DIAGNÓSTICO, DISEÑO Y MODELACION HIDRÁULICA PARA LOS ACUEDUCTOS VEREDALES POZO AZUL, ENCILLADA Y MONTE BRUJAS DEL MUNICIPIO PALMAS DEL SOCORRO SANTANDER

Contratante:
ALCALDIA MUNICIPAL DE PALMAS DEL SOCORRO-SANTANDER

Contratista:
ALFA INGENIERIA Y CONSULTORIA SAS.

Palmas del Socorro, Octubre de 2025
Departamento, Santander

DIAGNÓSTICO, DISEÑO Y MODELACION HIDRÁULICA PARA LOS ACUEDUCTOS VEREDALES POZO AZUL, ENCILLADA Y MONTE BRUJAS DEL MUNICIPIO PALMAS DEL SOCORRO SANTANDER

Contratante:
ALCALDIA MUNICIPAL DE PALMAS DEL SOCORRO-SANTANDER

Contratista:
ALFA INGENIERIA Y CONSULTORIA SAS.

Registro de elaboración

Ginna Paola González R	
GINNA GONZALEZ.	**ESTIBENSON RUGE**
Cargo: Especialista	**Cargo: Representante legal**
ELABORO	**REVISO Y APROBÓ**

Control de cambios

SEQ	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	ELABORO	REVISO	APROBÓ
05	5					
04	4					
03	3					
02	2					
01	1					

Palmas del Socorro, Octubre de 2025
Departamento, Santander

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN 8

2. OBJETIVOS 10

3. MARCO LEGAL 11

4. GENERALIDADES DEL PROYECTO 13

5. LOCALIZACION 14

6. EVALUACION, DIAGANOSTICO Y PROPUESTA DE DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO ACUEDUCTO VEREDAL POZO AZUL 16

6.1. Diagnostico Técnico y Operativo del sistema de Tratamiento 16
6.1.2. Coagulación diagnostico técnico y operativo 17
6.1.2. Floculación diagnostico técnico y operativo 19
6.1.3. Sedimentación (Decantación) diagnostico técnico y operativo 20
6.1.4. Filtración diagnostico técnico y operativo 22
6.1.5. Desinfección diagnostico técnico y operativo 22
6.1.6. Conclusiones Generales del Sistema de Tratamiento 24
6.1.7. Recomendaciones Generales del Sistema de Tratamiento: 25

6.2. Calidad de Agua 26
6.2.1. Resultados – Agua Cruda 26
6.2.2. Análisis de Resultados por Parámetro 30
6.2.1 Turbiedad 30
6.2.2. Color Aparente 30
6.2.3. Hierro Total 31
6.2.4. Cloro Residual Libre. 31
6.2.5. Coliformer Totales y Escherichia coli 31

6.3. Balance de Masa. 32
6.3.1 Balance de Masas para Compuestos químicos 35
6.3.2. Balance de Masa para Caudal 38

6.4. Proyección de población 43
6.4.1. Método lineal 43
6.4.2. Método geométrico 45
6.4.3. Método logarítmico 47

6.5. Cálculo de Dotación y Caudal 48
6.5.1. Dotación Neta 48
6.5.2. Dotación Bruta 49
6.5.3. Perdidas 50
6.5.4. Demanda 51

6.6. Definición sistema de tratamiento 54
6.6.1. Tipos de Aireadores, Definición y Selección Tecnológica 56
6.6.2. Tipos de mezcladores rápidos, definición 57
6.6.3. Tipos de Floculadores – Definición y Selección Tecnológica 58
6.6.4. Tipos de Sedimentadores – Definición y Selección Tecnológica 59
6.6.5. Tipos de Filtros Rápidos – Definición y Selección Tecnológica 60
6.6.6. Tipos de Desinfección – Definición y Consideraciones Técnicas 60

6.7. Planteamiento predimensionamiento de alternativas de potabilización 62
6.7.1. Materialidad en las alternativas de tratamiento 62
6.7.2. Predimensionamiento alternativa de diseño 63

6.9. Conclusiones del Diseño ..... .**¡Error! Marcador no definido.**

6.10.Recomendaciones Técnica 81

7. EVALUACION, DIAGNOSTICO Y ANÁLISIS DE LÍNEA DE CONDUCCIÓN ENTRE PLANTA DE TRATAMIENTO Y TANQUE DEL ACUEDUCTO ENCILLA 82

7.1. Diagnostico General de la Planta de tratamiento y tanque de almacenamiento 82
7.1.1. Caudal de Diseño 86
7.1.2. Dotación Bruta 89
7.1.3. Caudal Promedio diario 87
7.1.4. Caudal máximo diario 87
7.1.5. Caudal máximo horario 88
7.1.6. Caudal requerido 88

7.2. Condiciones Topográficas ..... **¡Error! Marcador no definido.**

7.3. Distacia y cotas entre tanque y planta 91

7.4. Analisis de Alternativas 114

7.5. Diseño de Distribución 91

7.6. Conclusiones 99

7.7. Recomendaciones 100

8. DIAGNOSTICO TECNICO ACUEDUCTO MONTE BRUJAS 102

8.1.Bocatoma 118
8.1.1. Recomendaciones técnicas: 102

8.2.Cajas de Sedimentación – Pretratamiento 103
8.2.1. Recomendaciones técnicas: 103

8.3 Tanque de Almacenamiento y Distribución 120
8.3.1. Recomendaciones técnicas: 120

8.4. Caseta de Bombeo 104
8.4.1. Recomendaciones técnicas: 104

8.5. Riesgos Identificados 106

8.6. Recomendaciones Generales 106

9. CONCLUSIONES GENERALES 107

10. RECOMENDACIONES GENERALES 108

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Localización Municipio Palmas del Socorro 14
Ilustración 2. Planta de Tratamiento Acueducto Rural Pozo Azul 17
Ilustración 3. Tanque usado para procesos de Dosificación y Coagulación 18
Ilustración 4. Proceso de Floculación 20
Ilustración 5. Proceso de Sedimentación 21
Ilustración 6. Registros Dañados 21
Ilustración 7. Estado Tanque de Almacenamiento y Distribución 23
Ilustración 8. Resultados Muestra Agua Cruda Acueducto Veredal Pozo Azul 27
Ilustración 9. Resultados Muestra de Agua Tratada 29
Ilustración 10. Tren de Tratamiento Acueducto Pozo Azul 42
Ilustración 11. Proyección de Población según Nivel de Complejidad 43
Ilustración 12. Grafica proyección de población método aritmético 44
Ilustración 13. Proyección de Población Método Geométrico 46
Ilustración 14. Proyección de Población Método Logarítmico 48
Ilustración 15. Análisis Multivariable entre aireadores de cascada y bandejas múltiples 55
Ilustración 16. Diseño PTAP Vereda Pozo Azul -Perfil 64
Ilustración 17. Diseño PTAP acueducto Pozo Azul -Planta 64
Ilustración 18. Diseño Torre de Aireación 65
Ilustración 19. Parámetros de diseño para Torres de Aireación 66
Ilustración 20. Diseño Vertedero RectangulaR 68
Ilustración 21. Diseño Floculador Tipo Alabama 70
Ilustración 22. Diseño Sedimentador Alta Tasa 73
Ilustración 23. Diseño Filtros Rápidos 76
Ilustración 24. Diseño Tanque de Contacto de cloro 79
Ilustración 25. Dimensiones Tanque de Almacenamiento 81
Ilustración 26. Planta de Tratamiento Vereda Encillada - Barro Hondo 84
Ilustración 27. Sistema de Válvulas Ptap Encillada- Barro Hondo 85
Ilustración 28. Tanque de Almacenamiento Ptap Vereda Encillada - Barro Hondo 86
Ilustración 29. Planimetría de la topografía presentada 91
Ilustración 30. Perfil presentado de la topografía del terreno 91
Ilustración 31. Localización del tanque de almacenamiento propuesto 94
Ilustración 32. Configuración y conexión planteada para el nuevo tanque de almacenanto 96
Ilustración 33. Materiales propuestos en el diseño de la red hidráulica 99
Ilustración 34. Distribución de diámetros a lo largo del alineamiento de conducción 100
Ilustración 35. Perfil Hidráulico del sistema propuesto 103
Ilustración 36. Velocidad en la linea de conducción 104
Ilustración 37. localización de las estaciones de ventosa 105
Ilustración 38. Localización de la purga del sistema 106
Ilustración 39. Bocatoma Acueducto Montebrujas 118

Ilustración 40. Cajas sedimentadoras 119
Ilustración 41. Caseta de Bombeo 121
Ilustración 42. Sistema Eléctrico de la bomba 121

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros fuera de Norma (Agua Cruda) 26
Tabla 2. Parámetros Fuera de Norma (Agua Tratada) 28
Tabla 3. Balance de masas por Estructura para Caudal 41
Tabla 4. Tabla de TRH Y capacidad de procesos de ptaP 79
Tabla 5. Ficha técnica de tanque de almacenamiento recomendadO 95
Tabla 6. Localización de las estaciones de ventosa 106

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto denominado "CONSULTORÍA PARA REALIZAR EL DIAGNOSTICO Y ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS ACUEDUCTOS VEREDALES LA ENSILLADA Y POZO AZUL DEL MUNICIPIO PALMAS DEL SOCORRO-SANTANDER", contempla las acciones de diagnóstico y mejora de sistemas rurales de abastecimiento de agua, se realizaron visitas técnicas a los acueductos Pozo Azul, Encillada y Monte Brujas, ubicados en el municipio de Palmas del Socorro. Estas inspecciones permitieron evaluar las condiciones actuales de infraestructura, operación y calidad del agua, con el fin de identificar deficiencias críticas y proponer soluciones técnicas que garanticen el cumplimiento de la normativa vigente, especialmente la Resolución 2115 de 2007 y el Resolucion 799 del 2021.

El presente informe consolida los hallazgos obtenidos en campo, incluyendo el análisis del sistema de tratamiento del acueducto Pozo Azul, la evaluación hidráulica de la línea de conducción proyectada en el acueducto Encillada, y el diagnóstico preliminar del sistema de Monte Brujas. A partir de esta información, se plantean recomendaciones orientadas a mejorar la eficiencia técnica, la viabilidad constructiva y la sostenibilidad sanitaria de los sistemas evaluados. Esta iniciativa surge como respuesta a falta de un sistema de tratamiento operativo que garantice la potabilización del agua suministrada para consumo humano, incumpliendo los parámetros de calidad establecidos en la Resolución 2115 de 2007, aún vigente.

De acuerdo con la Resolución 844 de 2018, se definen las soluciones alternativas colectivas de agua como aquellas que incluyen el consumo humano y doméstico, así como el volumen necesario para la subsistencia de la familia rural. Estas soluciones pueden consistir en: a) abastos de agua con distribución de agua cruda o parcialmente tratada mediante redes físicas hasta la vivienda; b) puntos de suministro para la entrega de agua cruda o parcialmente tratada; y c) captación de aguas lluvias. No obstante, dado que el sistema de acueducto en cuestión abastece a una comunidad educativa y pobladores del área rural del municipio de Moniquirá, Boyacá, se considera indispensable garantizar la potabilización del recurso hídrico a través de las redes existentes. Por esta razón, el proyecto no se clasifica como una solución alternativa colectiva de agua.

En concordancia con el artículo 17 de la Resolución 844 de 2018, los estudios y diseños de sistemas de acueducto, alcantarillado y/o aseo deben formularse conforme a lo establecido en la Resolución 330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, o la norma que la modifique, adicione o sustituya. Además, deben aplicarse los requisitos técnicos definidos en dicha resolución, según el tipo de sistema.

La selección de la alternativa tecnológica y del tren de tratamiento para la potabilización se fundamenta en los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras tomadas de la fuente de abastecimiento. El objetivo es asegurar que la calidad del agua tratada cumpla con las características exigidas por la Resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1575 de 2007. Para ello, se consideran aspectos socio-culturales, ambientales, económicos y tecnológicos que permitan una solución integral y sostenible.

Según el artículo 13 de la Resolución 330 de 2017, se deben formular alternativas de proyecto que den solución a los problemas, objetivos y metas previamente identificados, desde una perspectiva técnica y a nivel de predimensionamiento. Como resultado, se debe obtener al menos un documento de prediseño, acompañado de los planos y memorias técnicas correspondientes.
Finalmente, conforme al artículo 14 de la misma resolución, la comparación de alternativas y la selección de la opción más viable deben estar sustentadas en criterios de sostenibilidad económica, técnica, ambiental, social, gestión de riesgos y en una metodología clara para determinar la alternativa más favorable. Cabe resaltar que el prediseño se entiende como el diseño conceptual del proyecto, en el cual se realiza una aproximación a las principales características de los sistemas y su funcionamiento, así como a las alternativas propuestas para el diseño definitivo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diagnóstico técnico de los sistemas de abastecimiento y tratamiento de agua potable en las veredas Pozo Azul, Encillada y Monte Brujas, con el fin de identificar deficiencias operativas, estructurales y sanitarias, y diseñar soluciones técnicas que garanticen el cumplimiento de la normativa vigente, asegurando la viabilidad técnica, económica, ambiental y social de los sistemas propuestos.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar el estado operativo y funcional de los trenes de tratamiento existentes mediante inspección técnica, análisis de laboratorio y revisión de procesos de operación y mantenimiento.

- Analizar la viabilidad hidráulica y topográfica de las líneas de conducción proyectadas, considerando pérdidas de carga, presión disponible y compatibilidad con el entorno físico.

- Identificar riesgos sanitarios, eléctricos, estructurales y educativos que afecten la continuidad y seguridad del servicio.

- Proponer recomendaciones técnicas y estrategias de mejora que fortalezcan la operación, mantenimiento y sostenibilidad de los sistemas.

3. MARCO LEGAL

Estas normas establecen los parámetros de calidad del agua y diseño de los sistemas de tratamiento de agua potable.

Norma	Descripción Técnica y Aplicación
Constitución Política de Colombia	Establece en su artículo 79 que el Estado debe proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación ambiental como mecanismo de protección.
Ley 9 de 1979 – Código Sanitario Nacional	Define las disposiciones generales para la protección de la salud pública. En materia de agua, establece la obligación de vigilancia sanitaria del agua para consumo humano, con el fin de prevenir riesgos que afecten la salud de la población.
Ley 142 de 1994	Regula el régimen de los servicios públicos domiciliarios, incluyendo agua potable y alcantarillado. Define las competencias de los prestadores, usuarios y entidades reguladoras, así como los principios de eficiencia, calidad y continuidad del servicio.
Ley 715 de 2001	Asigna competencias a las entidades territoriales en materia de salud pública, incluyendo la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano como función esencial del sector salud.
Decreto 1575 de 2007	Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, definiendo los requisitos técnicos, operativos y administrativos que deben cumplir los sistemas de abastecimiento.
Resolución 2115 de 2007	Reglamenta el Decreto 1575 de 2007. Define las características físicas, químicas y microbiológicas del agua potable, así como los instrumentos básicos y frecuencias para el control y vigilancia de la calidad del agua.
Resolución 811 de 2008	Establece los lineamientos para la definición concertada de puntos de muestreo en la red de distribución, entre la autoridad sanitaria y los prestadores del servicio.
Resolución 82 de 2009	Adopta formularios estandarizados para la realización de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua potable.
Resolución 4716 de 2010	Reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007, relacionado con el reporte de información técnica por parte de los

	prestadores del servicio.
Resolución 5554 de 2010	Autoriza a laboratorios acreditados para realizar análisis físico-químicos y microbiológicos del agua para consumo humano, garantizando la confiabilidad de los resultados.
Resolución 0330 de 2017	Establece los requisitos técnicos para el diseño de sistemas de acueducto, alcantarillado sanitario y pluvial. Incluye criterios hidráulicos, estructurales, ambientales y de sostenibilidad aplicables a proyectos nuevos y de optimización.
Resolución 0799 de 2021 (Actualización de la 0330 de 2017)	Introduce ajustes técnicos y metodológicos a los requisitos de diseño establecidos en la Resolución 0330, incorporando nuevas tecnologías, criterios de resiliencia y eficiencia energética en los sistemas de saneamiento básico.

