVC, donde a la primera unidad le llega en 6" y a la segunda y tercera unidad en le llega en 4". Del tanque de aguas claras sale al tanque de almacenamiento en una tubería de diámetro de 6".

A estos filtros lentos se les realiza mantenimiento el primer día de cada mes.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BELEN



longitud: 25,92m
ancho:16,77 m

Filtro lento



Ilustración 17 Planta de tratamiento de agua potable de Belén, Filtro lento. Fuente: Propia.

Uno de los procedimientos que tiene la planta de tratamiento es la desinfección por cloro gaseoso o alumbre, para lo cual cuenta con una caseta de cloración donde allí almacena las balas con cloro gaseoso y sulfato de aluminio y potasio granulado, además de contar con un dispositivo colorimétrico que mide la intensidad del color de la muestra tomada al reaccionar con un reactivo específico y así determinar la concentración de cloro (Ministerio de Vivienda, C. y T., s.f.). En la *Ilustración 18* se puede observar la caseta de cloración la cual tiene un dimensionamiento de 2m de largo y 2m de ancho.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BELEN

Caseta de cloración

Largo:2m

Ancho:2m



Ilustración 18 Planta de tratamiento de agua de Belén, Caseta de cloración. Fuente: Propia.

La administración ya sea de cloro gaseoso (Cl_2) o sulfato de aluminio se da por medio de un difusor de cloro se ubica al inicio de la cámara, seguido de un resalto hidráulico para promover una mezcla interna entre el cloro y el agua, por el operador de la planta, la dosificación de este depende de la calidad del agua, se ha manejado un valor de 0.6 mg/l y un tiempo de contacto de 20 a 30 minutos.

Donde después de todos estos procesos llegamos finalmente a un tanque de almacenamiento, esta estructura está construida en concreto reforzado, sus condiciones funcionales y estructurales actuales son buenas, tiene una capacidad de 320 m³, como se evidencia en la *Ilustración 19* tiene un dimensionamiento de longitud tiene 14.0 m, de ancho 8.0 m y una altura de 4.0m.

Después de todo el tratamiento y una vez en el tanque de almacenamiento la salida de este se da en tubería PVC de 8", en una longitud de 24m, luego reduce a 6" y va disminuyendo el diámetro hasta llegar a 2".

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BELEN

Tanque de almacenamiento



Longitud: 14.0 m

Ancho. 8.0 m

Altura: 4.0 m

Ilustración 19 Planta de tratamiento de agua potable de Belén, Tanque de almacenamiento. Fuente: Propia.

Ya con todos los conceptos claros y materializados en un el entorno físico se realiza una evaluación de las estructuras hidráulicas específicamente en el Desarenador 2 donde inicialmente se realizó una evaluación visual para verificar si había una acumulación excesiva de arena y sedimentos, si había signos de corrosión o daños estructurales, pero no se evidencio ningún signo que alterara el buen funcionamiento de este, por lo que se prosiguió a analizar una muestra de agua tomada antes y después evaluando el ítem de Turbidez para confirmar su buen funcionamiento por lo que se evidencio que así era, con lo cual se determino que era necesario contar con la realización de un buen mantenimiento por parte de los operarios de la planta, que no superaran un lapso de 30 días entre ellos.

2. Desarrollar actividades concernientes al diseño para la optimización de la planta de tratamiento de agua potable implementado un proceso de floculación que permita mejorar la calidad del agua en conformidad a los lineamientos establecidos por el ministerio de vivienda ciudad y territorio en el RAS 21 en relación con lo establecido en la respectiva concesión de aguas.

Con un conocimiento detallado sobre cada componente hidráulico de la planta de tratamiento y previo a la evaluación se ve como es necesaria la implementación de un componente de floculación ya que por la contaminación de una de las fuentes hídricas se considera que por medio de la filtración no se remueven todas las partículas, por lo que se plantea la realización del IRCA (índice de riesgo de la calidad del agua) para conocer las características microbiológicas, físicas y químicas que posee el agua cruda a llegar a la planta de tratamiento y posteriormente al salir de esta por la red de distribución ya que esto nos permitirá saber cómo esta ejecutándose su funcionamiento y si el agua de salida cumple con los parámetros de calidad establecidos en la normativa Colombiana (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, s.f.).

Inicialmente se tomó una muestra de tres litros (3L) de agua sin tratar en la cámara de entrada al filtro dinámico de la planta de tratamiento, una muestra de dos litros (2L) en la primera caja de inspección de la red de distribución metros abajo de la salida de la planta de tratamiento y una muestra de dos litros (2L) en la última caja de inspección de la red de distribución en el barrio La Esmeralda; con el fin de saber cómo está llegando el agua a la planta y verificar posteriormente el estado de la misma previo a todo el proceso de filtración y cloración al que se somete, tomando estos dos puntos de referencia uno recién sale el agua tratada y otro al final de toda la red de distribución se busca comprobar que el líquido se encuentra en las mismas condiciones y no tiene variaciones considerables especialmente en el nivel de cloro, en cada punto de toma de muestra de agua tratada se desinfecto primero la llave de paso de cada caja de inspección, para lo que se empleó alcohol y un mechero, dejando salir primero una pequeña cantidad de líquido para así tomar la muestra de agua y realizarle una prueba rápida de cloro y almacenar la que se analizaría.

TOMA DE MUESTRAS

Primera
caja de
inspección
de la red de
distribución



Ultima caja
de
inspección
de la red de
distribución



Cámara de
entrada al filtro
dinámico

Ilustración 20 Toma de muestras. Fuente: Propia.

Posterior a la toma de muestras se sellaron con papel vinipel los contenedores y se guardaron en una maleta opaca que evitara el paso de la luz para no alterarlas y facilitar el transporte hacia el Laboratorio de Química Orgánica de la Universidad Santo Tomas, donde se analizarían los siguientes parámetros: Oxígeno disuelto, PH, Turbiedad, Color verdadero, Gusto y olor, Cloruros, Fluoruros, DBO y Coliformes totales (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, s.f.).

A partir de las muestras tomadas en la planta de potabilización de aguas de Belén se realizaron unas pruebas físicas y químicas para saber cuál era la calidad del agua que la abastece para fijar un punto de partida conociendo a fondo todos los componentes que intervienen en el estado del líquido, donde se determinara que pasos a seguir según los resultados obtenidos, en la siguiente tabla (Tabla 1) se pueden ver los parámetros que se tienen en cuenta en esta evaluación y el puntaje de riesgo que posee.

Tabla 1 Índice IRCA, valores de riesgo. Fuente: IRCA

ANÁLISIS IRCA	
CARACTERÍSTICA	PUNTAJE DE RIESGO
Color Aparente	6
Turbiedad	15
Ph	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno0020	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al ³⁺)	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Total de puntajes asignados	100

Se realiza la evaluación del índice IRCA teniendo en cuenta los parámetros anteriormente expuestos, los valores máximos admisibles y los puntajes de cada ítem obteniendo los resultados que se muestran en la siguiente tabla (Tabla 2)

donde resaltados en color amarillo se destacan los parámetros evaluados y en color rojo los parámetros que no cumplen.

Tabla 2 Evaluación fuente hídrica índice IRCA. Fuente: Propia.

ANÁLISIS IRCA			
CARACTERÍSTICA	PUNTAJE DE RIESGO	VALOR MAXIMO ADMISIBLE	VALOR OBTENIDO
Color Aparente	6	15	17
Turbiedad	15	2	3
pH	1.5	6.5-9.0	8.3
Cloro Residual Libre	15	0.3	0.232
Alcalinidad Total	1	200	150
Calcio	1	60	-
Fosfatos	1	0.5	0.6
Manganeso	1	0.1	-
Molibdeno	1	0.07	-
Magnesio	1	36	-
Zinc	1	3	-
Dureza Total	1	300	210
Sulfatos	1	250	91
Hierro Total	1.5	0.3	0
Cloruros	1	250	0
Nitratos	1	10	-
Nitritos	3	1	0.02
Aluminio (Al ³⁺)	3	0.2	-
Fluoruros	1	1	-
COT	3	5	-
Coliformes Totales	15	0	0
Escherichia Coli	25	0	0

$$IRCA \% = \frac{\Sigma \text{Puntajes de riesgo asignados a las características no aceptables}}{\Sigma \text{Puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

$$IRCA\% = \frac{21}{87} * 100$$

$$IRCA\% = 24.13$$

Haciendo el cálculo de porcentaje del IRCA, por medio de la *Ecuación 1* donde se emplea la relación entre la sumatoria de los puntajes de riesgo asignados de las características que no cumplieron con la sumatoria de los puntajes de riesgo asignado a todas las características evaluadas, con lo que se obtuvo un valor de 24.13 donde según la clasificación del IRCA tiene un nivel de riesgo medio y se tiene que llevar a cabo ciertas acciones por parte de la entidad prestadora de servicios para mejorar la calidad del agua. Nos remitimos al título A del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 21, donde encontramos aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, para tener claro según la normativa y con los resultados de los ensayos realizados que tipo de tratamientos se requieren para la potabilización del agua, como se puede evidenciar en la *Tabla 3* los parámetros analizados fueron Oxígeno disuelto, PH, Turbiedad, Color verdadero, Gusto y olor, Nitritos, Cloruros, Fosfatos, Fluoruros, DBO y Coliformes totales (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, s.f.).

Tabla 3 Prueba Fisico-química. Fuente: Propia.

PRUEBA FISICO-QUIMICA		
PARAMETRO	EXPRESION	RESULTADOS
Oxígeno disuelto	mg/L	2.5
PH	-	8.2
Turbiedad	NTU	1.3
Color verdadero	Pto/Co	17
Gusto y olor	-	Inofensivo
Cloruros	mg/L-Cl	0.2
Fluoruros	mg/L-F	1.3
DBO	mg/L	2
Coliformes totales	(NMP/100 ML)	0

Teniendo en cuenta los resultados de la prueba físico química realizada a la fuente hídrica de la planta potabilizadora de aguas de Belén se evidencia que los resultados de los parámetros analizados coinciden con los rangos de los parámetros determinantes de una fuente de agua Regular como se ve en la tabla 7 por lo que los procesos de tratamiento mínimos a diseñar para la optimización de la planta de potabilización son un componente de floculación y coagulación, ya que pese a que la planta cuenta con: 2 Desarenadores: Ubicados en la Vereda el Bosque, 2 Filtros Dinámicos descendentes: gravas de 1,1/2,3/4 mm, 6 Filtros rápidos ascendentes: Gravas 1 y 1/2 mm, 3 Filtros lentos descendentes: gravas 1 y 1/ y arena fina, 1 Sistema de Cloración: Cloro gaseoso, 1 tanque de almacenamiento de 320 m³, es necesario implementar componentes que ayuden a obtener una eficiencia tal que permitan reducir la turbiedad a un valor máximo de 10 UNT antes del proceso de filtración rápida por lo que se recomienda una unidad de floculación.

Tabla 4 Valores fuente hídrica índice IRCA regular. Fuente: índice IRCA.

Parámetros	Unidades	Resultados de los análisis en t ₉₀
DBO 5 días		
Promedio mensual	mg/L	1.5 – 2.5
Máximo diario	mg/L	3 – 4
Coliformes totales		
Promedio mensual	(NMP/100 mL)	50 – 500
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4
PH promedio		5.0 - 9.0
Turbiedad	(UNT)	2 – 40
Color verdadero	(UPC)	10 – 20
Gusto y olor		Inofensivo
Cloruros	(mg/L – Cl)	50 – 150
Fluoruros	(mg/L – F)	< 1.2

Previo a tener un análisis completo del estado del agua el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) arrojó un resultado "regular", lo que subraya la necesidad de optimizar los procesos de tratamiento.

En este contexto, la prueba de jarras emerge como una herramienta crucial. Este ensayo de laboratorio simula el proceso de coagulación-floculación, permitiendo a los operadores determinar las dosis óptimas de productos químicos para remover la turbiedad y otras impurezas del agua cruda. El objetivo principal de este ensayo es identificar las condiciones que permitan mejorar la calidad del agua tratada, buscando superar el resultado "regular" del IRCA y asegurar un suministro de agua potable que cumpla con los más altos estándares de calidad.

Este ensayo detallará el procedimiento de la prueba de jarras realizada en la PTAP de SERVIBELÉN, analizando los resultados obtenidos y su implicación en la optimización del proceso de tratamiento. Además, se discutirán las posibles causas del resultado "regular" del IRCA y se propondrán recomendaciones para mejorar la calidad del agua potable suministrada a la comunidad. Para la realización del ensayo de jarras se necesita:

1. 1 Agitador de paletas con tacómetro
2. Reloj cronometro
3. 6 vasos de precipitación de 500 ml, 1000 ml ó 2000 ml.
4. 1 cilindro graduado de 1000 ml.
5. Balanza de precisión de 0,1gr.
6. Espátula.
7. 6 jeringas desechables de 10 ml.
8. 2 pipetas grandes de 10 ml.
9. 1 matraz aforado de 1000 ml.
10. 1 matraz aforado de 100 ml.
11. Agua destilada.

Inicialmente se hace una determinación físico-química de la muestra de agua sin tratamiento donde se tienen en cuenta parámetros de PH, Color y Turbiedad para establecer unos datos de entrada que nos permitan compararlos con los de salida para saber la efectividad del ensayo en la *Tabla 5* podemos ver los resultados.

Tabla 5 Determinación física y química inicial muestra de agua cruda. Fuente: Propio.

DETERMINACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA INICIAL				
PARÁMETROS	EXPRESIÓN	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE	MÉTODO
PH	-	8.3	6.5 – 9	Multiparametro
COLOR	UPC	17	15	Espectrofotómetro
TURBIEDAD	NTU	1.3	<2	Espectrofotómetro

La preparación precisa de los reactivos es esencial para obtener resultados confiables. A continuación, se describe el proceso, considerando las normativas colombianas aplicables ya que la calidad del agua potable está regulada principalmente por el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007, modificada por la Resolución 1286 de 2021. Estas normativas establecen los parámetros de calidad del agua y los procedimientos para su control, incluyendo la necesidad de optimizar los procesos de tratamiento.

Los reactivos más comunes utilizados en la prueba de jarras son:

- Coagulantes: Sulfato de aluminio, cloruro férrico, policloruro de aluminio (PAC).
- Floculantes: Polímeros orgánicos (aniónicos, catiónicos o no iónicos).
- Alcalinizantes: Hidróxido de calcio (cal), carbonato de sodio.

Para este ensayo se utilizó Sulfato de aluminio donde inicialmente se pesan 100 gr de Sulfato de aluminio, los cuales se colocan en un vaso de precipitado y se disuelven en un litro (1L ó 1000ml) de agua, con lo que se obtiene una solución con una concentración de coagulante del 10%, esta solución la usaremos como solución patrón.

Para lograr dosificar el coagulante en las jarras se diluye 10ml de la solución patrón que se hizo con anterioridad en un matraz de 100ml y se completa hasta la marca con agua destilada con esto logramos obtener una solución con una concentración de coagulante de 1% es importante tener en cuenta que esta solución no se podrá conservar por más de 24 horas ya que tiene el riesgo de hidrolizarse y perder la capacidad de coagulación.

Para la realización de este ensayo de jarras pese a que se usaron vasos de 2000 ml se trabajó cada uno con una muestra de 1000 ml por lo que se tuvo en cuenta la relación de 1ml de Solución → 10 mg/l de Coagulante aplicado.

De manera preliminar se determinó la turbiedad, color real o aparente y PH del agua cruda; se midió en el cilindro graduado de 2000 ml, 6 muestras de agua cruda de 1000 ml y se colocaron en cada vaso de precipitado; ya con las muestras en los vasos se introdujeron las paletas del aparato mezclador de jarras dejándolas bien centradas, se encendió el tacómetro a 100rpm¹ y se midió con la pipeta graduada de 10 ml los volúmenes correspondientes a la dosificación deseada, teniendo en cuenta que 1 ml equivale a 10 mg/l de coagulante, en la *Tabla 6* se puede evidenciar la dosificación que se aplicó a cada jarra.