4. GENERALIDADES DEL PROYECTO

La presente consultoría contempla el diagnóstico operativo y funcional del tren de tratamiento del Acueducto Rural de la vereda Pozo Azul, viabilidad de separación de red de conducción para el acueducto Encillada y diagnostico ocular del acueducto Montebrujas de la dentro del diagnóstico se encuentra una descripción de las estructuras de la PTAP y tanque de almacenamiento y distribución de agua potable del acueducto Pozo Azul, ubicado en el municipio de Palmas del Socorro.

La iniciativa tiene como propósito evaluar técnicamente el sistema actual de abastecimiento, el cual no cuenta con un proceso de potabilización que garantice la calidad del recurso hídrico conforme a los parámetros establecidos en la Resolución 2115 de 2007, vigente en Colombia. A través de un diagnóstico integral, se busca identificar las deficiencias del sistema existente y diseñar un nuevo tren de tratamiento que asegure el cumplimiento de los estándares de calidad para el agua destinada al consumo humano, considerando además la viabilidad técnica, económica, ambiental y social del sistema propuesto. La iniciativa busca implementar un sistema tecnológico de potabilización dado que actualmente el sistema de suministro de agua para consumo humano no cuenta con un proceso de tratamiento que garantice la calidad del recurso hídrico conforme a los parámetros establecidos en la Resolución 2115 de 2007, vigente hasta la fecha.

De acuerdo con la Resolución 844 de 2018, se definen las soluciones alternativas colectivas de agua como aquellas que incluyen el consumo humano y doméstico, así como el volumen necesario para la subsistencia de la familia rural. Estas soluciones pueden consistir en: a) abastos de agua con distribución de agua cruda o parcialmente tratada mediante redes físicas hasta la vivienda; b) puntos de suministro para la entrega de agua cruda o parcialmente tratada; y c) captación de aguas lluvias.

En cumplimiento del artículo 17 de la Resolución 844 de 2018, los estudios y diseños de sistemas de acueducto, alcantarillado y/o aseo deben formularse conforme a lo establecido en la Resolución 330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, o la norma que la modifique, adicione o sustituya, aplicando los requisitos técnicos correspondientes según el tipo de sistema. La selección de la alternativa tecnológica y del tren de tratamiento estará basada en los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras tomadas de la fuente de abastecimiento, con el fin de garantizar que la calidad del agua tratada cumpla con los requisitos establecidos en la Resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1575 de 2007.

5. LOCALIZACION

Palmas del Socorro es un pequeño y pintoresco municipio ubicado en el departamento de Santander, Colombia. Forma parte de la provincia Comunera, una región rica en historia y tradición. Este municipio se encuentra en la zona sur del departamento y está rodeado por paisajes montañosos que le otorgan un encanto natural especial. Sus coordenadas geográficas son aproximadamente 6.4076° de latitud norte y 73.2882° de longitud oeste, lo que lo sitúa en una región de clima templado y agradable.

Ilustración 1. Localización Municipio Palmas del Socorro



El municipio limita al norte con Socorro, al sur con Guapotá, al este con Chima y al oeste con Confines y Simacota. Esta ubicación le permite tener conexiones con otros pueblos de gran valor cultural y turístico dentro de Santander. Con una superficie de 57,02 km², Palmas del Socorro es un territorio predominantemente rural, donde la agricultura y la ganadería son actividades económicas fundamentales. Según el censo de 2018, la población de Palmas del Socorro es de aproximadamente 2.535 habitantes, quienes son conocidos como palmeños.

SISTEMA DE ACUEDUCTO VEREDAL POZO AZUL

6. EVALUACION, DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO ACUEDUCTO VEREDAL POZO AZUL

Bajo el marco normativo vigente en ese momento (Resolución 0330 de 2017), y que posteriormente entró en vigor la Resolución 799 de 2021, resulta necesario realizar una evaluación técnica detallada del sistema propuesto. Esta revisión tiene como objetivo identificar posibles brechas frente a los nuevos lineamientos regulatorios, así como verificar la compatibilidad del diseño con los criterios actualizados en materia de eficiencia, sostenibilidad y calidad del agua.

6.1. Diagnostico Técnico y Operativo del sistema de Tratamiento

El sistema de tratamiento de agua del acueducto rural en mención tiene una capacidad de 1l/segundo, actualmente abastece aproximadamente 40 suscriptores, con un promedio estimado de 4 personas por vivienda, lo que representa una población beneficiaria cercana a 160 habitantes.

El sistema suministra agua a dos instituciones educativas, entre ellas el Colegio Ágape, y la escuela el Pozo; de las cuales actualmente la primera no recibe agua tratada, situación que genera un riesgo sanitario significativo. Es importante resaltar que las estructuras no cuentan con una placa de soporte que garantice su estabilidad y evite daños en las estructuras. El sistema de tratamiento cuenta con una canaleta Parshall improvisada, utilizada para la dosificación del coagulante (policloruro de aluminio). Esta estructura permite una medición aproximada del caudal, facilitando la aplicación manual o semiautomática del reactivo.

A continuación, el agua pasa por tanques combinados de coagulación, floculación y filtración, los cuales tienen una altura de 2,80 metros y un diámetro de 4,75 metros. Estas unidades están diseñadas para promover la agregación de partículas coloidales, facilitar la formación de flóculos y permitir su remoción mediante procesos de filtración.

El proceso de sedimentación se realiza en un sedimentador equipado con paneles tipo colmena (lamelares). Esta configuración busca optimizar la remoción de sólidos suspendidos al aumentar la superficie efectiva de decantación. Finalmente, el sistema cuenta con un tanque de almacenamiento y distribución, cuya función principal es regular el suministro de agua y mantener un volumen de reserva que garantice la continuidad del servicio.

Ilustración 2. Planta de Tratamiento Acueducto Rural Pozo Azul
Fuente: Alfa Ingeniería



6.1.2. Coagulación diagnostico técnico y operativo

El proceso de coagulación en el sistema actual se realiza mediante una canaleta Parshall improvisada, que cumple una doble función: estimar de forma aproximada el caudal de entrada y permitir la dosificación manual o semiautomática del coagulante, en este caso policloruro de aluminio. Sin embargo, esta estructura no está diseñada para generar una mezcla rápida eficiente, lo cual es fundamental para lograr una distribución homogénea del reactivo y favorecer la desestabilización de las partículas coloidales presentes en el agua cruda.

Desde el punto de vista técnico, la ausencia de una unidad de mezcla rápida con agitación controlada y dosificación precisa limita gravemente la eficiencia del proceso. La canaleta improvisada no permite ajustar parámetros críticos como el tiempo de contacto, la velocidad de agitación ni la concentración del coagulante, lo que puede derivar en una coagulación incompleta o ineficaz. Además, no se cuenta con sistemas de monitoreo en

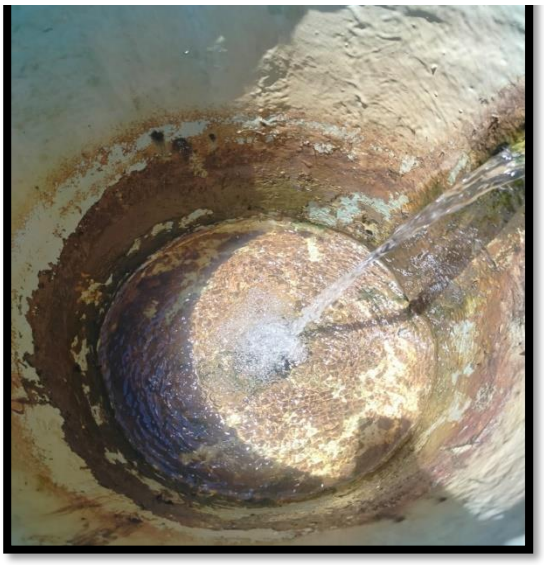
línea que permitan verificar la calidad del agua en tiempo real ni ajustar la dosificación según la variabilidad del caudal o la carga contaminante.

De acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, que establece los requisitos de calidad del agua para consumo humano, el proceso de coagulación debe estar respaldado por una infraestructura que garantice condiciones hidráulicas adecuadas, control de reactivos y eficiencia operativa. Asimismo, la Resolución 799 del 2021.exige que las unidades de tratamiento cuenten con diseño técnico validado, operación segura y mantenimiento programado.

Se concluye que el sistema actual no cumple con los estándares técnicos ni normativos exigidos para el proceso de coagulación. Se recomienda la instalación de una cámara de mezcla rápida, equipada con un sistema de agitación mecánica o hidráulica, y una unidad de dosificación automatizada que permita ajustar la cantidad de coagulante en función del caudal y la calidad del agua cruda.

Esta mejora no solo optimizaría el rendimiento del tratamiento, sino que también contribuiría a la protección de la salud pública y al cumplimiento de la normativa vigente.

Ilustración 3. Tanque usado para procesos de Dosificación y Coagulación
Fuente: Alfa Ingeniería



6.1.2. Floculación diagnostico técnico y operativo

El proceso de floculación en el sistema actual presenta deficiencias críticas que afectan directamente la eficiencia del tratamiento. Durante la inspección visual, se evidenció que no se están formando partículas de floc, lo cual indica que la agregación de los coloides no está ocurriendo de manera efectiva. Además, la estructura se encuentra colmatada, lo que limita el flujo hidráulico y reduce el tiempo de retención necesario para que los flóculos se desarrollen adecuadamente.

Desde el punto de vista técnico, la floculación requiere una mezcla lenta y controlada, con tiempos de retención que oscilan entre 20 y 30 minutos, dependiendo de la calidad del agua cruda y del tipo de coagulante utilizado. Esta etapa debe permitir que las partículas desestabilizadas durante la coagulación se agrupen en flóculos suficientemente grandes para ser removidos en la sedimentación. Sin embargo, en el sistema actual, la falta de mantenimiento, la colmatación interna y la inoperatividad de las válvulas de purga impiden que se cumplan estas condiciones mínimas.

De acuerdo con la Resolución 799 del 2021 y la Resolución 2115 de 2007, las unidades de floculación deben estar diseñadas para garantizar un flujo uniforme, velocidades de agitación adecuadas y mecanismos de limpieza que eviten la acumulación de sólidos. Además, deben contar con dispositivos que permitan el control hidráulico y la evacuación periódica de lodos y residuos acumulados.

El sistema de floculación no cumple con los estándares técnicos ni con la normativa vigente. Se recomienda realizar un rediseño integral de la unidad, que incluya la restauración de las válvulas de purga, la limpieza profunda de la estructura y la implementación de un sistema de mezcla lenta con control hidráulico. Estas acciones son fundamentales para recuperar la funcionalidad del proceso y garantizar la eficiencia del tratamiento de agua para consumo humano.

Ilustración 4. Proceso de Floculación
Fuente: Alfa Ingeniería



6.1.3. Sedimentación (Decantación) diagnostico técnico y operativo

El proceso de sedimentación en el sistema actual se realiza mediante un sedimentador equipado con paneles tipo colmena (lamelares), diseñados para aumentar la superficie efectiva de decantación y mejorar la remoción de sólidos suspendidos. Sin embargo, durante la inspección se evidenció que estos paneles se encuentran colmatados, es decir, obstruidos por acumulación de sedimentos, lo que limita gravemente su capacidad operativa. Además, no se ha realizado mantenimiento periódico, lo que ha permitido que los lodos se acumulen sin ser evacuados, afectando el rendimiento hidráulico y la calidad del agua tratada.

Desde el punto de vista técnico, los sedimentadores lamelares requieren una limpieza regular para mantener su eficiencia. La acumulación de sólidos reduce el área de contacto, altera el flujo laminar y puede generar zonas muertas donde el agua no se decanta adecuadamente. La Resolución 2115 de 2007, junto con la Resolución 799 del 2021., establece que las unidades de sedimentación deben contar con sistemas de purga funcionales, accesibilidad para limpieza y diseño que permita la remoción periódica de lodos sin interrumpir el servicio. La falta de mantenimiento y la colmatación observada indican que el sistema actual no cumple con los estándares técnicos ni con la normativa vigente. Esta situación representa un riesgo sanitario, ya que los sólidos no removidos

pueden pasar a las siguientes etapas del tratamiento, comprometiendo la eficiencia de la filtración y la calidad final del agua.

Se recomienda realizar una limpieza inmediata de los paneles lamelares, restaurar el sistema de purga y evaluar la integridad estructural del sedimentador. En caso de que se identifiquen daños o pérdida de funcionalidad, se deberá considerar su reparación o reemplazo. Además, es fundamental implementar un programa de mantenimiento preventivo, con cronograma de inspección, limpieza y monitoreo de carga de sólidos, para garantizar la operación continua y segura del sistema.

Ilustración 5. Proceso de Sedimentación
Fuente: Alfa Ingeniería



Ilustración 6. Registros Dañados
Fuete: Alfa Ingeniería



6.1.4. Filtración diagnostico técnico y operativo

El sistema de filtración del acueducto presenta un estado crítico de inoperatividad. Durante la inspección se evidenció que los lechos filtrantes no han sido reemplazados en varios años, lo que compromete gravemente la capacidad de remoción de partículas suspendidas. Además, se identificaron modificaciones estructurales no técnicas en el diseño original del filtro, así como válvulas inoperativas que impiden realizar los lavados necesarios para mantener la eficiencia del proceso.

Desde el punto de vista técnico, los filtros de arena deben contar con lechos renovables, compuestos por capas de grava y arena de granulometría controlada, que deben ser reemplazados cada 1 a 2 años, dependiendo de la carga de sólidos y la frecuencia de lavado. Asimismo, es indispensable que el sistema disponga de válvulas funcionales para realizar el lavado hidráulico en contracorriente, lo cual permite remover el material acumulado y restaurar la capacidad de filtración. La ausencia de estos elementos en el sistema actual genera vacíos operativos, obstrucciones internas y pérdida de calidad en el agua tratada.

La Resolución 2115 de 2007, junto con la Resolución 799 del 2021., establece que las unidades de filtración deben estar diseñadas para garantizar una velocidad de filtración adecuada, permitir el lavado periódico de los lechos y contar con sistemas de control que aseguren la calidad del agua en salida. Además, se exige que el diseño hidráulico sea validado técnicamente y que las estructuras sean accesibles para mantenimiento y operación segura.

Se recomienda realizar un rediseño completo del filtro, que incluya la reposición de los lechos filtrantes, la restauración de las válvulas de lavado y la implementación de un sistema de monitoreo de turbidez en la salida. Estas acciones son fundamentales para garantizar la eficiencia del tratamiento, proteger la salud de los usuarios y asegurar el cumplimiento de los requisitos legales en materia de agua potable**.**

6.1.5. Desinfección diagnostico técnico y operativo

El tanque de almacenamiento y distribución del sistema presenta deficiencias estructurales severas que comprometen tanto la calidad del agua como la seguridad del suministro. Durante la inspección se observaron fisuras visibles en las paredes del tanque, así como desprendimiento de arena del ladrillo, lo que indica deterioro del material constructivo y pérdida de impermeabilidad. Esta condición permite la infiltración de

partículas y microorganismos, además de alterar las características físico-químicas del agua ya tratada.