Tabla 6 Ensayo de Jarras, concentraciones. Fuente: Propio.

ENSAYO DE JARRAS							
JARRA	(1000 ml)	1	2	3	4	5	6
DOSIS APLICADA	(Ml)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
DOSIS	(Mg/l)	50	100	150	200	250	300

Se llenó cada una de las jeringas desechables con cada uno de estos volúmenes y se agregó las diferentes dosis de coagulantes a las jarras al mismo tiempo y se llevó a cabo inicialmente la mezcla rápida por 1 minuto a 100rpm, después de la mezcla rápida se reprogramo el tacómetro a 40 rpm para realizar la mezcla lenta por 15 minutos, después de la mezcla lenta se apagó el tacómetro y se retiraron las paletas de las jarras permitiendo que se sedimenten las partículas de flocs por un periodo de 30 minutos para observar la velocidad de sedimentación del floc. Posterior a ese periodo de tiempo de espera se tomaron muestras nuevamente del líquido clarificado con cuidado de no remover ningún floc sedimentado y determino el PH, color y turbiedad final del agua donde se obtuvieron los valores mostrados en la *Tabla 7*.

Tabla 7 Determinación física y química final Jarra 4. Fuente: Propia

DETERMINACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA FINAL JARRA 4				
PARÁMETROS	EXPRESIÓN	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE	MÉTODO
PH	-	7.4	6.5 – 9	Multiparametro
COLOR	UPC	11	15	Espectrofotómetro
TURBIEDAD	NTU	0.4	<2	Espectrofotómetro

En condiciones normales se recomienda usar una dosificación de 100 mg/L ya que la turbiedad tiene un valor bajo dentro de los límites admisibles por lo que una cantidad menor de coagulante funcionaría muy bien con la formación de los flocs para su posterior remoción, en condiciones críticas es decir en temporada de lluvias donde se ve un significativo aumento en el caudal y por lo tanto en la materia de arrastre en las fuentes hídricas la opción recomendada es de 200 mg/L ya que las partículas que se formaron flocs fueron de mayor tamaño y se depositaron con mayor rapidez en el fondo de la jarra, además los parámetros físico químicos realizados posterior al ensayo demuestran que hay una mejora significativa en el color, turbiedad y el pH, se considera además esta dosificación y no la más elevada ya que se tiene en cuenta la relación del sulfato de aluminio coagulante usado en el proceso con el medio ambiente, así que al usar dosis moderadas se cumple a cabalidad con su función como coagulante y no genera ningún daño ambiental en el proceso.



Ilustración 21 Análisis de muestras laboratorio USTA Tunja. Fuente: Propia.

Uno de los pasos cruciales en el tratamiento del agua es la floculación, un proceso que aglomera las partículas suspendidas en el agua para facilitar su remoción. La prueba de jarras, realizada en la PTAP de Belén, indicó una dosificación óptima de

sulfato de aluminio de 100 mg/L. Este resultado no solo valida la necesidad de un sistema de floculación, sino que también proporciona una base sólida para el diseño y la implementación de una unidad eficiente.

La implementación de una unidad de floculación adecuada en la PTAP de Belén es esencial por varias razones:

- **Mejora de la Claridad del Agua:** La floculación efectiva reduce la turbiedad y el color del agua, mejorando su apariencia y aceptabilidad para el consumo humano.
- **Remoción de Contaminantes:** Al aglomerar partículas suspendidas, la floculación facilita la remoción de microorganismos, materia orgánica y otros contaminantes que pueden afectar la salud.
- **Optimización del Proceso de Sedimentación:** La formación de flóculos densos y pesados acelera el proceso de sedimentación, reduciendo la carga sobre los filtros y mejorando la eficiencia general del tratamiento.
- **Cumplimiento de Normativas:** La implementación de una unidad de floculación adecuada contribuye a asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad establecidos por las normativas colombianas, como el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007, mejorada por la resolución 1286 de 2021, permitiendo mejorar el índice IRCA.

En este contexto, la implementación de una unidad de floculación en la PTAP de Belén no solo es una medida correctiva, sino también una inversión en la salud y el bienestar de la comunidad. Al optimizar el proceso de floculación, se puede mejorar significativamente la calidad del agua potable y asegurar un suministro seguro y confiable para todos los habitantes de Belén.

Para poder trabajar en el diseño del componente de floculación es importante tener datos de entrada importantes como el caudal de diseño por lo que se realizó una medición de caudal con flotador en las captaciones de agua donde se caracterizó cada vertiente de agua como un canal rectangular para facilitar la cuantificación por lo que se tomaron varias mediciones a diferentes profundidades y longitudes para trabajar con el promedio de esta, luego de las mediciones de cada canal, se procedió a realizar el aforo con el flotador por lo que con pin pones se clocaban en el agua desde un punto base de partida para medir el tiempo que empleaba en llegar a un punto de salida.

TOMA DE DATOS AFORO DE CAUDALES MÉTODO FLOTADOR



De la caracterización anterior se obtuvo datos importantes los cuales se ven reflejados en la *Tabla 8* y *9* donde calculamos el caudal el cual para la Bocatoma 1 fue de $0.027 \text{ m}^3/\text{s}$ y para la Bocatoma 2 fue de $0.014 \text{ m}^3/\text{s}$ con lo cual el caudal total con el que trabaja la planta de potabilización de agua es de $0.041 \text{ m}^3/\text{s}$ y con este se realizará el diseño.

Tabla 8 Aforo bocatoma 1. Fuente: Propia.

SERVIBELEN E.S.P BELÉN BOYACA

AFORO CON FLOTADOR

LUGAR DE AFORO	QUEBRADA LA CUCHILLA			MUNICIPIO Y VEREDA		BELÉN VDA BOSQUE	
FECHA				TIPO DE LECHO		ROCA	
TIPO DE FLOTADOR	PIN PON			CPEFICOENTE DE RUGOSIDAD		0,8	
LATITUD	6°01'27,90''			LONGITUD		75°55'35,56''	
# DE AFORO	ANCHO DE LA SECCION			LARGO DE LA SECCION	Ancho promedio		
	2,6	2,44	2,1	3,8	2,38		
	PROFUNDIDAD (m)			TIEMPO(s)			
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3				
H1	0,24	0,2	0,25	8,57			
H2	0,23	0,13	0,47	8,46			
H3	0,39	0,34	0,53	10,47			
H4	0,25	0,35	0,31	8,98			
H5	0,15	0,25	0,21	10,8			
PROMEDIO (h1)		PROMEDIO (h2)	PROMEDIO (h3)	PROMEDIO (TIEMPOS)			
0,252		0,254	0,354	9,456			
TOTAL PROMEDIO PROFUNDIDAD (m)		0,287	CAUDAL(m3/s)	0,027			
VELOCIDAD(m/s)		0,402	CAUDAL(L/s)	27,418			
AREA TRANSVERSAL (m2)		0,682					

Tabla 9 Aforo bocatoma 2 Fuente: Propia.

		SERVIBELEN E.S.P BELÉN BOYACA			
AFORO CON FLOTADOR					
LUGAR DE AFORO		QUEBRADA LA CUCHILLA		MUNICIPIO Y VEREDA	
FECHA				TIPO DE LECHO	
TIPO DE FLOTADOR		PIN PON		CPEFICOENTE DE RUGOSIDAD	
LATITUD		6°01'26,63''		LONGITUD	
				72°55'38,97''	
# DE AFORO	ANCHO DE LA SECCION			LARGO DE LA SECCION	Ancho promedio
	2,24	2,44	2,1	3,1	2,26
	PROFUNDIDAD (m)			TIEMPO(s)	
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3		
H1	0,24	0,2	0,22	11,3	
H2	0,27	0,13	0,18	10,65	
H3	0,23	0,34	0,15	10,72	
H4	0,16	0,35	0,12	9,83	
H5	0,15	0,25	0,1	10,75	
PROMEDIO (h1)		PROMEDIO (h2)	PROMEDIO (h3)	PROMEDIO (TIEMPOS)	
0,21		0,254	0,154	10,65	
TOTAL PROMEDIO PROFUNDIDAD (m)		0,206	CAUDAL(m3/s)	0,014	
VELOCIDAD(m/s)		0,291	CAUDAL(L/s)	13,552	
AREA TRANSVERSAL (m2)		0,466			

CAUDAL TOTAL (m3/s)	0,041
CAUDAL TOTAL (L/s)	40,969

Para este diseño se tiene en consideración una unidad de floculación horizontal para un caudal de $0.041\text{m}^3/\text{s}$ implica considerar varios parámetros clave para asegurar una floculación eficiente. Inicialmente con teniendo él cuenta el caudal de $0.041\text{m}^3/\text{s}$ (37 L/s) y aplicando el REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000 este caudal se considera dentro del rango donde los floculadores horizontales son adecuados.