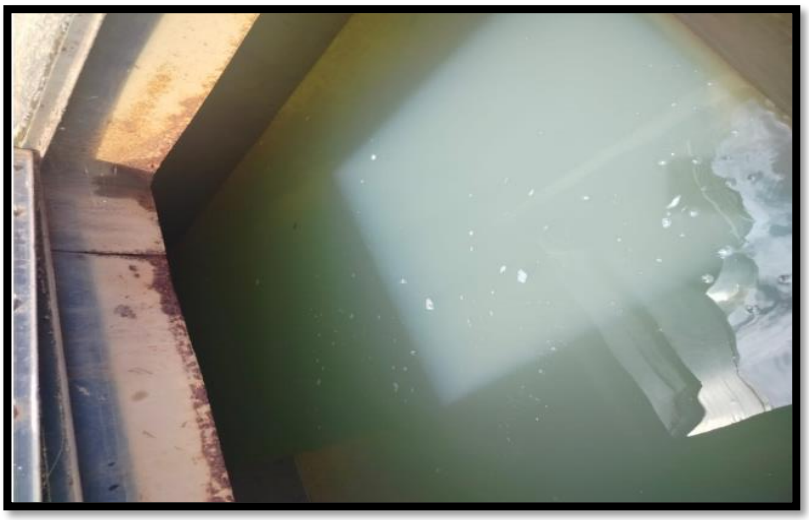
Adicionalmente, se constató que en este mismo tanque se está realizando la dosificación de cloro líquido, lo cual representa una práctica inadecuada desde el punto de vista sanitario y técnico. La mezcla directa del desinfectante con agua en un tanque deteriorado puede generar reacciones indeseadas, pérdida de eficiencia en la desinfección y exposición a subproductos de cloración. Esta situación es especialmente preocupante considerando que el tanque está soportando el peso total de la planta de tratamiento, lo que agrava el riesgo de colapso estructural.

Según lo establecido en la Resolución 2115 de 2007, los tanques de almacenamiento deben ser estructuralmente estables, impermeables y diseñados para evitar la contaminación del agua tratada. Además, la Resolución 799 del 2021.exige que el sistema de cloración esté separado físicamente del tanque de almacenamiento, con dosificación controlada y monitoreo de cloro residual en línea. Estas disposiciones buscan garantizar la calidad del agua en el punto de entrega y proteger la salud de los usuarios.

En este contexto, se concluye que el sistema de almacenamiento y distribución no cumple con los requisitos técnicos ni normativos vigentes. Se recomienda la construcción de un nuevo tanque de almacenamiento, utilizando materiales impermeables y resistentes, con diseño estructural validado. Asimismo, se debe reubicar el sistema de cloración en una unidad independiente, equipada con dosificación automatizada y monitoreo continuo, para asegurar una desinfección efectiva y segura. Estas acciones son fundamentales para garantizar la continuidad del servicio, la calidad del agua y la protección de la salud pública en la comunidad abastecida.

Ilustración 7. Estado Tanque de Almacenamiento y Distribución
Fuente: Alfa Ingeniería





6.1.6. Conclusiones Generales del Sistema de Tratamiento

El sistema de tratamiento de agua evaluado presenta deficiencias estructurales, operativas y de diseño en todas sus etapas, desde la coagulación hasta el almacenamiento. La infraestructura actual, compuesta por una canaleta Parshall improvisada, tanques combinados de coagulación, floculación y filtración, un sedimentador con paneles tipo colmena y un tanque de almacenamiento deteriorado, no cumple con los requisitos técnicos ni normativos establecidos por la Resolución 2115 de 2007 ni por la Resolución 799 del 2021.

Durante la inspección se evidenció que ninguna de las unidades opera de forma eficiente: la coagulación carece de mezcla rápida y dosificación controlada; la floculación no genera flóculos y está colmatada; el sedimentador presenta acumulación de lodos sin purga funcional; el filtro ha sido modificado, no tiene lechos renovados ni válvulas operativas; y el tanque de almacenamiento presenta fisuras, desprendimiento de material y mezcla inadecuada con cloro líquido. Estas condiciones comprometen la calidad del agua tratada, la continuidad del servicio y la salud de los usuarios, especialmente de los centros educativos que no reciben agua con tratamiento.

A pesar de que algunos análisis de laboratorio muestran cumplimiento en parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, estos resultados no reflejan el estado real del agua distribuida por el sistema rural, por lo que se requiere una verificación específica en sitio. Además, aunque los volúmenes de los tanques existentes son suficientes para el caudal

diario estimado, su diseño funcional y estado actual no permiten una operación segura ni sostenible.

6.1.7. Recomendaciones Generales del Sistema de Tratamiento:

- **Diseñar un nuevo tren de tratamiento tecnificado**, adaptado al caudal de 16 m³/día, que incluya unidades independientes y funcionales para cada etapa del proceso: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.
- **Instalar una cámara de mezcla rápida** con sistema de dosificación automatizado de coagulante, que permita ajustar la aplicación según la calidad del agua cruda y el caudal.
- **Rehabilitar o reemplazar el floculador y el sedimentador**, garantizando limpieza interna, válvulas de purga operativas y tiempos de retención adecuados.
- **Construir un nuevo filtro de arena**, con lechos renovables, sistema de lavado hidráulico y monitoreo de turbidez en la salida.
- **Separar físicamente el sistema de cloración** del tanque de almacenamiento, implementando una unidad de desinfección con dosificación segura y monitoreo continuo de cloro residual.
- **Construir un nuevo tanque de almacenamiento**, impermeable, estructuralmente estable y con capacidad adecuada para garantizar la continuidad del servicio.
- **Implementar un programa de mantenimiento preventivo**, con cronograma de limpieza, inspección y renovación de componentes, especialmente en unidades críticas como el filtro y el sedimentador.
- **Realizar análisis mensuales de agua cruda y tratada en sitio**, para verificar el cumplimiento de la Resolución 2115 de 2007 y ajustar los procesos operativos en función de los resultados.
- **Capacitar al personal operativo** en manejo de reactivos, operación de unidades, control de calidad del agua y mantenimiento básico del sistema.
- **Gestionar recursos ante entidades locales, departamentales o nacionales**, para financiar el rediseño y mejora del sistema, priorizando el acceso seguro al agua potable para toda la comunidad, especialmente para los niños y niñas de los centros educativos.

6.2. Calidad de Agua

Los resultados de las muestras de agua cruda y agua tratada tomadas en la PTAP de la vereda Pozo Azul, municipio de Palmas del Socorro, el 10 de Septiembre de 2025. Los análisis incluyen parámetros físico-químicos y microbiológicos comparados con los límites máximos permitidos por la Resolución 2115 de 2007.

6.2.1. Resultados – Agua Cruda

El agua cruda proveniente de fuente superficial presenta características típicas de cuerpos de agua expuestos a escorrentía, con alta turbiedad, color elevado y presencia de microorganismos patógenos.

Tabla 1. Parámetros fuera de Norma (Agua Cruda)
Fuente: Alfa Ingeniería

Parámetro	Resultado	Límite normativo	Cumple
pH	<6.00	6.5 – 9.0	✗
Turbidez (UNT)	11.50	≤ 2	✗
Color aparente (UPC)	64.97	≤ 15	✗
Fosfatos (mg/L)	0.64	≤ 0.2	✗
Hierro total (mg/L)	0.52	≤ 0.3	✗
Cloro libre residual	No detectable	0.3 – 2.0	✗
Coliformes totales	Presencia	Ausencia	✗
Escherichia coli	Presencia	Ausencia	✗
IRCA	86.02%	Clasificación: Inviable	✗

Se puede concluir que el agua cruda no es apta para consumo humano sin tratamiento, puesto que implica riesgo extremo para la salud. Se adjunta resultado de muestra de agua.

Ilustración 8. Resultados Muestra Agua Cruda Acueducto Veredal Pozo Azul
Fuente: Alfa Ingeniería

CENTRO COMERCIAL CENTRO NORTE
OFICINA 14 – 3er PISO – TUNJA, BOYACÁ
Tel: (8) 743 9927
CEL: 300 218 4826 – 27
321 203 9055
info@labcontrolmicrobiologico.com
controlmicrobiologico@gmail.com

CONTROL MICROBIOLÓGICO

INFORME DE RESULTADOS No.SEP25 FQ1017 M3283

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Nombre:	ALFA I&C S.A.S.	**Dirección:**	Cra 3B N.º 41A 14 Tunja / Boyacá

INFORMACIÓN DEL MUESTREO

Lugar de toma de muestra:	Vereda Pozo Azul		**Dirección:**	Municipio las Palmas del Socorro	
Responsable Toma de Muestra:	Cliente		**Persona encargada:**	Gina Gonzalez	
Fecha toma de muestra:	2025-09-10	**Hora de toma:**	13:02	**Fecha de recepción**	2025-09-11

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción:	Agua Cruda	**Volumen:**	1300 ml
Punto de muestreo:	Entrada Planta, Acueducto Pozo Azul		
Fuente:	Quebrada	**Tº. muestra**	N.D
Tº Recepción:	3,4 °C	**Fecha de análisis:**	2025-09-11

Convenciones: N.A= No Aplica; ND: No disponible; N.R.= No registra; T°=Temperatura

RESULTADOS

Características Fisicoquímicas

Analizado por TG02 Revisó QO1

Analito Evaluado	*Resultado Expresado como*	*Método analítico / Técnica*	Resultado	*Valor Aceptable*	¿Implica Riesgo y/o Incumple?
Conductividad	(µS/cm)	SM 2510 B 24th Edition,2023	23	1000	No
Color	(U.P.C)	SM-2120 C 24th Edition, 2023 modificado	**64,975**	15	Si**
pH	(Unidades de pH)	SM 4500 H+B 24th Edition,2023	**<6,00**	6,50-9,00	Si**
Turbidez	(U.N.T)	SM 2130 B 24th Edition, 2023	**11,50**	2,00	Si**
Cloro Libre Residual	mg/L Cl_2	US EPA-330.5	**0,00**	0,30-2,00	Si**

Características Químicas que repercuten sobre la Salud Humana

Analizado por TG02 Revisó QO1

Analito Evaluado	*Resultado Expresado como*	*Método analítico / Técnica*	Resultado	*Valor Aceptable*	¿Implica Riesgo y/o Incumple?
Nitratos	mg/L NO_3	EPA 353.2	<4,00	10,00	No
Nitritos	mg/L NO_2	SM 4500 NO2 B 24th Edition 2023	<0,02	0,10	No

Características Químicas con consecuencias Económicas o Indirectas para la Salud

Analizado por TG02 Revisó QO1

Analito Evaluado	*Resultado Expresado como*	*Método analítico / Técnica*	Resultado	*Valor Aceptable*	¿Implica Riesgo y/o Incumple?
Alcalinidad Total	mg/L $CaCO_3$	SM 2320 B 24th Edition, 2023	4,00	200	No
Aluminio	mg/L Al	SM 3500 Al B 24th Edition, 2023	0,00	0,20	No
Calcio	mg/L Ca	SM 3500 Ca 24th Edition, 2023	2,40	60,00	No
Cloruros	mg/L Cl	SM 4500 Cl B 24th Edition, 2023	15,50	250	No
Dureza Total	mg/L $CaCO_3$	SM 2340C 24th Edition, 2023	7,00	300	No
Fosfatos	mg/L PO_4	SM 4500 P,E 24th Edition, 2023	**0,64**	0,50	Si**
Hierro Total	mg/L Fe	SM 3500 Fe B 24th Edition, 2023	**0,52**	0,30	Si**
Magnesio	mg/L Mg	SM 3500 Mg B 24th Edition, 2023	0,24	36	No
Sulfatos	mg/L SO_4	SM 4500 SO4-2 E 24th Edition 2023	<15,00	250	No

Características Microbiológicas

Analizado por B01 Revisó M01

Analito Evaluado	*Resultado Expresado como*	*Método analítico / Técnica*	Resultado	*Valor Aceptable*	¿Implica Riesgo y/o Incumple?
Coliformes Totales	Ausencia-Presencia/100 cm^3	(ATP D05-0035) 2020. Rev: 2.0	**PRESENCIA**	AUSENCIA	Si**
Escherichia coli	Ausencia-Presencia/100 cm^3	(ATP D05-0035) 2020. Rev: 2.0	**PRESENCIA**	AUSENCIA	Si**

CONVENCIONES

SM: Standard Methods 24th Edition/U.P.C: Unidades Platino Cobalto/U.N.T Unidades Nefelométricas de Turbidez. ND: No Detectable / U.F.C: Unidades formadoras de colonia. EPA: Enviromental Protection Agency. DIN: Instituto Alemán de Normalización. ISO: Organización Internacional de Normalización.

-IRCA (%):	**86,02**	Nivel de Riesgo	**INVIABLE SANITARIAMENTE**

RESUMEN DE RESULTADOS:

Solo los resultados demarcados (**negrita y subrayados**) se encuentran por fuera de los valores aceptables consignados en la Normatividad Aplicable: **Resolución 2115:2007 Min. Protección Social.**

6.2.1. Resultados – Agua Tratada

El agua tratada muestra reducción parcial en algunos parámetros, pero no cumple con los criterios de potabilidad establecidos por la normativa, especialmente en turbidez, color, cloro residual y microbiología.

Tabla 2. Parámetros Fuera de Norma (Agua Tratada)
Fuente: Alfa Ingeniería

Parámetro	Resultado	Límite normativo	Cumple
pH	<6.00	6.5 – 9.0	✗
Turbidez (UNT)	17.00	≤ 2	✗
Color aparente (UPC)	96.83	≤ 15	✗
Fosfatos (mg/L)	0.58	≤ 0.2	✗
Hierro total (mg/L)	0.38	≤ 0.3	✗
Manganeso (mg/L)	0.24	≤ 0.1	☑
Cloro libre residual	≤ 0.05	0.3 – 2.0	✗
Coliformes totales	Presencia	Ausencia	✗
Escherichia coli	Presencia	Ausencia	✗
IRCA	61.11%	Clasificación: Alto	✗

Se concluye que el agua tratada no es potable. Aunque se observa reducción en algunos parámetros, el sistema de tratamiento no logra eliminar los contaminantes microbiológicos ni alcanzar los niveles de turbidez y color requeridos. La clasificación IRCA es Alto, lo que representa un riesgo sanitario significativo. Se adjunta resultado de muestra de agua.

Ilustración 9. Resultados Muestra de Agua Tratada
Fuente: Alfa Ingeniería

CENTRO COMERCIAL CENTRO NORTE
OFICINA 14 – 3er PISO – TUNJA, BOYACÁ
Tel: (8) 743 9927
CEL: 300 218 4826 – 27
321 203 9055
info@labcontrolmicrobiologico.com
controlmicrobiologico@gmail.com

CONTROL MICROBIOLÓGICO

INFORME DE RESULTADOS No. SEP25 FQ1018 M3284

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Nombre:	ALFA I&C S.A.S.		**Dirección:**	Carrera 3B No. 41A – 14 Tunja / Boyacá	
INFORMACIÓN DEL MUESTREO					
Lugar de toma de muestra:	Vereda Pozo Azul		**Dirección:**	Municipio las Palmas del Socorro	
Responsable Toma de Muestra:	Cliente		**Persona encargada:**	Gina Gonzalez	
Fecha toma de muestra:	2025-09-10	**Hora de toma:**	13:02	**Fecha de recepción**	2025-09-11
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Descripción:	Agua con Destino a Consumo Humano			**Volumen:**	1100mL
Punto de muestreo:	Salida Tanque de Almacenamiento, Planta Acueducto Pozo Azul				
Fuente:	Quebrada			**T°. muestra**	N.D
T° Recepción:	3,9°C		**Fecha de análisis:**		2025-09-11

Convenciones: N.A.= No Aplica; N.D: No disponible; N.R.= No registra; T°=Temperatura

RESULTADOS

Características Fisicoquímicas

Analizado por TQ02 Revisó Q01

Analito Evaluado	Resultado Expresado como	Método analítico / Técnica	Resultado	Valor Aceptable	¿Implica Riesgo y/o Incumple?
Conductividad	(µS/cm)	SM 2510 B 24th Edition,2023	30	1000	No
Color	(U.P.C)	SM-2120 C 24th Edition, 2023 – Modificado	**96,830**	15	Si**
pH	(Unidades de pH)	SM 4500 H+B 24th Edition,2023	**<6,00**	6,50-9,00	Si**
Turbidez	(U.N.T)	SM 2130 B 24th Edition, 2023	**17,00**	2,00	Si**
Cloro Libre Residual	mg/L Cl_2	US EPA – 330.5	**<0,05**	0,30-2,00	Si**

Características Químicas con consecuencias Económicas o Indirectas para la Salud

Analizado por TQ02 Revisó QA01

Analito Evaluado	Resultado Expresado como	Método analítico / Técnica	Resultado	Valor Aceptable	¿Implica Riesgo y/o Incumple?
Alcalinidad Total	mg/L $CaCO_3$	SM 2320 B 24th Edition, 2023	4,00	200	No
Aluminio	mg/L Al	SM 3500 Al B 24th Edition, 2023	0,18	0,20	No
Calcio	mg/L Ca	SM 3500 Ca 24th Edition, 2023	4,01	60,00	No
Cloruros	mg/L Cl	SM 4500 Cl B 24th Edition, 2023	12,50	250	No
Dureza Total	mg/L $CaCO_3$	SM 2340C 24th Edition, 2023	11,00	300	No
Fosfatos	mg/L PO_4	SM 4500 P,E 24th Edition, 2023	**0,58**	0,50	Si**
Hierro Total	mg/L Fe	SM 3500 Fe B 24th Edition, 2023	**0,38**	0,30	Si**
Magnesio	mg/L Mg	SM 3500 Mg B 24th Edition, 2023	0,24	36	No
Sulfatos	mg/L SO_4	SM 4500 SO4-2 E 24th Edition, 2023	<15,00	250	No

Características Microbiológicas

Analizado por B01 Revisó M01

Analito Evaluado	Resultado Expresado como	Método analítico / Técnica	Resultado	Valor Aceptable	¿Implica Riesgo y/o Incumple?
Coliformes Totales	Ausencia-Presencia/100 cm³	ATP D05-0035 V2.0 (2020)	**PRESENCIA**	AUSENCIA	Si**
Escherichia coli	Ausencia-Presencia/100 cm³	ATP D05-0035 V2.0 (2020)	AUSENCIA	AUSENCIA	No

CONVENCIONES

SM: Standard Methods 24th Edition/U.P.C: Unidades Platino Cobalto/U.N.T Unidades Nefelométricas de Turbidez. ND: No Detectable / U.F.C: Unidades formadoras de colonia. EPA: Enviromental Protection Agency. DIN: Instituto Alemán de Normalización. ISO: Organización Internacional de Normalización.

-IRCA (%):	61,11	Nivel de Riesgo	ALTO

RESUMEN DE RESULTADOS:

Solo los resultados demarcados (**negrita y subrayados**) se encuentran por fuera de los valores aceptables consignados en la Normatividad Aplicable: **Resolución 2115:2007 Min. Protección Social.**

OBSERVACIONES:

-Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
-Este certificado solo puede ser reproducido por el laboratorio.
- El laboratorio no se hace responsable de la veracidad de la información suministrada por el cliente y/o en el caso que sea el mismo quien realice la toma de muestras que pueda afectar la validez de los resultados

6.2.2. Análisis de Resultados por Parámetro

Según la clasificación IRCA, estos resultados ubican el agua tratada en un nivel de riesgo alto (61.11%), mientras que el agua cruda se considera inviable sanitariamente (86.02%). Esto evidencia que el sistema de tratamiento no está eliminando los contaminantes microbiológicos, lo cual puede derivar en brotes de enfermedades transmitidas por el agua.

Lo anterior indica que La PTAP del acueducto rural de la vereda Pozo Azul no garantiza la potabilidad del agua. El tratamiento actual es ineficiente, especialmente en las etapas de coagulación, floculación, desinfección y filtración. La persistencia de microorganismos patógenos y la ausencia de cloro residual representan un riesgo crítico para la salud pública, especialmente en comunidades vulnerables.

6.2.1 Turbiedad

La turbidez del agua cruda fue de 11.50 UNT no se redujo aumento la presencia a 17.00 UNT en el agua tratada, ambos valores superan el límite máximo permitido de 2 UNT establecido por la Resolución 2115 de 2007 para agua potable. Este parámetro es crítico, ya que una turbidez elevada puede interferir con la desinfección, proteger microorganismos patógenos y afectar la estética del agua. La persistencia de valores fuera de norma indica deficiencias en los procesos de sedimentación y filtración, posiblemente por colmatación de unidades, diseño inadecuado o falta de mantenimiento.

6.2.2. Color Aparente

El color aparente aumentó de 64.75 UPC en el agua cruda a 96.83 UPC en el agua tratada, lo que representa un deterioro en lugar de una mejora. El límite permitido por la norma es de 15 unidades de color (UPC). Este incremento sugiere fallas en los procesos de coagulación y floculación, que deberían remover los compuestos responsables del color. La presencia de color elevado puede estar asociada a materia orgánica no removida, lo que también puede interferir con la desinfección y generar subproductos no deseados.

6.2.3. Hierro Total

El contenido de hierro total en el agua cruda es de 0.52 mg/L, mientras que en el agua tratada se reduce a 0.38 mg/L. Ambos valores superan el límite máximo permitido de 0.3 mg/L establecido por la Resolución 2115 de 2007 para agua potable. Aunque se evidencia una reducción parcial durante el tratamiento, el valor final sigue fuera de norma, lo que indica que el sistema actual no está removiendo eficientemente el hierro disuelto.

El hierro en concentraciones elevadas puede generar problemas estéticos como sabor metálico, manchas en ropa y superficies sanitarias, además de favorecer el crecimiento de bacterias ferrosas en redes de distribución. Su presencia también puede interferir con procesos de desinfección y oxidación, especialmente si no se cuenta con una etapa de pretratamiento adecuada.

La persistencia de hierro fuera de norma sugiere deficiencias en la etapa de oxidación y filtración, posiblemente por falta de aireación previa, lechos colmatados o ausencia de medios específicos para retención de metales. Para garantizar el cumplimiento normativo, se recomienda implementar un sistema de oxidación controlada (aireación o dosificación de oxidantes) seguido de filtración con medios específicos, como arena verde o zeolita.

6.2.4. Cloro Residual Libre.

El cloro residual no fue detectable en el agua cruda y apenas alcanzó ≤ 0.05 mg/L en el agua tratada, muy por debajo del rango normativo de 0.3 a 2.0 mg/L exigido por la Resolución 2115. Este parámetro es esencial para garantizar la desinfección continua en la red de distribución. La ausencia de cloro residual indica que el proceso de desinfección es ineficiente o mal dosificado, lo que permite la supervivencia de microorganismos patógenos y representa un riesgo sanitario directo.

6.2.5. Coliformer Totales y Escherichia coli

Ambos microorganismos fueron detectados en las muestras de agua cruda y tratada, incumpliendo el requisito de ausencia total en 100 mL. La presencia de E. coli es especialmente preocupante, ya que es un indicador directo de contaminación fecal reciente.

6.3. Balance de Masa.

Para el desarrollo del balance de masas de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), se consideró un caudal de diseño de 1 L/s, correspondiente al flujo continuo de agua cruda ingresado al sistema. Sobre esta base, se evaluaron los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de entrada, con el fin de estimar las fracciones de remoción por etapa y validar la eficiencia global del tratamiento.

Los valores utilizados para el desarrollo del balance de masas en la planta de tratamiento de agua potable fueron obtenidos a partir del análisis de caracterización realizado por el laboratorio Control Microbiologico. Estos resultados representan las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del agua cruda en el punto de captación, y constituyen la base para estimar las eficiencias de remoción en cada etapa del tratamiento.

Los parámetros evaluados incluyeron: turbidez (11.50 UNT), color aparente (64.975 UPC), hierro total (0.52 mg/L), alcalinidad (4.0 mg/L como $CaCO_3$), dureza total (7.0 mg/L), calcio (2.40 mg/L), magnesio (0.24 mg/L), fosfatos como PO_4-P (0.64 mg/L), cloruros (15.50 mg/L), sulfatos (15.00 mg/L), nitratos (0.625 mg/L), nitritos (4 mg/L), conductividad eléctrica (23 µS/cm), coliformes totales (Presencia) y Escherichia coli (Presencia).

Estos valores permiten establecer las cargas de entrada al sistema y realizar una evaluación cuantitativa de la eficiencia de remoción por proceso unitario, considerando tanto mecanismos físico-químicos como biológicos. Además, sirven como referencia para validar el cumplimiento de los criterios de calidad establecidos por la normativa vigente, así como para dimensionar adecuadamente las unidades de tratamiento y definir estrategias de operación y control.

Para cada parámetro, se definieron fracciones de remoción estimadas por etapa de tratamiento, considerando mecanismos físico-químicos y microbiológicos propios de cada unidad. A continuación, se detallan las eficiencias aplicadas:

- Turbidez: Aireación (5%), mezcla rápida (70%), floculación (20%), sedimentación (60%) y filtración (95%). La remoción se atribuye principalmente a la coagulación-floculación y al proceso de filtración.

- Color aparente: Aireación (5%), mezcla rápida (50%), floculación (20%), sedimentación (50%) y filtración (80%). La reducción del color está asociada a la

adsorción sobre flóculos y retención en medios filtrantes.

- Hierro total: Aireación (30%), mezcla rápida (40%), floculación (10%), sedimentación (50%) y filtración (80%). La oxidación previa y la formación de hidróxidos facilitan su remoción.

- Dureza, calcio y magnesio: Mezcla rápida (5%), floculación (2%), sedimentación (5%) y filtración (5%). Estos parámetros presentan baja remoción en procesos convencionales, dado que requieren tratamientos específicos como ablandamiento químico.

- Fosfatos: Mezcla rápida (30%), floculación (10%), sedimentación (30%) y filtración (30%). La remoción se basa en precipitación química y adsorción.

- Cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos y conductividad: Se consideran conservativos, es decir, no presentan remoción significativa en procesos convencionales, por lo que se asume una eficiencia del 0%.

- Coliformes totales: Aireación (10%), mezcla rápida (40%), floculación (20%), sedimentación (60%), filtración (90%) y cloración (99.99%). La desinfección final es clave para alcanzar los estándares microbiológicos.

- E. coli: Se aplica la misma secuencia de remoción que para coliformes, con una eficiencia de cloración superior (99.999%), dada su mayor sensibilidad al desinfectante.

Alcalinidad: Se consideró una dosis de alumbre de 30 mg/L, con un consumo estimado de alcalinidad de 0.5 mg $CaCO_3$ por mg de alumbre, lo que representa una reducción de 15.0 mg/L aplicada en la etapa de mezcla rápida. Este consumo es relevante para evaluar la necesidad de ajuste de pH o adición de alcalinizantes.

Esta metodología constituye una herramienta fundamental para cuantificar la eficiencia de remoción en cada etapa del tratamiento, verificar la coherencia del diseño hidráulico y químico de la planta, y asegurar que el sistema cumpla con los estándares de calidad establecidos en la Resolución 2115 de 2007, la cual regula los criterios sanitarios del agua para consumo humano en Colombia. Al integrar los resultados del balance de masas con los parámetros de entrada y salida, se valida no solo la funcionalidad operativa de la PTAP,

sino también su capacidad para garantizar la potabilidad del agua conforme a la normativa vigente.

El nuevo tren de tratamiento propuesto para la planta de agua potable que comprende las siguientes unidades operativas, en secuencia:

- ✓ Torre de aireación: Facilita la eliminación de gases disueltos (como H_2S y CO_2), mejora el olor y sabor del agua, y promueve la oxidación parcial de hierro y manganeso. Su inclusión es pertinente cuando se detectan concentraciones elevadas de estos compuestos o condiciones de baja oxigenación.

- ✓ Coagulación (mezcla rápida): Permite la dosificación y dispersión homogénea del coagulante (por ejemplo, sulfato de aluminio), promoviendo la desestabilización de partículas coloidales.

- ✓ Floculación: Genera flóculos de mayor tamaño mediante agitación lenta controlada, facilitando su posterior sedimentación.

- ✓ Sedimentación: Remueve los flóculos formados, reduciendo significativamente la turbiedad y la carga de sólidos suspendidos.

- ✓ Filtración rápida: Actúa como barrera física final para partículas remanentes, mejorando la claridad del agua y reduciendo la carga microbiológica.

- ✓ Cloración: Proporciona desinfección química mediante la aplicación de cloro, asegurando la inactivación de microorganismos patógenos como coliformes totales y E. coli, y garantizando un residual libre conforme a la Resolución 2115 de 2007.

- ✓ Tanque de almacenamiento: Permite la estabilización del agua tratada y la distribución posterior, manteniendo condiciones de calidad microbiológica mediante el control del cloro residual.

Para la estimación de la eficiencia de remoción de cada parámetro en los procesos unitarios del tren de tratamiento, se aplicó una metodología basada en balance de masas y fracciones de remoción específicas por etapa. El procedimiento matemático utilizado fue el siguiente:

• Concentración de salida: $C_{salida} = C_{entrada} \times (1 - r)$

• Remoción en concentración: ΔC = Centrada – Csalida = Centrada × r
• Carga removida: Δṁ = ΔC × Q (mg/s)
• Masa removida diaria: ΔM = Δṁ × 86.4 (g/día)

Donde r es la fracción de remoción en la etapa, y Q el caudal de diseño (1 L/s). En el caso de la alcalinidad se aplicó una reducción absoluta de 15 mg/L atribuida al consumo por la dosis de coagulante (30 mg/L de sulfato de aluminio).

6.3.1 Balance de Masas para Compuestos químicos

6.3.1.1. Turbidez (UNT) — C_0 = 11.50 UNT

Etapas y concentraciones (UNT):

- Después Aireación (5%): 11.50 × (1−0.05) = 10.9250
- Después Mezcla rápida (70%): 10.9250 × (1−0.70) = 3.27750
- Después Floculación (20%): 3.27750 × (1−0.20) = 2.62200
- Después Sedimentación (60%): 2.62200 × (1−0.60) = 1.04880
- Después Filtración (95%): 1.04880 × (1−0.95) = 0.05244

Salida final: 0.0524 UNT
Remoción global: 99.544 %

6.3.1.2. Color aparente (UPC) — C_0 = 64.975 UPC

- Aireación (5%): 61.72625
- Mezcla rápida (50%): 30.863125
- Floculación (20%): 24.69050
- Sedimentación (50%): 12.34525
- Filtración (80%): 2.46905

Salida final: 2.469 UPC
Remoción global: 96.20 %

6.3.1.3. Hierro total (mg/L) — C_0 = 0.52 mg/L

- Aireación (30%): 0.36400
- Mezcla rápida (40%): 0.21840
- Floculación (10%): 0.19656
- Sedimentación (50%): 0.09828
- Filtración (80%): 0.01966

Salida final: 0.0197 mg/L
Remoción global: 96.22 %

6.3.1.4. Dureza total (mg/L) — C_0 = 7.00 mg/L

(Etapas usadas: mezcla rápida 5%, floc 2%, sedimentación 5%, filtración 5%)

- Después Mezcla rápida (5%): 6.6500
- Después Floculación (2%): 6.5170
- Después Sedimentación (5%): 6.1912
- Después Filtración (5%): 5.8826

Salida final: 5.883 mg/L
Remoción global: 15.98 %

6.3.1.5. Calcio (mg/L) — C_0 = 2.40 mg/L

(Etapas usadas: mezcla rápida 5%, floc 2%, sedimentación 5%, filtración 5%)

- Mezcla rápida (5%): 2.2800
- Floculación (2%): 2.2344
- Sedimentación (5%): 2.1227
- Filtración (5%): 2.0166

Salida final: 2.017 mg/L
Remoción global: 15.98 %

6.3.1.6. Magnesio (mg/L) — C_0 = 0.24 mg/L

- Mezcla rápida (5%): 0.2280
- Floculación (2%): 0.2234
- Sedimentación (5%): 0.2123

- Filtración (5%): 0.2017

Salida final: 0.2017 mg/L
Remoción global: 15.98 %

6.3.1.7. Fosfatos como PO_4-P (mg/L) — C_0 = 0.64 mg/L

(Etapas: mezcla 30%, floc 10%, sedimentación 30%, filtración 30%)

- Mezcla rápida (30%): 0.4480
- Floculación (10%): 0.4032
- Sedimentación (30%): 0.2822
- Filtración (30%): 0.1976

Salida final: 0.1976 mg/L
Remoción global: 69.13 %

6.3.1.8. Cloruros (mg/L) — C_0 = 15.50 mg/L

- No hay remoción (0% en etapas convencionales) → 15.50 mg/L (sin cambio)

Remoción global: 0.0 %

6.3.1.9. Sulfatos (mg/L) — C_0 = 15.00 mg/L

- Conservativo → 15.00 mg/L (sin cambio)
  Remoción global: 0.0 %

6.3.1.10. Nitratos (mg/L) — C_0 = 0.625 mg/L

- Conservativo → 0.625 mg/L (sin cambio)
  Remoción global: 0.0 %

6.3.1.11. Nitritos (mg/L) — C_0 = 4.00 mg/L

- Conservativo → 4.00 mg/L (sin cambio)
  Remoción global: 0.0 %

6.3.1.12. Conductividad eléctrica (µS/cm) — C_0 = 23 µS/cm

- Conservativo → 23 µS/cm (sin cambio)
  Remoción global: 0.0 %

6.3.1.13. Coliformes totales (microbiología) — secuencia y expresión simbólica

Etapas: Aireación 10%, Mezcla 40%, Floculación 20%, Sedimentación 60%, Filtración 90%, Cloración 99.99%

- Fracción remanente total (producto de $(1-\eta)$ por etapa) = 1.7280×10^{-6} (≈ 0.0001728 %)
- Reducción $\log_{10} \approx 5.762$ log
- Si N_0 fuese, por ejemplo, 1000 CFU/100 mL → N_out = $1000 \times 1.728\times10^{-6} \approx$ 0.00173 CFU/100 mL (prácticamente 0).