Se realizaron dos diseños de Floculadores Horizontales el primero se dividía en tres secciones en las cuales cada una contara con un gradiente de velocidad diferente esto con la finalidad de que que el tiempo de retencion asegure la formacion de los flocs para que sea mas facil su remocion y asegura que la velocidad del agua sea suficiente para mantener los flóculos en suspensión, pero no tan alta como para romperlos. Se calculó las pérdidas de carga a través del floculador para asegurar un flujo adecuado, para cada sección la primera de gradiente 70s^{-1} , la segunda para el gradiente 40s^{-1} , y la última para el gradiente de 20s^{-1} , pero este diseño tenía una imposibilidad ya que el tamaño excedía de manera total el espacio dispuesto para la su implementación por lo que no era viable, lo que nos llevó a realizar el segundo diseño que de manera más compacta y al contar solo con una sección cumple con los requerimientos necesarios para su correcto funcionamiento y su dimensionamiento es apto para su implementación.

En la *Tabla 10* se observan los parámetros de diseño de la opción viable de diseño de floculador donde los datos de entrada son el Caudal el cual se calculó por medio del aforo realizado y la dosificación del coagulante de 100mg/l el cual fue Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).

Tabla 10 Parámetros diseño Floculador. Fuente: Propia.

PARAMETROS DE DISEÑO				
Caudal	40,96 l/s	0,041 m ³ /s	C	
Dosificación de coagulante	100 mg/l	0,1 kg/m ³		
Coagulante	Sulfato de aluminio			

Como consideraciones generales para el diseño de este Floculador Horizontal tenemos inicialmente el Tiempo de Retención (t) este es el tiempo que el agua permanece en el floculador para permitir la formación de flóculos. Se determina experimentalmente mediante el ensayo de jarras. Los valores típicos varían entre 20 y 40 minutos.

El Gradiente de Velocidad (G) este mide la intensidad de la mezcla y la frecuencia de las colisiones entre partículas. Se determina también en el ensayo de jarras y

se ajusta para favorecer la formación de flóculos sin romperlos. Los valores típicos para floculadores horizontales con pantallas deflectoras varían entre 10 y 75 s^{-1} en este diseño fue de 20.86 s^{-1} .

El Número de Reynolds (Re) el cual es un parametro importante para evitar la ruptura de los flóculos por lo cual debe estar en un régimen de flujo laminar o de transición.

La Geometria del diseño se conforma por el largo (L), ancho (W) y profundidad (H) del floculador de manera que el volumen sea el calculado, en la *Tabla 11* encontramos las condiciones generales y la geometria de este.

Tabla 11 Consideraciones generales Floculador. Fuente: Propia.

CONSIDERACIONES GENERALES					
Tiempo de retencion	30	min	1800	s	t
Gradiente de velocidad	20,860	s-1			G
Numero de Reynolds	3965				Re
Perdida de carga	32,18	w			Δh
Geometria del floculador					
Largo	12,16	m			L
Ancho	3,04	m			W
Profundidad	2	m			H

3. Desarrollar actividades concernientes a la mejora de los procesos de mantenimiento de dichas infraestructuras sanitarias.

Como diseño complementario del floculador horizontal se ve la necesidad de adicionar un vertedero ya que el agua coagulada debe ingresar al floculador de manera uniforme para evitar cortocircuitos hidráulicos.

El diseño de una canaleta Parshall está estandarizado y depende del caudal máximo esperado. Para un caudal de diseño de 0.041 m^3/s , se determina las dimensiones de la canaleta utilizando tablas o ecuaciones estándar.

Basándonos en tablas de dimensiones estándar para canaletas Parshall, un caudal de 40.9 l/s (aproximadamente 1.45 $pies^3/s$) podría corresponder a una canaleta de 6 pulgadas ($W = 0.1524$ metros) de ancho de garganta (W).

El punto de dosificación del coagulante es crucial para una mezcla rápida y eficiente. Lo ideal es dosificar el coagulante justo antes o al inicio de la zona de mezcla rápida que en este diseño se integrará a la entrada de la canaleta o inmediatamente después, se incorpora para esta finalidad un tipo de dosificador de Bombas Dosificadoras Peristálticas ya que este tipo permiten una dosificación precisa y son adecuadas para soluciones de sulfato de aluminio como con la que se sugiere trabajar.

La salida de la canaleta Parshall sección divergente se adaptará para funcionar como un vertedero hacia el floculador horizontal, donde el diseño debe asegurar que el nivel de agua en la sección de salida de la canaleta el cual esta determinado por el caudal sea el adecuado para verter hacia el floculador con la altura de agua deseada en el floculador 2 m. El borde superior de la sección de salida de la canaleta actuará como el labio del vertedero. Su altura debe ser tal que el agua fluya libremente hacia el floculador, manteniendo el nivel adecuado en ambos.

Por lo que finalmente se plantea un diseño de optimización que contenga una Canaleta Parshall a la que se le acomple una bomba dosificadora peristática en la sección convergente con el fin de dosificar el coagulante para que el resalto hidráulico funcione como mezcla rápida y finalmente funcione como vertedero al floculador horizontal, para que de este siga su recorrido a los filtros dinámicos, filtros lentos realice su paso por la caseta de cloración y finalmente al tanque de almacenamiento el cual llevara el agua tratada a la red de distribución en la *Ilustración 22* se puede ver un esquema del diseño propuesto.

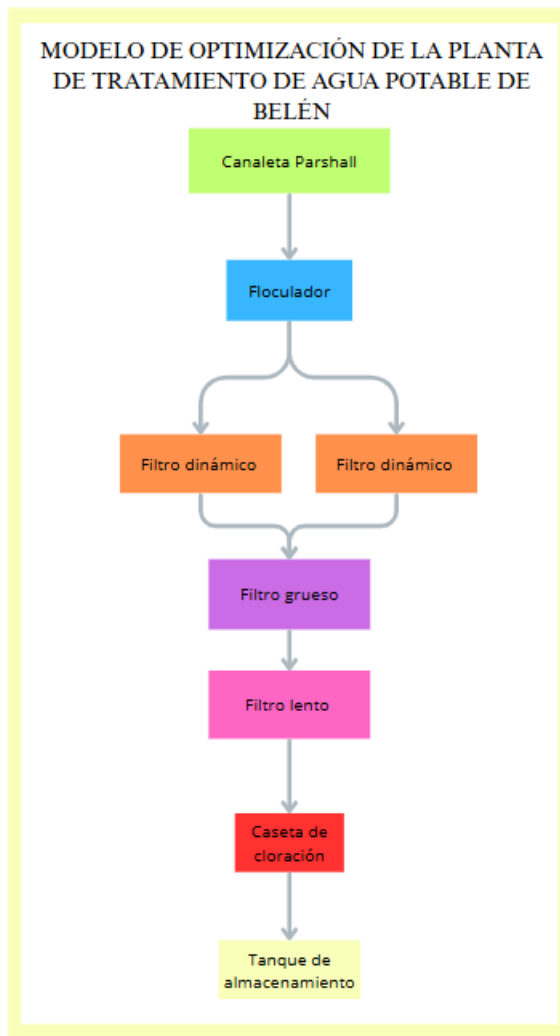


Ilustración 22 Modelo de optimización PTAP Belén. Fuente: Propia.