6.3.1.13. Escherichia coli (microbiología)

Mismas etapas pero cloración 99.999%:

- Fracción remanente total = 1.7280×10^{-7} (≈ 0.00001728 %)
- Reducción $\log_{10} \approx 6.762$ log
- Ejemplo N_0 = 1000 CFU/100 mL → N_out ≈ 0.000173 CFU/100 mL.

6.3.2. Balance de Masa para Caudal

6.3.2.1. Torre de aireación

Área hidráulica: 0.36 m²;
altura de empaque: 1.2 m;
volumen: 0.432 m³.
Tiempo de residencia 0.4323.6

Entrada = Salida
Qentrada = Qsalida

86.4 m3/dQ = 86.4 m3

Pérdidas: despreciables (evaporación/arrastres no significativos a 20 °C).

6.3.2.2. Cámara de mezcla rápida (Coagulacion)

Parámetros volumétricos
Volumen útil: 0.06 m³; tiempo de retención: 60 s.

Entrada = Salida
Qentrada = Qsalida
86.4 m3/dQ = 86.4 m3

6.3.2.3. Floculador

Parámetros volumétricos
Volumen total: 1.8 m³ (2 etapas); tiempo de retención: 30 min.

Entrada = Salida
Qentrada = Qsalida
86.4 m3/dQ = 86.4 m3

6.3.2.4. Sedimentador

Parámetros volumétricos
Área: 3.6 m²; profundidad: 1.5 m; volumen: 5.4 m³.
Tiempo de retención t=5.43.6=1.5 ht

Entradas Qentrada=86.4 m3/d

Salidas (escenario sin recirculación)

Clarificado a filtro Vs=0.864 m3/dV_s = 0.864
Qclar=Qin−Vs
86.4−0.864=85.536 m3/Purga de lodos

Balance
Qclar+VsQ = Qin
85.536.864 =86.4

6.3.2.5. Filtro rápido de arena

Operación en ciclo
Filtración: caudal continuo; retrolavado: 8 min/d a 60 m/h; filtro a desperdicio: 5 min/d.
Entradas (día típico) Desde sedimentador
Qentrada=Qclar=85.536 m3/d

Salidas (escenario sin recirculación)
Agua filtrada a desinfección

$$Qfil=Qin-Vbw-Vftw$$
$$=85.536-5.76-0.30$$
$$=79.476\ m3/\ d$$

Agua de retrolavado
Vbw=5.76 m3/d

Filtro a desperdicio
Vftw=0.30 m3/d

Balances

$$Qin=Qfil+Vbw+Vftw$$

Instantáneo de lavado

$$Qbw,inst=Af\cdot vbw$$
$$=0.72*60$$
$$=43.2\ m3/h=12\ L/\ s$$

6.3.2.6. Cámara de contacto de cloro

Parámetros volumétricos
Volumen útil: 1.8 m³; tiempo de contacto: 30 min; BF ~ 0.7.

Entradas Desde filtro

$$Qentrada=Qfil=79.476\ m3/d$$
$$=79.476$$

Salidas A almacenamiento

Qout= = 79.476

Pérdidas: nulas (sistema cerrado).
Qentrada=Qsalida
79.476=79.476m3/d

6.3.2.7. Almacenamiento

Criterio de autonomía
Volumen objetivo: 86 m³ (24 h). Operativamente, el tanque "amortigua" ciclos (retrolavados) sin cambiar el balance diario.

Entradas (día típico, sin recirculación)
Qin=79.476 m3/d

Salidas
Qout≈79.476 m3/d

Balance diario Distribución
- Qentrada=Qsalida

Tabla 3. Balance de masas por Estructura para Caudal
Fuente: Alfa Ingeniería

Estructura	Qentrada (m³/d)	Pérdidas (m³/d)	Tipo de pérdida	Qsalida (m³/d)	% respecto a entrada
Torre de aireación	86.40	0.00	Evaporación despreciable	86.40	100.0
Mezcla rápida	86.40	0.00	N/A	86.40	100.0
Floculador	86.40	0.00	N/A	86.40	100.0
Sedimentador	86.40	0.864	Purga de lodos (1 %)	85.536	99.0
Filtro rápido	85.536	5.76	Retrolavado (8 min/d, 60 m/h)	79.776	93.3
	79.776	0.30	Filtro a desperdicio (5 min/d)	79.476	99.6

Cámara de contacto	79.476	0.00	N/A	79.476	100.0
Almacenamiento	79.476	0.00	N/A	79.476	100.0
Distribución	79.476	—	—	79.476	—

Para cada parámetro crítico (turbiedad, coliformes totales, E. coli, entre otros), se identifican:

Con base en los resultados obtenidos del balance de masas y en las especificaciones técnicas establecidas por la normatividad colombiana vigente principalmente la Resolución 2115 de 2007 y la Resolución 799 de 2021 se concluye que la alternativa de tratamiento debe contemplar el siguiente tren de tratamiento

Ilustración 10. Tren de Tratamiento Acueducto Pozo Azul
Fuente: Alfa Ingeniería



6.4. Proyección de población

En base a la información suministrada por la Junta de Acueducto de la vereda pozo Azul (catastro de usuarios), y con base a el Titulo B de la RAS El método de cálculo para la proyección de la población depende del nivel de complejidad del sistema según se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

El Titulo B dice: *"Se calculará la población utilizando uno cualquiera de los siguientes modelos matemáticos: aritmético, geométrico y exponencial, seleccionando el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población. Los datos de población deben estar ajustados con la población flotante y la población migratoria."*

Ilustración 11. Proyección de Población según Nivel de Complejidad
Fuente: RAS

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

La proyección de población del municipio de Sativa sur se desarrollará con los siguientes métodos de proyección de población: lineal, geométrico, logarítmico.

6.4.1. Método lineal

Si el aumento de la población es constante e independiente del tamaño de la misma, el crecimiento podría tener un comportamiento lineal. Si P es la población y T es el tiempo, se tiene entonces:

De acuerdo con este método, la población final viene dada por la siguiente expresión

$$Pf = Puc + Ka\ (Tf - Tuc)$$

Donde:
Ka: Pendiente de la recta de crecimiento, hab/año.

PUC: Población del último censo, expresada en hab.
PCI: Población del censo inicial, expresada en hab.
TUC: Año del último censo, expresado en años.
TCI: Año del censo inicial, expresado en años.
Pf: Población proyectada al año horizonte de diseño, expresada en hab.
Tf: Año de la población proyectada en años.

Se uso este método para verificar el aumento poblacional del casco urbano del municipio y en la siguiente tabla se reportaron los resultados.

Primero se calcula el incremento anual de población:

$$Ka = Puc * r = 160 * 0.0075 = 1.2 \text{ personas/año}$$

Luego, se determina el número de años proyectados:

$$Tf - Tuc = 2050 - 2025 = 25 \text{ años}$$

Finalmente, se aplica la fórmula:

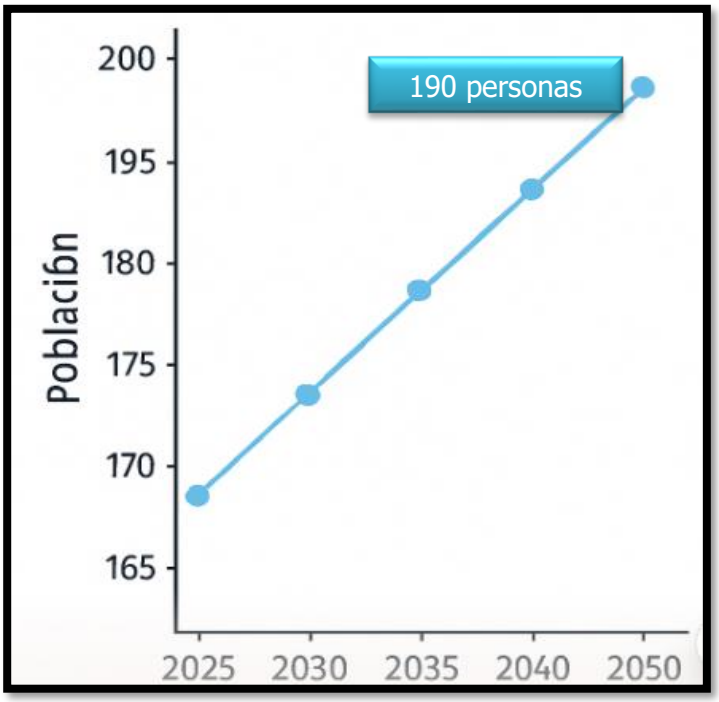
$$Pf = 160 + (1.2 \cdot 25) = 160 + 30 = 190 \text{ personas}$$

La población proyectada para el año 2050 es de 190 personas, lo que representa un incremento de 30 habitantes respecto al año base. Este crecimiento moderado es coherente con las dinámicas demográficas rurales y permite planificar adecuadamente la capacidad de tratamiento, almacenamiento y distribución del sistema de agua potable.

A continuación se presenta una gráfica que ilustra el crecimiento lineal de la población proyectada.

Ilustración 12. Grafica proyección de población método aritmético

Fuente: Alfa Ingeniería



La gráfica evidencia un crecimiento poblacional uniforme, representado por incrementos anuales de 1.2 personas, lo cual se traduce en una línea de tendencia recta ascendente que refleja la aplicación del método aritmético

6.4.2. Método geométrico

Este método se aplica a poblaciones que no han alcanzado su desarrollo y crecen manteniendo un porcentaje uniforme obtenido de los períodos pasados. La población futura aplicando este método se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$Pf = Puc*(1+r)Tf-Tuc$$

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

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

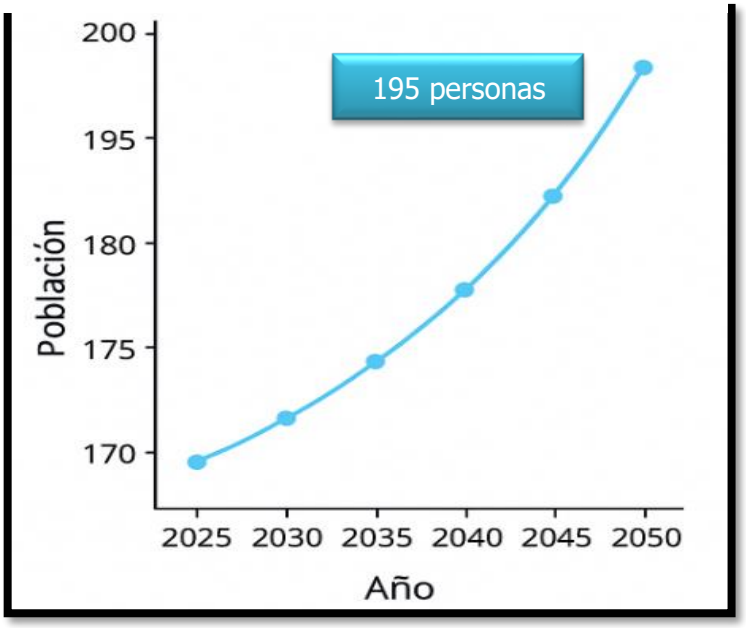
Pf=160 * (1.0075)*25 ≈ 160 * 1.219 ≈ 195 personas

Para el acueducto rural en estudio, con una población actual de 160 personas y una tasa de crecimiento anual del 0.75%, se proyecta la población al año 2050, es decir, 25 años después del año base siendo de 195 personas.

Este resultado refleja un crecimiento moderado pero sostenido, más preciso que el método aritmético, ya que considera el efecto acumulativo de la tasa de crecimiento. Es especialmente útil para dimensionar infraestructura en escenarios de expansión progresiva.

A continuación se presenta una gráfica que ilustra el crecimiento geométrico de la población proyectada

Ilustración 13. Proyección de Población Método Geométrico
Fuente: Alfa Ingeniería



6.4.3. Método logarítmico

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

$$\text{Pf} = Pci\ x\ e\ \text{^}\ (kx\ (tf - tci))$$

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

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

Donde:

Pcp = Población del censo posterior (proyección del DANE).
Pca = Población del censo anterior (habitantes).
Tcp = Año correspondiente al censo posterior.
Tca = Año correspondiente al censo anterior.
Ln = Logaritmo natural o neperiano.

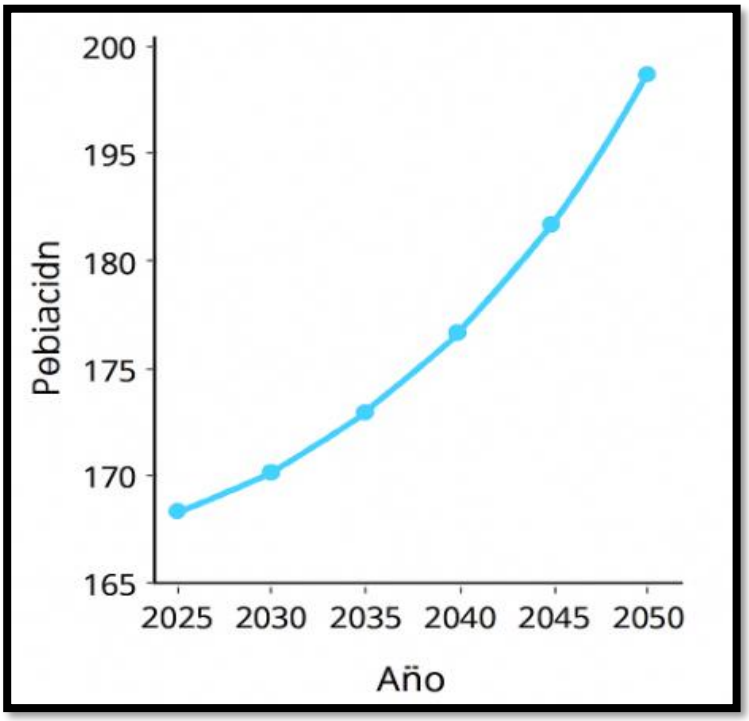
Al reemplazar los valores en la ecuación

$$\text{Pf} = 160\ *\ 1.206\ \approx\ 193 \text{ personas}$$

La fórmula proyecta la población futura del acueducto rural considerando un crecimiento continuo a lo largo del tiempo. El número 1.206 representa el factor de crecimiento acumulado durante los 25 años. Este factor indica que la población crecerá aproximadamente un 20.6% respecto al valor inicial. Al multiplicar ese factor por la población base de 160 personas, se obtiene una proyección de 193 personas para el año 2050.

A continuación se presenta una gráfica que ilustra el crecimiento exponencial de la población proyectada.

Ilustración 14. Proyección de Población Método Logarítmico
Fuente: Alfa Ingeniería



6.5. Cálculo de Dotación y Caudal

6.5.1. Dotación Neta

La dotación neta es la cantidad de agua asignada por habitante por día, excluyendo pérdidas y consumos no domésticos. Esta dotación depende del nivel de complejidad del sistema de abastecimiento, el cual se clasifica como bajo, medio o alto según criterios técnicos establecidos en el RAS**.**

Para sistemas con nivel de complejidad bajo, como aquellos que abastecen pequeñas comunidades rurales o centros poblados con infraestructura básica, se establecen los siguientes rangos de dotación:

Tabla 13. Dotación según nivel de complejidad
Fuente: RAS

Tipo de dotación	Valor (L/hab·día)	Descripción
Dotación neta mínima	100	Valor mínimo aceptable para garantizar necesidades básicas
Dotación neta máxima	150	Límite superior para sistemas con buen acceso y cobertura
Dotación neta recomendada	120	Valor promedio sugerido para diseño técnico

La dotación neta en sistemas de abastecimiento de agua potable puede ser ajustada técnicamente con base en estudios socioeconómicos del municipio, análisis del costo marginal de los servicios y la influencia del clima sobre los patrones de consumo. Según los lineamientos del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), en sistemas clasificados con nivel de complejidad bajo, dicho ajuste no debe superar el 20% del valor de dotación neta inicialmente establecido.

En el caso de zonas con clima calido, se permite una variación positiva del 10%, lo que implica que una dotación neta base de 140 L/hab·día puede ser técnicamente ajustada hasta 150 L/hab·día. Este valor ajustado debe ser debidamente justificado y documentado en el diseño del sistema, ya que impacta directamente en el cálculo de caudales de diseño, la capacidad de las redes hidráulicas y la planificación de la infraestructura de almacenamiento y distribución.

6.5.2. Dotación Bruta

La dotación bruta es la cantidad total de agua asignada por habitante por día, considerando no solo el consumo directo (dotación neta), sino también las pérdidas técnicas en el sistema de abastecimiento. Este valor se utiliza para dimensionar el caudal de diseño en proyectos de acueducto, garantizando que el sistema pueda cubrir tanto el consumo como las pérdidas inevitables.

$$dbruta = \frac{dneta}{(1-\%P)}$$

En este caso, la dotación bruta de 175 litros por habitante por día representa el volumen total de agua que el sistema de acueducto debe captar, tratar y distribuir para garantizar

que cada persona reciba efectivamente 140 litros diarios de agua potable, considerando un nivel de pérdidas técnicas del 2%.

6.5.3. Perdidas

Cada tipo de pérdida afecta una etapa específica del sistema de abastecimiento de agua. Su identificación, cuantificación y control son fundamentales para garantizar la sostenibilidad del servicio, minimizar costos operativos y cumplir con los estándares técnicos establecidos por la normativa vigente.

- ✓ ***Pérdidas en la aducción (agua cruda)***

Antes de ingresar a la planta de tratamiento, el sistema de aducción puede presentar pérdidas por fugas, evaporación o infiltraciones. Según los lineamientos técnicos, el nivel de pérdidas en esta etapa debe ser inferior al 5% del caudal captado. En este caso, se ha registrado una pérdida de 8.75 L/s, lo cual excede el límite permitido, por lo que se recomienda realizar una evaluación hidráulica y estructural del sistema de aducción para identificar y corregir las fuentes de pérdida.

- ✓ ***Pérdidas por necesidades de la planta de tratamiento***

Durante el proceso de potabilización, es necesario disponer de una fracción del caudal medio diario para operaciones internas como el lavado de unidades, purgas y mantenimiento. Este requerimiento debe estar entre 3% y 5% del caudal medio diario. En este caso, se ha estimado una pérdida del 4%, equivalente a 7 L/s, lo cual se encuentra dentro del rango técnico aceptable para el funcionamiento eficiente de la planta.

- ✓ ***Pérdidas en la conducción (agua tratada)***

Una vez el agua ha sido tratada, el tramo de conducción entre la planta y el inicio de la red de distribución puede presentar pérdidas por fugas, conexiones no autorizadas o fallas estructurales. Estas pérdidas deben ser menores al 5% del caudal medio diario. En este sistema, se ha reportado una pérdida del 5%, equivalente a 8.75 L/s, que representa el límite máximo permitido, por lo que se recomienda implementar medidas de control y monitoreo para evitar que se supere este umbral.

- ✓ ***Pérdidas técnicas en el sistema de acueducto***

Las pérdidas técnicas corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada medido a la salida de la planta de potabilización y el volumen efectivamente entregado a los usuarios en las acometidas domiciliarias. Estas pérdidas incluyen fugas en la red de distribución, errores de medición, conexiones clandestinas y consumos no contabilizados. En este caso, se ha determinado una pérdida técnica de 24.5 L/s, lo cual representa un valor significativo que debe ser analizado mediante auditorías hidráulicas, revisión de micromedición y estrategias de reducción de agua no contabilizada.

6.5.4. Demanda

El caudal es una magnitud que representa la cantidad de fluido (en este caso, agua) que circula por una sección transversal de una tubería o canal en una unidad de tiempo. Se expresa comúnmente en litros por segundo (L/s) o metros cúbicos por segundo (m³/s).

6.5.4.1. Caudal medio diario (Qmd)

Es el volumen promedio de agua requerido por la población en un día**.**

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

Donde:

PP = población (habitantes)
DD = dotación bruta (L/hab·día)
86400 = segundos en un día

El caudal promedio que el sistema debe suministrar continuamente durante el día para cubrir la demanda total de la población es de 0.395 l/s

6.5.4.2 Caudal máximo diario (QMD)

Corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario Qmd por el coeficiente de consumo máximo diario, k1.

QMD = Qmd*k1

Donde k1 depende del nivel de complejidad del sistema, en este caso se asumió un k1 de 1.4 . El mayor volumen diario esperado en días de alta demanda corresponde a 0.553 l/s. Se utiliza para dimensionar fuentes y plantas de tratamiento.

6.5.4.3. Caudal máximo horario (QMH)

Representa el mayor consumo esperado en una hora del día, considerando variaciones en el uso.

$$QMH = QMD*k2$$

Donde:

k2 = coeficiente de variación horaria (usualmente entre 1.5 y 2.5)

Durante la hora de mayor consumo en un día de máxima demanda, el sistema debe estar en capacidad de suministrar hasta **0.995 litros por segundo**.

6.5.4.4. Caudal de diseño

Es el caudal que se utiliza para dimensionar las redes y estructuras hidráulicas, considerando picos de demanda, pérdidas y factores de seguridad.

Tabla 12. Tabla consolidado de población y caudal de diseño
Fuente: Alfa Ingeniería

Año		PROYECCIÓN DE CAUDALES POBLACION ACUEDUCTO VEREDAL POZO AZUL								
		Población Rural						Totales		
		Población Rural (Hab)	Población Flotante (Hab)	Población Total (Hab)	Dotación Neta (L/Hab. Dia)	Perdidas (%)	Dotación Bruta (L/Hab. Dia)	Qmd (L/s)	QMD (L/s)	QMH (L/s)
0	2025	160	0	160	140	25	186,67	0,35	0,45	0,72
1	2026	161	0	161	140	25	186,67	0,35	0,45	0,72
2	2027	162	0	162	140	25	186,67	0,35	0,46	0,73
3	2028	164	0	164	140	25	186,67	0,35	0,46	0,74
4	2029	165	0	165	140	25	186,67	0,36	0,46	0,74
5	2030	166	0	166	140	25	186,67	0,36	0,47	0,75
6	2031	167	0	167	140	25	186,67	0,36	0,47	0,75
7	2032	168	0	168	140	25	186,67	0,36	0,47	0,76

8	2033	170	0	170	140	25	186,67	0,37	0,48	0,76
9	2034	171	0	171	140	25	186,67	0,37	0,48	0,77
10	2035	172	0	172	140	25	186,67	0,37	0,48	0,77
11	2036	173	0	173	140	25	186,67	0,37	0,49	0,78
12	2037	175	0	175	140	25	186,67	0,38	0,49	0,79
13	2038	176	0	176	140	25	186,67	0,38	0,49	0,79
14	2039	177	0	177	140	25	186,67	0,38	0,50	0,80
15	2040	179	0	179	140	25	186,67	0,39	0,50	0,80
17	2042	181	0	181	140	25	186,67	0,39	0,51	0,81
18	2043	183	0	183	140	25	186,67	0,39	0,51	0,82
19	2044	184	0	184	140	25	186,67	0,40	0,52	0,83
20	2045	185	0	185	140	25	186,67	0,40	0,52	0,83
21	2046	187	0	187	140	25	186,67	0,40	0,52	0,84
22	2047	188	0	188	140	25	186,67	0,41	0,53	0,85
23	2048	190	0	190	140	25	186,67	0,41	0,53	0,85
24	2049	192	0	192	140	25	186,67	0,41	0,54	0,86
25	2050	195	0	195	140	25	186,67	0,42	0,55	0,88

Tabla 13. Tabla de Caudal y Capacidad mínima en Tanque de Almacenamiento y Distribución
Fuente: Alfa Ingeniería

CAUDALES			**CAUDAL DE DISEÑO POR COMPONENTE**			
Totales			**Tanque Almacenamiento**			**Caudal Tubería**
Qmd (L/s)	**QMD (L/s)**	**QMH (L/s)**	**Capacidad Almecenamiento (m^3)**	**Q. Emergencia (m^3)**	**Tanque Almacenamiento (m^3)**	**Red Distribución (L/s)**
0,35	0,45	0,72	12,83	2,57	15,40	0,72
0,35	0,45	0,72	12,83	2,57	15,40	0,72
0,35	0,46	0,73	13,12	2,62	15,74	0,73
0,35	0,46	0,74	13,12	2,62	15,74	0,74
0,36	0,46	0,74	13,12	2,62	15,74	0,74
0,36	0,47	0,75	13,40	2,68	16,08	0,75
0,36	0,47	0,75	13,40	2,68	16,08	0,75
0,36	0,47	0,76	13,40	2,68	16,08	0,76
0,37	0,48	0,76	13,69	2,74	16,42	0,76
0,37	0,48	0,77	13,69	2,74	16,42	0,77
0,37	0,48	0,77	13,69	2,74	16,42	0,77
0,37	0,49	0,78	13,97	2,79	16,77	0,78

0,38	0,49	0,79	13,97	2,79	16,77	0,79
0,38	0,49	0,79	13,97	2,79	16,77	0,79
0,38	0,50	0,80	14,26	2,85	17,11	0,80
0,39	0,50	0,80	14,26	2,85	17,11	0,80
0,39	0,51	0,81	14,54	2,91	17,45	0,81
0,39	0,51	0,82	14,54	2,91	17,45	0,82
0,40	0,52	0,83	14,83	2,97	17,79	0,83
0,40	0,52	0,83	14,83	2,97	17,79	0,83
0,40	0,52	0,84	14,83	2,97	17,79	0,84
0,41	0,53	0,85	15,11	3,02	18,13	0,85
0,41	0,53	0,85	15,11	3,02	18,13	0,85
0,41	0,54	0,86	15,40	3,08	18,48	0,86
0,42	0,55	0,88	15,68	3,14	18,82	0,88

Para la definición del tren de tratamiento de la ptap y tanque de almacenamiento se decide tomar un caudal de 1 l/segundo dada la tasa de crecimiento poblacional y la existencia de establecimientos educativos que se abastecen o proyectan abastecer, al momento del diseño no se compartió la información de alumnos y establecimientos educativos por lo que no se tuvo en cuenta esta información aunque en su momento se solicitó.

6.6. Definición sistema de tratamiento

6.6.1. Tipos de Aireadores, Definición y Selección Tecnológica

En los procesos de purificación de agua, la aireación cumple un papel fundamental al incorporar oxígeno al sistema, lo cual permite la remoción de compuestos como hierro, manganeso y dióxido de carbono (CO_2). Este proceso se realiza mediante el arrastre de sustancias volátiles y la oxidación de metales y gases, facilitada por la mezcla turbulenta entre el agua y el aire. Además de mejorar la calidad físico-química del recurso hídrico, la aireación también contribuye a que el agua sea más agradable al paladar.

Los principales tipos de aireadores utilizados en plantas de tratamiento incluyen sistemas de toberas, cascadas, canales inclinados y bandejas múltiples. Cada uno presenta características particulares en cuanto a eficiencia, carga hidráulica, superficie de ocupación y costos operativos.
Los aireadores en cascada y vertederos operan mediante la caída del agua en láminas delgadas sobre escalones de concreto. Este diseño genera una alta pérdida de energía,

pero permite una aireación efectiva en las zonas de salpicamiento, similar a lo que ocurre en ríos turbulentos. Para mejorar el rendimiento, se incorporan salientes, bloques o vertederos en los extremos de los escalones. Estas estructuras se construyen principalmente en concreto, lo que garantiza su durabilidad, aunque implica mayores costos operativos debido a la amplia superficie de limpieza requerida.

Por otro lado, el aireador de bandejas múltiples está compuesto por una serie de bandejas con ranuras, fondos perforados o mallas, que contienen un medio grueso de oxidación. El agua se distribuye sobre estas bandejas y cae finalmente en un tanque receptor. En este tipo de sistema, es esencial considerar factores como la corrosión, la formación de lamas biológicas y el crecimiento de algas, por lo que se recomienda el uso de materiales resistentes como acero inoxidable, aluminio, PRFV o maderas tratadas.

Dado que el recubrimiento de coque presenta una alta tasa de oxidación que puede obstruir el sistema de distribución, se propone el uso de anillos Pall (Pall Ring) como medio de empaque. Este tipo de anillo cerámico, derivado del diseño Raschig, cuenta con ventanas abiertas y lígulas curvadas hacia el eje, lo que mejora la eficiencia en la remoción de partículas de hierro. Los anillos Pall ofrecen ventajas significativas como alto caudal de fluido, baja resistencia hidráulica, flexibilidad operativa, reutilización y facilidad de limpieza.

A continuación, se presenta un análisis multivariable comparativo entre los aireadores en cascada y los de bandejas múltiples:

Ilustración 15. Análisis Multivariable entre aireadores de cascada y bandejas múltiples
Fuente: Adaptado de Romero R.J (2009) y consultoría técnica

Factores	Aireadores en Cascada y Vertederos	Aireador de bandejas múltiples
Eficiencia de remoción de CO_2 esperada	Remociones del 50-60% de remoción	60%
Carga Hidráulica	1200 m/d (cuadro 2.2 (Romero R.J, 2000).	500 m/d (Res 330 de 2017)

Factores	Aireadores en Cascada y Vertederos	Aireador de bandejas múltiples
Superficie de ocupación	1.49 m^2	0.4255 m^2
y costos de operación de energía y productos químicos	A mayor área, mayor superficie de limpieza, mayores costos operativos	A menor área, menor superficie de limpieza, menores costos operativos

Considerando aspectos como la practicidad en la operación, el rendimiento en la ejecución de obra y los costos de construcción, se adopta como solución tecnológica el aireador de bandejas múltiples con medio Pall Ring. Esta alternativa resulta más eficiente y sostenible frente a la oxidación química, la cual se descarta debido a los elevados costos asociados a la dosificación de reactivos, equipos complementarios y consumo energético

6.6.2. Tipos de mezcladores rápidos, definición

Considerando que el proyecto se ubica en una zona rural del municipio de Palmas del Socorro y que opera con un caudal de diseño (QMD) de 1.00 l/s, se descarta la implementación de coagulación mecánica, dado que esta requiere infraestructura y energía que no se justifican en el contexto rural.