4. APORTES DEL TRABAJO

4.1 COGNITIVOS

La formación de un ingeniero civil es una síntesis de conocimientos técnicos y su aplicación práctica para resolver problemas y mejorar la sociedad. La pasantía como ingeniera civil auxiliar en SERVIBELEN ejemplifica este principio, ofreciendo un valor añadido tanto en el desarrollo de competencias profesionales como en la propuesta concreta de optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de la entidad. Este proyecto surgió de un diagnóstico exhaustivo del estado actual de la planta y la evaluación de su Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA).

El inicio de la experiencia profesional en SERVIBELEN implicó una inmersión profunda en el funcionamiento integral del acueducto. Esta fase de diagnóstico inicial fue crucial para entender la infraestructura existente, los procesos operativos, las limitaciones y las fortalezas del sistema de tratamiento. A través de la observación directa, la revisión de registros operativos y la interacción con el personal técnico, se obtuvo una comprensión detallada del ciclo del agua, desde la captación hasta la distribución, lo que sentó las bases para el análisis posterior de la calidad del agua e identificación de áreas de mejora.

Un componente fundamental de este análisis fue la aplicación del IRCA, una herramienta esencial en la evaluación de la salubridad del agua para consumo humano. La metodología IRCA, establecida por la normativa colombiana, considera diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos para determinar el nivel de riesgo asociado al agua suministrada. La realización de muestreos y análisis de laboratorio de los parámetros relevantes, junto con la aplicación rigurosa de la fórmula IRCA, condujo a un resultado que clasificó la calidad del agua como "Regular". Este hallazgo, si bien no indicaba un riesgo inminente para la salud pública, sí evidenció oportunidades significativas para elevar los estándares de calidad y asegurar un suministro de agua potable óptimo y seguro a largo plazo.

La identificación de esta necesidad de mejora se convirtió en el motor impulsor de la siguiente etapa de la pasantía: el diseño de un modelo de optimización de la PTAP. Consciente de la importancia de abordar las deficiencias identificadas y de la necesidad de implementar soluciones eficientes y sostenibles, se emprendió la tarea de concebir una propuesta integral que pudiera impactar positivamente la calidad del agua tratada. En este proceso de diseño, se consideraron diversos factores, incluyendo las características del agua cruda, las limitaciones de la infraestructura existente y los beneficios esperados en términos de calidad del agua y reducción de riesgos para la salud.

Una de las innovaciones centrales del modelo de optimización propuesto radica en la inclusión de una canaleta Parshall estratégicamente ubicada a la entrada del floculador horizontal. La canaleta Parshall, tradicionalmente utilizada para la medición precisa de caudales en canales abiertos, se presenta en este diseño con una doble funcionalidad: actuar como un sistema de mezcla rápida eficiente para el coagulante y, simultáneamente, servir como un vertedero controlado hacia el floculador.

La etapa de coagulación es fundamental en el tratamiento de agua potable para desestabilizar las partículas coloidales y suspendidas. El coagulante, en este caso el sulfato de aluminio, al ser adicionado al agua, neutraliza las cargas de estas partículas, facilitando su aglomeración. La eficiencia de este proceso depende en gran medida de la rapidez y la homogeneidad con la que el coagulante se dispersa en el agua.

La propuesta de utilizar una canaleta Parshall para esta función ofrece varias ventajas significativas. Primero, la geometría constreñida de su sección convergente provoca un aumento considerable en la velocidad del flujo, generando una turbulencia intrínseca que facilita la dispersión rápida y uniforme del coagulante. Al inyectar el sulfato de aluminio justo antes o al inicio de esta sección, se aprovecha la energía cinética del agua para lograr una mezcla eficiente sin la necesidad de equipos mecánicos adicionales. Esto puede traducirse en ahorros en costos de inversión y operación, así como en una menor complejidad del sistema.

Segundo, la canaleta Parshall, al mantener un flujo definido y controlado, asegura una distribución más homogénea del coagulante en todo el volumen de agua que ingresa al sistema de tratamiento. Esto es crucial para optimizar la reacción química entre el coagulante y las partículas, maximizando la formación de microflóculos densos y estables que serán removidos más fácilmente en las etapas posteriores. Una mezcla rápida deficiente puede resultar en una dosificación ineficiente del coagulante, un aumento en la producción de lodos y una menor calidad del agua tratada.

Finalmente, la transición natural desde la sección divergente de la canaleta Parshall hacia el floculador horizontal permite un flujo controlado y uniforme hacia la siguiente etapa del tratamiento. La canaleta actuará como un vertedero de cresta delgada, distribuyendo el agua coagulada de manera homogénea a lo largo del ancho del floculador, evitando la formación de zonas muertas o cortocircuitos hidráulicos que podrían reducir la eficiencia del proceso de floculación.

La etapa de floculación, que sigue a la coagulación, tiene como objetivo promover el crecimiento de los microflóculos formados inicialmente hasta alcanzar un tamaño y una densidad suficientes para sedimentar fácilmente. En un floculador

horizontal, este proceso se logra mediante la creación de gradientes de velocidad suaves y decrecientes a lo largo del recorrido del agua. Estos gradientes de velocidad inducen colisiones controladas entre los microflóculos, permitiendo que se adhieran entre sí y formen flóculos más grandes y pesados.

El diseño propuesto para el floculador horizontal se basa en principios de ingeniería hidráulica que buscan optimizar el tiempo de retención y el gradiente de velocidad para las condiciones específicas del agua de SERVIBELEN E.S.P y la dosificación de coagulante determinada. Las dimensiones del floculador (largo, ancho y profundidad) se calcularon en función del caudal de diseño y del tiempo de retención óptimo estimado, buscando un equilibrio entre eficiencia de floculación y costos de construcción. La inclusión de pantallas deflectoras verticales dispuestas estratégicamente a lo largo del floculador tiene como objetivo generar los gradientes de velocidad necesarios para favorecer la aglomeración de los flóculos sin causar su ruptura por fuerzas de cizallamiento excesivas. El espaciamiento y la altura de las aberturas de estas pantallas se definieron considerando los principios de mezcla gradual y la necesidad de minimizar las pérdidas de carga a través del sistema, teniendo en cuenta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 21.

Es importante destacar que el diseño propuesto para la canaleta Parshall y el floculador horizontal se integra de manera coherente con el recorrido existente de la planta tipo FIME (Filtración Múltiple en Etapas). Esto significa que la implementación de estas nuevas unidades se realizaría en la etapa inicial del tratamiento, optimizando la remoción de partículas y la clarificación del agua antes de su paso a través de los filtros existentes. Esta estrategia minimiza la necesidad de modificaciones significativas en las unidades de tratamiento posteriores, reduciendo los costos y la complejidad de la implementación.

El valor agregado de esta pasantía trasciende la mera aplicación de conocimientos teóricos. Se manifiesta en la capacidad de realizar un diagnóstico riguroso de la situación actual, identificar áreas de mejora basadas en criterios técnicos y normativos (como el IRCA), y proponer soluciones innovadoras y adaptadas a las necesidades específicas de SERVIBELEN. El diseño del modelo de optimización de la PTAP, con la inclusión de la canaleta Parshall como sistema de mezcla rápida y vertedero, y el floculador horizontal optimizado, representa una contribución tangible a la búsqueda de una mayor calidad del agua potable para la comunidad.

Además de la propuesta técnica concreta, la pasantía ha permitido el desarrollo de habilidades profesionales esenciales para el ejercicio de la ingeniería civil. La capacidad de análisis crítico, la resolución de problemas, el diseño conceptual, la aplicación de normativas técnicas, la comunicación efectiva con el personal operativo y la comprensión de los desafíos reales en la gestión de sistemas de agua potable son competencias que se fortalecieron significativamente durante

esta experiencia. La interacción con los profesionales de SERVIBELEN E.S.P, el aprendizaje de sus conocimientos prácticos y la comprensión de las dinámicas operativas de una empresa de servicios públicos han enriquecido la perspectiva como futura ingeniera civil.

La elaboración de este modelo de optimización no solo se basó en principios teóricos, sino que también consideró aspectos prácticos relevantes para su implementación. Se realizó una evaluación preliminar de los costos estimados de construcción y operación de las nuevas unidades, así como de los beneficios esperados en términos de mejora de la calidad del agua, reducción de la necesidad de productos químicos y potencial disminución de los riesgos para la salud pública. Si bien un análisis económico detallado requeriría una mayor profundización, la evaluación inicial sugiere que la inversión en estas mejoras podría generar beneficios significativos a largo plazo para SERVIBELEN E.S.P y la comunidad a la que sirve.

4.2 A LA COMUNIDAD

La pasantía en ingeniería civil, que culminó con el análisis del sistema de tratamiento de agua potable de SERVIBELEN E.S.P. y la propuesta de un modelo de optimización, representa un avance significativo que va más allá de lo técnico. Este proyecto tiene un impacto directo en el bienestar y la calidad de vida de la población de Belén, ya que la integración de una canaleta Parshall con doble funcionalidad y un floculador horizontal optimizado no es solo una mejora de infraestructura, sino un catalizador para una transformación profunda en la salud pública, el desarrollo socioeconómico y la confianza en los servicios básicos.

La implementación del modelo de optimización propuesto resultaría en una mejora sustancial de la calidad del agua potable suministrada. La optimización de la etapa de coagulación, gracias a la innovadora aplicación de la canaleta Parshall como sistema de mezcla rápida, garantizaría una dispersión más eficiente y homogénea del sulfato de aluminio. Esto maximizaría la desestabilización de las partículas coloidales y la formación de microflocúlos densos y estables, sentando las bases para una floculación más efectiva en la unidad horizontal diseñada específicamente para las características del agua local.

La floculación optimizada, con sus gradientes de velocidad controlados, promovería el crecimiento de flóculos de mayor tamaño y densidad, facilitando su remoción en las etapas de sedimentación y filtración existentes en la planta tipo FIME. Esta mayor eficiencia se traduciría directamente en un agua tratada con menor turbidez, una reducción significativa de partículas suspendidas, una mejora en el color y, lo más importante, una disminución considerable de la carga de microorganismos patógenos.

Esta mejora tangible en la calidad del agua potable tendría un impacto directo y profundo en la salud pública de Belén. El consumo de agua con altos niveles de turbidez y contaminación microbiológica es una de las principales causas de enfermedades transmitidas por el agua (ETAs), como diarrea, cólera y fiebre tifoidea. Estas enfermedades afectan desproporcionadamente a grupos vulnerables como niños, adultos mayores y personas inmunocomprometidas, generando sufrimiento, ausentismo escolar y laboral, y una carga significativa para el sistema de salud local. Al reducir drásticamente la presencia de patógenos en el agua potable, el modelo de optimización contribuiría a una disminución significativa de la incidencia de ETAs, lo que se traduciría en una comunidad más sana, con menos días de enfermedad y una menor demanda de servicios médicos, mejorando la calidad de vida y la productividad individual.

Más allá de los beneficios directos para la salud, la mejora en la calidad del agua potable generaría un aumento en la confianza de la población en el servicio de acueducto. Un agua clara, inodora e insípida que cumpla con los estándares de potabilidad fortalecería la percepción de SERVIBELEN E.S.P. como una entidad responsable y eficiente. Esta confianza se traduciría en una mayor disposición de los usuarios a utilizar el agua potable para todas sus necesidades, reduciendo la dependencia de fuentes alternativas de menor calidad y mayor riesgo.

La optimización de la PTAP también tendría efectos positivos en el desarrollo socioeconómico de Belén. Una población más sana y con mayor confianza en el suministro de agua es una población más productiva. La reducción del ausentismo laboral y escolar debido a enfermedades hídricas permitiría una mayor participación en la economía local y en el proceso educativo, impulsando el crecimiento y el progreso de la comunidad. Además, un suministro de agua potable confiable y de alta calidad es un factor fundamental para la atracción de inversión y el desarrollo de actividades económicas. Las empresas consideran los servicios básicos eficientes como un criterio crucial, lo que fortalecería la competitividad de Belén como un lugar atractivo para la inversión, generando oportunidades de empleo y dinamizando la economía local.

Otro aspecto importante es el impacto ambiental positivo que podría generar la optimización de la PTAP. Una coagulación y floculación más eficientes podrían reducir la necesidad de utilizar grandes cantidades de productos químicos, minimizando la generación de lodos de tratamiento y disminuyendo el impacto ambiental asociado a su disposición. Además, al garantizar un tratamiento adecuado del agua cruda, se protege la calidad de las fuentes hídricas receptoras de los vertimientos de la planta, contribuyendo a la conservación de los ecosistemas acuáticos locales.

Desde una perspectiva de equidad social, la mejora en la calidad del agua potable tendría un impacto especialmente significativo en las poblaciones más vulnerables de Belén. Las familias de bajos recursos, que a menudo tienen menos acceso a

alternativas de agua segura y a servicios de salud de calidad, serían las principales beneficiarias de una reducción en la incidencia de enfermedades hídricas. Un suministro de agua potable confiable y de alta calidad contribuye a reducir las desigualdades en salud y a mejorar las condiciones de vida de los sectores más necesitados.

Finalmente, la implementación del modelo de optimización podría generar beneficios operativos y económicos para SERVIBELÉN E.S.P. Una mayor eficiencia en los procesos de coagulación y floculación podría reducir el consumo de coagulante, uno de los principales costos operativos de una PTAP. Además, una menor carga de sólidos que llega a los filtros podría prolongar su vida útil y reducir la frecuencia de los lavados, disminuyendo el consumo de agua para retrolavado y los costos asociados al tratamiento de esta agua. Estas eficiencias operativas se traducirían en una gestión más sostenible y económica del servicio de acueducto, lo que a su vez podría repercutir positivamente en las tarifas para los usuarios a largo plazo. El proceso de análisis, diseño y potencial implementación del modelo de optimización fortalecería el capital humano y técnico de la entidad, generando capacidades locales que permitirían una gestión más eficiente y autónoma de la PTAP a largo plazo, fundamental para la sostenibilidad de cualquier mejora implementada.

5. IMPACTOS DEL TRABAJO DESEMPEÑADO

Mi experiencia como pasante en SERVIBELEN representó una oportunidad invaluable para aplicar y expandir mis conocimientos en el campo de la ingeniería civil, específicamente en el tratamiento de aguas. La pasantía se centró en la caracterización de la planta de potabilización de Belén, un proyecto que me permitió sumergirme en los desafíos reales que enfrentan las comunidades en cuanto al acceso a agua potable de calidad.

La caracterización de la planta de potabilización fue un proceso exhaustivo que abarcó diversas etapas:

- Análisis del proceso actual: Se realizó una revisión detallada de cada etapa del tratamiento, desde la captación del agua cruda hasta la distribución del agua tratada. Se identificaron los procesos unitarios involucrados: filtración y desinfección, en un estado de funcionalidad del 70%.
- Evaluación de la infraestructura: Se inspeccionaron las instalaciones, equipos y tuberías para determinar su estado y eficiencia. Se identificaron posibles puntos de mejora en el diseño y la operación de la planta con una eficiencia del 70%.
- Análisis de la calidad del agua: Se tomaron muestras de agua en diferentes puntos del proceso para analizar parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Se evaluaron la turbidez, el color, el pH, la presencia de microorganismos y la concentración de sustancias químicas.
- Cálculo del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA): Se aplicó la metodología del IRCA para evaluar el riesgo de la calidad del agua potable suministrada a la comunidad. Este índice considera diversos parámetros y ponderaciones para determinar el nivel de riesgo, obteniendo un valor de 24.13.

La aplicación del índice IRCA arrojó un resultado de "regular", lo que indica que el agua potable suministrada por la planta presenta riesgos potenciales para la salud de la población. Este resultado fue un hallazgo crítico que resaltó la necesidad de implementar mejoras urgentes en el proceso de tratamiento.