En su lugar, se evalúan alternativas de mezcla rápida hidráulica, las cuales aprovechan la energía disponible en el flujo de entrada. Este tipo de mezcladores se utilizan cuando existe suficiente carga hidráulica, siendo los más comunes aquellos que generan resaltos hidráulicos. Entre las estructuras tradicionalmente empleadas se encuentran: Canaletas Parshall y Canales rectangulares con vertedero

Históricamente, los dispositivos de mezcla rápida han sido de tipo hidráulico. En 1927, J. W. Elms patentó el uso del resalto hidráulico para procesos de mezcla rápida en la planta de tratamiento de Detroit. En América Latina, esta técnica ha sido ampliamente adoptada en las últimas décadas, demostrando eficacia y estabilidad en diversas condiciones operativas.

Para que el resalto hidráulico funcione como mezclador rápido, es fundamental garantizar un flujo estable, lo cual se logra cuando el número de Froude (Fr) se encuentra en el rango de 4.5 a 9.0. En contraste, al aplicar cálculos de pre-dimensionamiento para un

canal rectangular con resalto hidráulico, los resultados fueron altamente satisfactorios. Se obtuvo:

- ✓ Tiempo de mezcla inferior a 1 segundo
- ✓ Número de Froude dentro del rango óptimo (4.5–9.0)
- ✓ Resalto hidráulico estable
- ✓ Gradiente de mezcla entre 1000 s^{-1} y 2000 s^{-1}

Dado lo anterior, se adopta el canal rectangular con resalto hidráulico como estructura de mezcla rápida para el análisis de alternativas del sistema de tratamiento. Esta solución se ajusta a las condiciones hidráulicas del proyecto y garantiza eficiencia operativa en un entorno rural.

6.6.3. Tipos de Floculadores – Definición y Selección Tecnológica

En los procesos de tratamiento de agua, la floculación es una etapa clave que permite la aglomeración de partículas suspendidas para facilitar su posterior sedimentación. Existen dos tipos principales de floculación: la pericinética y la ortocinética.

La floculación pericinética ocurre de forma espontánea, como resultado del movimiento browniano de las moléculas de agua y de la acción de la gravedad sobre las partículas. Este fenómeno favorece la formación de flóculos debido al desplazamiento continuo y aleatorio de las partículas en suspensión. Por su parte, la floculación ortocinética se genera mediante gradientes de velocidad inducidos en el líquido, ya sea por medios mecánicos o hidráulicos. Estos gradientes provocan que las partículas se desplacen a diferentes velocidades y en distintas direcciones, aumentando significativamente la probabilidad de colisión y formación de flóculos (Pérez Parra J. A., 1997).

Dado que el proyecto se desarrolla en una zona rural del municipio de Palmas del Socorro y opera con un caudal de diseño (QMD) de 1.00 l/s, se descarta la implementación de floculación mecánica, por razones de eficiencia energética, simplicidad operativa y adecuación al contexto rural.

Como alternativa, se consideran dos tipos de floculadores hidráulicos: floculadores de tabiques y floculadores tipo Alabama.

Los floculadores de tabiques están conformados por canales en los que se instalan pantallas o tabiques, fabricados comúnmente en madera, plástico reforzado con fibra (PRF) o fibra de vidrio. Estas estructuras obligan al agua a seguir un recorrido en vaivén, realizando giros de 180°, lo que genera el movimiento necesario para inducir la floculación ortocinética. Su diseño sencillo y bajo requerimiento energético los hace adecuados para zonas rurales.

Por otro lado, el floculador tipo Alabama es una unidad diseñada para facilitar la agregación de partículas mediante la adición de productos químicos floculantes. El agua circula en un patrón ascendente-descendente dentro de compartimientos sucesivos, y es fundamental mantener una velocidad constante para asegurar la eficiencia del proceso. El gradiente de velocidad se concentra principalmente en los puntos de paso —como niples, codos y boquillas— ubicados en el fondo de la unidad y distribuidos de forma alternada en cada extremo. Este diseño permite una mezcla controlada y eficiente, aunque requiere mayor precisión en la regulación del caudal.

Ambas alternativas presentan ventajas operativas en contextos rurales, pero su selección dependerá de los criterios técnicos, económicos y de sostenibilidad definidos en el análisis de alternativas del proyecto.

6.6.4. Tipos de Sedimentadores – Definición y Selección Tecnológica

La sedimentación es el proceso mediante el cual se remueven, por efecto de la gravedad, las partículas en suspensión presentes en el agua. Para que este fenómeno ocurra de manera eficiente, dichas partículas deben tener un peso específico mayor que el del fluido que las contiene (Romero R.J., 2000). Este proceso es indispensable cuando se aplica coagulación por barrido o por adsorción, ya que permite la remoción de la turbiedad. En otros casos, su implementación dependerá de los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio o pruebas piloto.

Existen diversos tipos de sedimentadores, cada uno con características operativas y constructivas particulares. Los sedimentadores de flujo horizontal están compuestos por cuatro zonas funcionales: entrada, sedimentación, salida y recolección de lodos. Aunque

históricamente han sido ampliamente utilizados, su aplicación ha disminuido debido al extenso espacio que requieren para garantizar el recorrido del flujo, lo que implica mayores costos de construcción y ocupación de terreno. Por esta razón, se descarta su implementación en el presente proyecto.

Otra alternativa es el sedimentador con manto de lodos, el cual puede operar bajo suspensión hidráulica o mecánica. Este tipo de unidad integra en un solo sistema la inyección de coagulantes, la mezcla rápida, la floculación y la sedimentación. Sin embargo, su operación requiere personal capacitado y equipos especializados, lo que representa una limitación significativa en contextos rurales como el del municipio de Moniquirá. Por tanto, esta opción también se excluye del diseño propuesto.

En función de criterios como la optimización del espacio, la reducción de costos constructivos y la viabilidad operativa en zonas rurales, se selecciona como alternativa tecnológica el sedimentador de alta tasa. Este tipo de unidad está equipada con módulos o tubos de aceleración de sedimentación, los cuales pueden tener formas circulares, cuadradas, hexagonales, octogonales, o estar conformados por placas planas, inclinadas, onduladas o corrugadas. Estos elementos se disponen de manera inclinada dentro del tanque, permitiendo que el agua ascienda por las celdas en régimen de flujo laminar, lo que mejora la eficiencia del proceso de sedimentación en espacios reducidos.

La elección del sedimentador de alta tasa responde a las condiciones particulares del proyecto, garantizando eficiencia hidráulica, facilidad de operación y compatibilidad con las capacidades técnicas disponibles en el entorno rural.

6.6.5. Tipos de Filtros Rápidos – Definición y Selección Tecnológica

La filtración rápida es una etapa esencial en el tratamiento de agua potable, cuyo objetivo es remover las partículas que no hayan sido retenidas durante los procesos previos de coagulación, floculación, sedimentación o flotación. Este tipo de filtración se aplica sobre agua previamente tratada y opera con tasas que oscilan entre 90 y 350 $m^3/m^2/día$, dependiendo de las características del sistema y del agua a tratar.

Dentro de los filtros rápidos se distinguen dos modalidades principales: filtración directa y filtración convencional**.**

La filtración directa puede realizarse en dos formas: como filtración de contacto (sin floculación ni sedimentación previa) o como filtración directa propiamente dicha (sin sedimentación, pero con coagulación y floculación total o parcial). Este proceso requiere una coagulación por neutralización de cargas, distinta de la coagulación por barrido. Para que esta tecnología sea viable, el agua cruda debe presentar una turbiedad inferior a 8 UNT y un color menor a 30 UC durante al menos el 90% del tiempo. En el 10% restante, los valores no deben superar los 15 UNT de turbiedad ni los 50 UC de color. Si estos límites se exceden por periodos breves (no mayores a cinco horas), debe garantizarse una solución operativa que permita la continuidad del servicio.

Por otro lado, la filtración convencional se utiliza como etapa final de pulimiento, posterior a los procesos de mezcla rápida, floculación y sedimentación. Es especialmente adecuada cuando se ha aplicado coagulación por barrido. En este caso, la turbiedad de entrada al filtro no debe superar los 8 UNT y el color debe mantenerse por debajo de los 20 UC, para asegurar la eficiencia del proceso.

Por lo tanto, se adopta como alternativa de potabilización la filtración convencional rápida de lecho mixto, que ofrece mayor robustez frente a variaciones en la calidad del agua cruda y se ajusta mejor a las condiciones del proyecto. Esta solución garantiza una remoción eficiente de partículas y una operación estable en el entorno rural, cumpliendo con los requisitos normativos y técnicos establecidos.

6.6.6. Tipos de Desinfección – Definición y Consideraciones Técnicas

La desinfección es la etapa final del tratamiento de agua potable, cuyo propósito es eliminar o inactivar microorganismos patógenos que puedan representar un riesgo para la salud humana. Entre los métodos más utilizados a nivel mundial se encuentra la desinfección por medio de cloro gaseoso, considerada altamente eficiente y empleada en más del 90% de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

El cloro gaseoso se comercializa en cilindros de acero de 75 kg y de una tonelada, así como en camiones o contenedores especialmente diseñados para su transporte. Los equipos dosificadores operan bajo dos principios: funcionamiento al vacío mediante inyección en tuberías, y funcionamiento a presión por difusión en canales abiertos o tuberías. El sistema más comúnmente utilizado es el de funcionamiento al vacío, por su mayor seguridad y control operativo (OPS/CEPIS/PUB/02.83, 2002).

Además del cloro gaseoso, existen otros productos de la familia del cloro disponibles en el mercado para la desinfección del agua, tales como: cal clorada, hipoclorito de sodio y hipoclorito de calcio. La elección del desinfectante depende de varios factores, entre ellos el caudal de agua a tratar, la dosis requerida según la calidad del agua, y las normas nacionales de calidad para agua potable.

Existe una referencia técnica no oficial que establece un umbral operativo para el uso de cloro gaseoso: este método no se recomienda para caudales inferiores a 500 m^3/día. En zonas rurales, donde la dotación típica es de 100 litros por habitante por día, este límite corresponde a poblaciones mayores de 5,000 habitantes. Por lo tanto, en comunidades más pequeñas, el uso de cloro gaseoso puede resultar innecesario o incluso riesgoso.

El abastecimiento del producto también representa una limitación importante, especialmente en zonas rurales de difícil acceso. En estos casos, puede ser más viable emplear otros desinfectantes o preparar hipoclorito de sodio o de calcio in situ, siempre que se cuente con las condiciones técnicas adecuadas. La capacidad técnica disponible en la zona de intervención debe ser cuidadosamente considerada. La operación de instalaciones con cloro gaseoso requiere personal capacitado, difícil de encontrar y mantener en áreas rurales. Además, se necesita acceso continuo y estable a energía eléctrica para el funcionamiento de bombas y sistemas de dosificación.

Dado que el cloro gaseoso es una sustancia altamente peligrosa, su manejo exige estrictas medidas de seguridad. Es fundamental contar con personal entrenado y medios técnicos adecuados para prevenir y controlar fugas, ya que una liberación no detectada puede causar accidentes graves y poner en riesgo vidas humanas. Finalmente, en la evaluación de costos de desinfección, se deben considerar no solo los aspectos económicos directos, sino también la fiabilidad del sistema, su durabilidad, facilidad de operación y disponibilidad de repuestos. En algunos casos, una solución más costosa puede ser preferible si ofrece ventajas operativas y mayor seguridad frente a alternativas más económicas pero menos robustas

6.7. Planteamiento predimensionamiento de alternativas de potabilización

6.7.1. Materialidad en las alternativas de tratamiento

Este capítulo presenta el planteamiento técnico de las alternativas de potabilización definidas a partir del análisis metodológico, teórico y práctico desarrollado en los capítulos anteriores. Se incluye el predimensionamiento de las unidades de tratamiento, seguido del análisis integral de aspectos relacionados con la gestión de riesgos, la gestión ambiental, y los criterios económicos y sociales que permiten determinar la viabilidad del proyecto. Como resultado, se obtendrá el documento de prediseño acompañado de los planos y memorias técnicas correspondientes a las soluciones de infraestructura propuestas.

Desde el enfoque constructivo, las estructuras involucradas en el proceso de potabilización pueden ser ejecutadas en diversos materiales, entre los que se destacan: concreto, plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), acero al carbón y acero inoxidable. La selección del material adecuado depende de múltiples factores, entre ellos: la agresividad química del agua tratada, la dosificación de reactivos, la durabilidad esperada, los costos de mantenimiento, la facilidad de instalación y la disponibilidad local de insumos.

En el caso específico del presente proyecto, se requiere la dosificación de productos químicos en cantidades significativas para controlar la excedencia de color aparente, remover fosfatos y precipitar hierro. Estos compuestos suelen ser altamente corrosivos, por lo que es indispensable que los equipos y estructuras estén construidos con materiales resistentes a la acción de ácidos y agentes oxidantes (Pérez Parra, J. M., 2000).

El acero al carbón, aunque ampliamente utilizado en infraestructura hidráulica, requiere revestimientos protectores como pinturas epóxicas o sistemas de impermeabilización para evitar la oxidación. Esto implica una necesidad constante de mantenimiento preventivo y correctivo, así como vigilancia técnica para evitar el deterioro físico de las estructuras. Por otro lado, el acero inoxidable ofrece una excelente resistencia química y estructural, pero su costo por metro cuadrado es considerablemente más alto, lo que puede limitar su aplicación en proyectos de escala rural o con restricciones presupuestarias.

El concreto impermeable, comúnmente utilizado en tanques y canales, no debe confundirse con un material completamente estanco. En realidad, se trata de un concreto de baja permeabilidad, cuya formulación busca minimizar la penetración de líquidos agresivos sin comprometer la resistencia estructural (Sika, 2020). Su uso es adecuado en

unidades de tratamiento que no están expuestas a reactivos altamente corrosivos, siempre que se garantice una correcta dosificación de aditivos y un proceso de curado controlado.

Una alternativa altamente eficiente y versátil es el uso de PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio). Este material compuesto está formado por una matriz de resina —como poliéster, viniléster o epoxi— reforzada con fibras de vidrio orientadas estratégicamente para mejorar sus propiedades mecánicas. El PRFV ofrece una excelente resistencia a la tracción, flexión y compresión, además de una baja densidad que facilita su transporte e instalación en zonas rurales de difícil acceso.

Entre sus ventajas más destacadas se encuentran su resistencia a la corrosión, su compatibilidad con productos químicos agresivos, su bajo mantenimiento, y su capacidad de aislamiento térmico y eléctrico. Además, puede moldearse en formas personalizadas, lo que permite soluciones a medida para cada unidad de tratamiento. Está disponible en una amplia gama de colores y acabados, lo que facilita su integración estética y funcional en proyectos de infraestructura hidráulica.

Por estas razones, el PRFV se ha consolidado como uno de los materiales más utilizados en plantas de tratamiento de agua potable, especialmente en contextos rurales, donde la durabilidad, la facilidad de instalación y la resistencia química son factores determinantes para el éxito del proyecto

6.7.2. Predimensionamiento alternativa de diseño

Este diseño integra las etapas fundamentales del proceso de potabilización, cumpliendo con los lineamientos establecidos en la Resolución 2115 de 2007 y la Resolución 799 del 2021, y está orientado a garantizar la calidad del agua suministrada en zonas rurales y de difícil acceso.