Los principales factores que contribuyeron al resultado "regular" del IRCA fueron:

- Elevados niveles de turbidez en el agua tratada, lo que sugiere una deficiencia en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación.
- Presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal, lo que indica una posible deficiencia en el proceso de desinfección.
- Variaciones en el pH del agua tratada, lo que puede afectar la eficiencia de la desinfección y la calidad del agua.

Ante los resultados del IRCA, se propuso la implementación de una unidad de floculación optimizada como medida para mejorar la calidad del agua tratada. La floculación es un proceso clave en la potabilización del agua, ya que permite aglomerar las partículas suspendidas en el agua para facilitar su remoción en la etapa de sedimentación.

La propuesta de implementación de la unidad de floculación incluyó:

- Diseño de un sistema de floculación eficiente: Se propuso un diseño que optimice el tiempo de retención, la velocidad de mezcla y la dosificación de coagulante para maximizar la formación de flóculos grandes y densos.
- Capacitación del personal: Se propuso un programa de capacitación para el personal de la planta en la operación y mantenimiento de la unidad de floculación.
- Monitoreo y control: Se propuso la implementación de un sistema de monitoreo y control continuo de la calidad del agua en la etapa de floculación para asegurar la eficiencia del proceso.

Se espera que la implementación de la unidad de floculación optimizada genere impactos positivos como:

- Mejora significativa en la calidad del agua tratada: Se reducirán en un 95% los niveles de turbidez y la presencia de microorganismos, con lo que disminuirá el riesgo para la salud de la población.
- Mejora del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA): Se reducirá en un 60% el índice de riesgo obteniendo un resultado “Sin riesgo” en esta escala.
- Optimización del proceso de tratamiento: Se mejorará la eficiencia de la sedimentación y la filtración en un 90% y reducirá en un 25% los retrolavados lo que reducirá los costos de operación y mantenimiento de la planta.
- Aumento de la confianza de la comunidad: Se generará mayor confianza en la calidad del agua potable suministrada, lo que mejorará la calidad de vida de la población en un 90%.
- Cumplimiento de la normatividad: La optimización de la planta permitirá que esta cumpla con los parámetros establecidos por la normatividad colombiana para agua potable RAS-21 en un 100%.

La caracterización de la planta y la propuesta de implementación de la unidad de floculación representan un paso importante hacia la optimización del proceso de tratamiento y la garantía del acceso a agua potable de calidad para todos.

Se recomienda:

- Implementar la unidad de floculación optimizada lo antes posible para mitigar los riesgos para la salud de la población.
- Realizar un monitoreo continuo de la calidad del agua en todas las etapas del proceso de tratamiento.
- Capacitar al personal de la planta en la operación y mantenimiento de los equipos y procesos.
- Buscar financiamiento para la modernización de la planta y la implementación de tecnologías más eficientes.

Para formalizar y planificar esta iniciativa ante entidades públicas, se ha desarrollado un cronograma detallado de implementación, junto con una estimación presupuestal. El plan se estructura en cuatro fases clave, cada una con objetivos específicos, duraciones estimadas y presupuestos asignados.

La **Fase 1**, con una duración de 3 a 4 meses y un costo estimado de COP \$40.000.000 a \$60.000.000, se centra en los estudios de ingeniería de detalle y la obtención de aprobaciones. Durante esta etapa, un equipo de ingenieros especializados se encargará de los levantamientos topográficos, estudios de suelos, el diseño final de los planos constructivos, un análisis de costo-beneficio detallado y la gestión de permisos regulatorios.

A continuación, la **Fase 2** (2 a 3 meses) se enfoca en la licitación, contratación y adquisición de equipos, con un presupuesto de COP \$10.000.000 a \$15.000.000. En esta etapa se elaborarán los términos de referencia para el proceso de licitación pública, se evaluarán las propuestas de las empresas constructoras y se adquirirán equipos críticos como la bomba dosificadora y sensores.

La **Fase 3** es la de construcción, que se extenderá de 6 a 8 meses, con el presupuesto más significativo, de COP \$200.000.000 a \$300.000.000. Las actividades incluyen la preparación del terreno, la obra civil para las nuevas unidades de concreto, la instalación de las pantallas y tuberías, y el montaje de los equipos.

Finalmente, la **Fase 4** (1 a 2 meses) se dedica a la puesta en marcha, calibración y capacitación. Con un costo de COP \$15.000.000 a \$25.000.000, esta fase asegura el correcto funcionamiento del nuevo sistema a través de pruebas de rendimiento y el entrenamiento del personal de SERVIBELEN.

La inversión total para la implementación del proyecto se estima en un rango de COP \$265.000.000 a \$400.000.000, con un valor promedio de COP \$332.500.000. Esta estimación inicial sirve como una guía para la planificación de los recursos,

buscando justificar la inversión por los beneficios en la salud pública y la sostenibilidad a largo plazo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El recorrido realizado durante este periodo, desde el análisis exhaustivo del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) hasta el diagnóstico detallado de su estado actual y el desarrollo de un modelo de optimización centrado en la implementación de una unidad de floculación, ha permitido abordar de manera integral los objetivos planteados inicialmente con el propósito de articular los hallazgos clave y reafirmar la necesidad y viabilidad de la optimización que se plantea como un camino hacia la mejora sostenible de la calidad de vida de la población de Belén.

Inicialmente se centró en analizar el funcionamiento de la planta de potabilización de aguas de Belén. Esta etapa preliminar fue crucial para comprender la infraestructura existente en su totalidad, desde la captación de la fuente hídrica hasta los procesos de tratamiento implementados y la red de distribución. A través de la observación directa de las operaciones diarias, la revisión de diagramas de flujo, la consulta de registros históricos de operación y mantenimiento, y las conversaciones con el personal técnico de SERVIBELEN, se logró una comprensión profunda de cada una de las etapas del tratamiento. Se identificaron las unidades de coagulación, sedimentación, filtración (tipo FIME) y desinfección existente, así como los flujos de agua, los puntos de control de calidad y los desafíos operativos cotidianos. Este análisis detallado proporcionó el contexto necesario para evaluar la eficiencia del sistema actual y para identificar los puntos críticos donde se podría introducir mejoras significativas.

Se procedió a realizar el diagnóstico del estado actual de la planta de potabilización de Belén el cual abordó desde una perspectiva integral, considerando tanto la eficiencia de los procesos de tratamiento como la calidad del agua producida. La aplicación del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) se erigió como una herramienta fundamental en esta etapa. A través de la realización de muestreos de agua en diferentes puntos clave de la planta y de la red de distribución, el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en laboratorio, y la aplicación rigurosa de la metodología IRCA, se determinó que la calidad del agua suministrada se clasificaba como "Regular". Este resultado, si bien no implicaba una situación de riesgo sanitario inminente, evidenció la existencia de deficiencias en la remoción de ciertos contaminantes y la presencia de un margen significativo para la mejora. El diagnóstico también incluyó la evaluación visual del estado de las diferentes unidades de tratamiento, la identificación de posibles problemas de mantenimiento o desgaste, y la revisión de los protocolos de operación y control de calidad implementados por SERVIBELEN E.S.P.

La identificación de la necesidad de mejorar la calidad del agua, evidenciada por el resultado del IRCA, condujo directamente a desarrollar un modelo de optimización de la PTAP implementando un método de floculación. Partiendo de la comprensión del funcionamiento actual de la planta y del diagnóstico de su estado,

se procedió a la concepción de una propuesta de optimización centrada en la etapa inicial del tratamiento, específicamente en la mejora de la coagulación y la introducción de una unidad de floculación optimizada.

El modelo de optimización propuesto se basa en la integración estratégica de una canaleta Parshall a la entrada del sistema de tratamiento. Esta canaleta, diseñada con dimensiones específicas para el caudal de diseño de la PTAP, cumpliría una doble función crucial. En primer lugar, actuaría como un sistema de mezcla rápida eficiente para el coagulante (sulfato de aluminio, con una dosificación determinada en ensayos de jarras). La geometría convergente de la canaleta generaría la turbulencia necesaria para una dispersión rápida y homogénea del químico en el agua cruda, optimizando la desestabilización de las partículas coloidales. En segundo lugar, la sección divergente de la canaleta se adaptaría para funcionar como un vertedero controlado hacia una nueva unidad de floculación horizontal diseñada específicamente.

El diseño del floculador horizontal se realizó considerando el caudal de diseño, un tiempo de retención óptimo estimado (basado en prácticas de ingeniería y la información recopilada), y la necesidad de generar gradientes de velocidad suaves y decrecientes para promover la aglomeración de los microflóculos formados durante la coagulación. Las dimensiones del floculador se calcularon para proporcionar el tiempo de retención adecuado. La inclusión de seis pantallas deflectoras verticales, espaciadas y con aberturas alternas, se concibió para inducir la mezcla gradual y controlada necesaria para el crecimiento de flóculos de mayor tamaño y densidad, sin generar fuerzas de cizallamiento que pudieran romperlos.

La integración de la canaleta Parshall y el floculador horizontal se diseñó de manera que se articulara fluidamente con el resto del sistema de tratamiento existente (sedimentación y filtración tipo FIME). El agua coagulada y floculada proveniente del nuevo floculador ingresaría a las unidades de sedimentación existentes, donde los flóculos más pesados se separarían por gravedad. Posteriormente, el agua clarificada pasaría a través de los filtros de lecho mixto para la remoción de las partículas restantes antes de la etapa final de desinfección. Esta estrategia de optimización se centró en la mejora de las etapas iniciales del tratamiento, reconociendo su impacto fundamental en la eficiencia de las unidades posteriores.

En cuanto al objetivo general de la pasantía, que era determinar la necesidad y viabilidad de la implementación de una unidad de floculación que optimice la remoción de partículas y mejore la calidad de agua de Belén, los resultados del análisis y el desarrollo del modelo permiten ofrecer una respuesta satisfactoria.

La necesidad de la implementación de una unidad de floculación se fundamenta en el resultado "Regular" obtenido en el índice IRCA, que evidenció la existencia

de oportunidades para mejorar la remoción de partículas y, por ende, la calidad general del agua potable suministrada. La optimización de la coagulación mediante la canaleta Parshall y la introducción de una floculación controlada son procesos reconocidos y ampliamente utilizados para mejorar la clarificación del agua y reducir la carga de contaminantes que llegan a las etapas de filtración y desinfección.

La viabilidad de la implementación se evaluó desde diversas perspectivas. Desde el punto de vista técnico, el diseño propuesto se basa en principios de ingeniería hidráulica y de tratamiento de agua bien establecidos. La integración de la canaleta Parshall y el floculador horizontal con la infraestructura existente se consideró factible, minimizando la necesidad de modificaciones extensas en otras unidades de la planta. Desde una perspectiva operativa, el diseño buscó la simplicidad y la eficiencia, considerando la capacidad del personal de SERVIBELEN E.S.P para operar y mantener las nuevas unidades. Si bien un análisis económico detallado requeriría una etapa posterior, la evaluación preliminar de los costos de construcción y operación sugirió que la inversión podría justificarse por los beneficios esperados en términos de mejora de la calidad del agua, reducción de costos operativos a largo plazo (potencialmente menor consumo de químicos y menor frecuencia de mantenimiento de filtros) y, fundamentalmente, la mejora de la salud pública de la población de Belén.

La implementación de este modelo de optimización tiene el potencial de generar efectos positivos significativos en la calidad de vida de la población de Belén, tal como se describió en la argumentación previa. Una mejor calidad del agua potable se traduciría en una reducción de las enfermedades hídricas, un aumento de la confianza en el servicio de acueducto, un impulso al desarrollo socioeconómico y una gestión más sostenible y eficiente de los recursos hídrico, aunque promete una mejora en la calidad del agua, presenta varias limitaciones clave que deben considerarse. En primer lugar, se ha realizado un análisis económico preliminar, que, si bien es una base, carece de un estudio de factibilidad completo para asegurar la viabilidad financiera a largo plazo. Además, el modelo es altamente dependiente de las condiciones hidrológicas y de la calidad del agua específica de Belén, lo que, a pesar de contar con ensayos de jarras para la dosificación de químicos, imposibilita su replicabilidad directa.

Para aplicar este modelo con éxito en otros municipios, se recomienda un enfoque en varias etapas. Es indispensable iniciar con un diagnóstico integral del sistema local, evaluando la calidad del agua con el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA). Luego, el diseño debe ser meticulosamente adaptado a las condiciones específicas de la nueva ubicación, utilizando pruebas de jarras para determinar la dosificación óptima de los coagulantes. También es crucial realizar un estudio de factibilidad completo que incluya un análisis de retorno de la inversión. La implementación de pruebas piloto antes de la construcción final es vital para mitigar riesgos. Por último, un plan de capacitación para el personal

operativo asegurará una operación y un mantenimiento eficientes de las nuevas unidades.

7. GLOSARIO

Q: Caudal para condiciones de descarga libre (m^3/s)
ha: Profundidad del agua en el punto de aforo (m).
K y n: Constantes diferentes para cada ancho de la garganta
Wa: Ancho de la zona de garganta antes del resalto (m)
D: Ancho de la zona de aforo (m)
W: Ancho de la zona de garganta (m)
Va: Velocidad del agua en la zona de aforo (m/s)
E1: Energía en la zona de aforo (m)
g: Gravedad (m/s^2)
N: Diferencia respecto al nivel de referencia (N)
E2: Energía en la zona de garganta antes del resalto
h2: Altura de la zona de garganta antes del resalto (m)
V2: Velocidad en la zona de garganta antes del resalto (m/s)
Hb: Profundidad del agua en la zona de garganta (m)
S: Sumergencia
F: Número de Froud
h3: Altura en la zona de garganta después del resalto (m)
V3: Velocidad en la zona de garganta después del resalto (m/s)
h4: Altura en la zona de divergencia (m)
Z: Diferencia de altura entre la zona de divergencia y la zona de aforo (m)
E4: Energía en la zona de divergencia (m)
V4: Velocidad en la zona de divergencia (m/s)
c: Medida estándar de la canaleta en función del ancho de la garganta (m)
Vm: Velocidad media después del resalto (m/s)
t: Tiempo(s)
G': Medida estándar de la canaleta en función del ancho de la garganta (m)
G: Gradiente de velocidad (s)
 γ : Densidad (kg/m^3)
h: Pérdida de energía (m)

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Romero Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del Agua* (3a ed.). Alfaomega Grupo Editor.

Daniel, S., Xavier, R., & Ana, B. (2015). *Diagnostico Ambiental y Diseño Red de Calidad del Agua Quito-Ecuador*. Editorial Académica Española.

Romero Rojas, J. A. (1999a). *Calidad del Agua*. Alfaomega Grupo Editor.

Azabache Liza, Y. F., Rodríguez Espinoza, R. F., & Santa Cruz, P. C. (2023). *Efeito do processo de coagulação e floculação*. Edicoes Nosso Conhecimento.

Decreto 1575 de 2007 - Gestor Normativo. (n.d.). Gov.co. Retrieved August 24, 2025, from <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE,
VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (s/f) RESOLUCIÓN NÚMERO
2115 de 2007.

https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf

García, A. (2020). *Servicios públicos domiciliarios desde perspectiva de los derechos fundamentales. Diálogos de Derecho y Política*. 106–132.

(S/f). Gov.co. Recuperado el 24 de agosto de 2025, de

<https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2024/07/PDD-NUESTRO-GRAN-PLAN-ES-BOYACA-2024-2027-FINAL.pdf>

Ministerio de Vivienda, C. y. T. (s/f). *Reglamento Técnico del Sector de Agua*

Potable y Saneamiento Básico – RAS21. <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>

de Colombia, R. (s/f). *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio*. Edu.co.

Recuperado el 24 de agosto de 2025, de <https://www.acofi.edu.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-799-de-2021.pdf>

9. APENDICES Y ANEXOS

Anexo A. Bitácoras

Anexo B. Anexos (fotografías, actas de reunión)