Este tren de tratamiento ha sido proyectado considerando criterios de eficiencia hidráulica, facilidad de operación, mantenimiento y adaptabilidad a condiciones locales. Su configuración modular permite una rápida implementación y escalabilidad según las necesidades de la población beneficiada.

Ilustración 16. Diseño PTAP Vereda Pozo Azul -Perfil
Fuente: Alfa Ingeniería

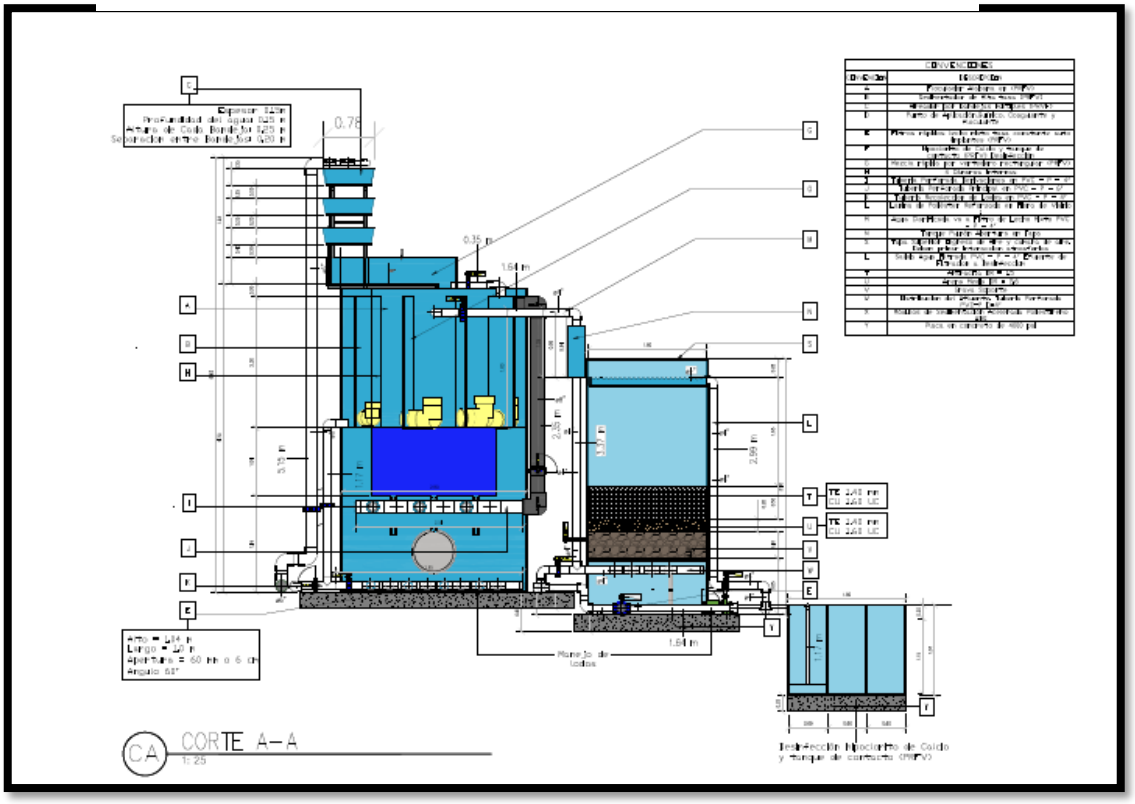
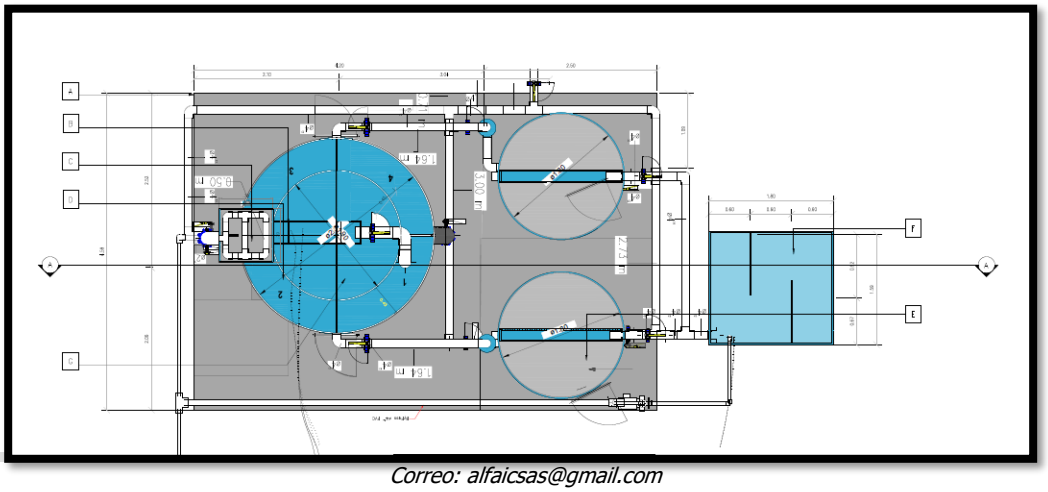


Ilustración 17. Diseño PTAP acueducto Pozo Azul -Planta
Fuente: Alfa Ingeniería



6.7.2.1 Torre de Aireación

El aireador por bandejas es una unidad de pretratamiento diseñada para poner en contacto el agua cruda con el aire, con el objetivo de modificar la concentración de sustancias volátiles presentes en el líquido. Este proceso permite la transferencia de oxígeno al agua, incrementando su contenido de oxígeno disuelto, y favorece la remoción de dióxido de carbono (CO_2), hierro (Fe), manganeso (Mn) y compuestos orgánicos volátiles (COVs).

Ilustración 18. Diseño Torre de Aireación
Fuente: Alfa Ingeniería



Con base en la caracterización físico-química de la fuente de abastecimiento, se ha diseñado un aireador de bandejas múltiples construido en PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio), que incorpora en su interior un medio oxidante tipo Pall Ring. El diseño se ha realizado conforme a los parámetros establecidos en la Resolución 0330 de 2017 y sus modificaciones introducidas por la Resolución 799 de 2021

Ilustración 19. Parámetros de diseño para Torres de Aireación
Fuente: Resolución 0330 de 2017

Parámetro	Valor
Carga Hidráulica	500-1500 m/d
Altura Total	1.20 m - 3.0 m
Numero de Bandejas	3 a 9
Distancia entre Bandejas	0.30 m - 0.50 m
Altura de Bandeja	0.20 m - 0.25 m
Diámetro medio de orificios	0.50 cm - 0.60 cm
Separación media entre orificios	0.025 m (2.50 cm-7.50 cm)
Eficiencia de Remoción de CO_2	30% - 60%
Tamaño del material de Contacto	4 cm -12 cm
Espesor del lecho de contacto	0.15 m - 0.20 m

Para este proyecto, se ha definido una carga hidráulica superficial (CHS) de 650 m^3/m^2/día, lo que determina un área total de bandejas de m^2. El sistema estará compuesto por tres bandejas. La profundidad de agua en cada bandeja será de m, y el espesor del lecho de contacto con anillos Pall Ring se ha establecido en m. La altura total del aireador será de m.

Este diseño garantiza una eficiencia de remoción de CO_2 estimada entre el 30% y el 60%, dependiendo de las condiciones operativas. El uso de PRFV como material constructivo ofrece ventajas significativas en términos de resistencia química, durabilidad, facilidad de instalación y bajo mantenimiento, lo que lo convierte en una solución óptima para entornos rurales.

A continuación se adjunta un pantallazo de la hoja de cálculo en formato Excel realizada para el diseño de la estructura.

BANDEJAS DE AIREACIÓN MULTIPLE

CAUDALES	L/s	m³/s	m³/H	m³/d
Qmd				
QMD	1,00	0,001	3,600000	86,4
QMH	14,39	0,01439	51,804000	1243,296

Parámetro	Valor
Carga Hidráulica	500-1500 m/d
Altura Total	1.20 m - 3.0 m
Numero de Bandejas	3 a 9
Distancia entre Bandejas	0.30 m - 0.50 m
Altura de Bandeja	0.20 m - 0.25 m
Diámetro medio de orificios	0.50 cm - 0.60 cm
Separación media entre orificios	0.025 m (2.50 cm-7.50 cm)
Eficiencia de Remoción de CO_2	30% - 60%
Tamaño del material de Contacto	4 cm -12 cm
Espesor del lecho de contacto	0.15 m - 0.20 m

CRITERIOS DE DISEÑO

Se asume un valor de carga hidráulica superficial CH

CH	650	m/d
CH	0,00752	m/s
A_T	0,1329	m^2
Numero de bandejas	3	Un
A_b Área Bandeja	0,04	m^2
Lb longitud lado de bandeja (Largo)	0,21	m
b (Ancho)	0,21	m
Dimensionamiento de cada Bandeja		
Largo y Ancho constructivo	0,65	m
Altura de cada bandeja	0,25	m
Separación entre bandejas	0,20	m
Profundidad del agua en la bandeja	0,15	m
Lecho de contacto: Anillos Pall Ring: Espesor	0,15	m
Altura del aireador	1,35	m

Medio de contacto		
Diámetro Anillos Pall Ring	2,00	In
Ocupación Anillos Pall Ring	180	Und/ft^3
Volumen a ocupar por bandeja	0,06	m^3
Volumen x bandeja	2,24	[ft^3]
Unidades x bandeja	402,80	Und
Total, unidades anillos pall ring	1208,39648	Und

Pérdida en orificios distribuidor en Aireador		
Caudal de diseño	0,00100	Q_d [m^3/s]
Diámetro orificio 1/2"	0,0127	D [m]
Diámetro orificio 1/2"	12	D [mm]
Área orificio	0,00013	A [m^2]
Area de modulo	0,4	m^2
Numero de distribuidores Laterales	4,0	Und
Caudal por Lateral	2,3	L/s
Relacion Orificio (asumida)	0,2000	.....
n= Numero de Orificios distribuidor en Aireador	66,0	Und
Numero de orificios por lateral	17,0	Und

$At = \frac{Qd}{CH}$	At	Área transversal bandejas
	CH	Carga hidráulica
	Qd	Caudal de diseño
$Ab = \frac{At}{n}$	Ab	Área Bandeja
	n	Numero de Bandejas
$Lb = \sqrt{Ab}$	Lb	longitud lado de bandeja

$At = \frac{Qd}{CH}$	At	Área transversal bandejas
	CH	Carga hidráulica
	Qd	Caudal de diseño
$Ab = \frac{At}{n}$	Ab	Área Bandeja
	n	Numero de Bandejas
$Lb = \sqrt{Ab}$	Lb	longitud lado de bandeja

$V = Lb * Lb * hm$	V	volumen a ocupar por le medio
	hm	Altura del medio de contacto
$Un = V * Om$	Un	Unidades de medio de contacto
	V	Volumen a ocupar por el medio
	Om	Relación de unidades de ocupación

6.7.2.2. Mezcla Rápida por Vertedero Rectangular (PRFV)

La unidad de mezcla rápida tiene como función principal garantizar la dispersión homogénea de los coagulantes, auxiliares de coagulación y alcalinizantes en el agua cruda, asegurando que estos reactivos se apliquen en dosis óptimas y se distribuyan de manera uniforme en toda la masa de agua. El diseño puede ser hidráulico o mecánico, y debe cumplir con los rangos de gradiente de velocidad y tiempo de mezcla establecidos en la normativa vigente.

Según la Resolución 0330 de 2017, los mezcladores hidráulicos deben operar con un

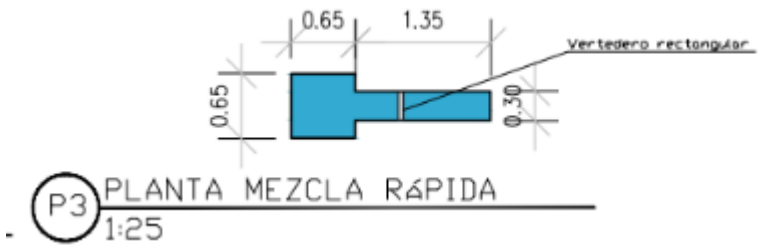
gradiente de velocidad medio entre 1000 s^{-1} y 2000 s^{-1}, y un tiempo de mezcla inferior a 1 segundo. En este proyecto, se ha adoptado un sistema de mezcla rápida por vertedero rectangular en caída libre, adecuado para plantas pequeñas con caudal constante y flujo por gravedad.

La metodología de cálculo, basada en los criterios formulados por Richter, considera que el coagulante debe aplicarse sobre la sección de entrada a una distancia óptima (Lm) del vertedero. Aplicar el coagulante a una distancia menor que Lm puede generar una distribución desigual del reactivo, provocando que una parte del agua reciba una dosis excesiva y otra insuficiente, lo que reduce la eficiencia del proceso de coagulación.

Cuando la lámina de agua alcanza el fondo del vertedero, se divide en una corriente principal que avanza hacia el frente y una corriente secundaria que retorna, generando una zona de recirculación. Esta dinámica puede provocar una acumulación de agua contra el vertedero y una redistribución del coagulante. Sin embargo, si el coagulante se aplica correctamente, aprovechando la energía del resalto hidráulico, se logra una mezcla eficiente y estable.

La distancia Lm se calcula mediante la ecuación de Scimeni, en función de la altura del vertedero (Py) y de la lámina de agua (H). Este valor se ajusta considerando el ancho de la lámina vertiente en el punto de reposo. Para vertederos rectangulares de pared gruesa, se utiliza una fórmula empírica deducida experimentalmente, que permite dimensionar la unidad con precisión y garantizar su funcionamiento óptimo. La estructura será construida en PRFV, material que ofrece alta resistencia mecánica y química, ideal para condiciones rurales con limitaciones de mantenimiento y operación especializada.

Ilustración 20. Diseño Vertedero Rectangular
Fuente Alfa Ingeniería



A continuación se adjunta un pantallazo de la hoja de cálculo en formato Excel realizada para el diseño de la estructura.

MEZCLA RÁPIDA VERTEDERO RECTANGULAR

Mezcla Rápida Vertedero Rectangular		
Caudal de diseño QD	1,00	L/s
	0,009	m^3/s
Altura de caida P	0,3	m
Gravedad	9,81	m/s^2
Temperatura	15	ºC
Peso especifico del agua	9820	N/m^3
Viscosidad Cinemática	0,000001139	m^2/s
Viscosidad Dinámica	0,0011390	$N*s/m^2$
Ancho vertedero rectangular (B)	0,30	m
Caudal Unitario (q)	0,03	m^2/s
Profundidad crítica (hc)	0,045101519	m
h1 Antes del resalto	0,0163	m
Velocidad 1 v1 antes del resalto	1,84	m/s
Número de Froude	4,60	Resalto Estable
h2 despues del resalto	0,100	m
Velocidad 2 v2 despues del resalto	0,30	m/s
Pérdida de energia h	0,090	m
Longitud del resalto L_j	0,50	m
Velocidad media en el resalto	1,07	m/s
Tiempo de mezcla	0,47	s
Cumple con tiempo de mezcla		
Gradiente de Velocidad	1285,32	s^{-1}
Cumple con gradiente de velocidad		
Distancia punto de aplicación quimico Lm	0,23	m

$$F = \frac{V}{\sqrt{g h_2}}$$

F	Numero de Froude
V_1	Los valores de V_1
g	Aceleración de la gravedad

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Vm	Velocidad media en el resalto
V_1	Los valores de V_1
V_2	Los valores de V_2

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 h_2 h_1}$$

h1	Altura conjugada del resalto
h2	Altura despues del resalto
F	Numero de froude

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

Lj	La longitud del resalto, L_j
h1	Altura conjugada del resalto
h2	Altura despues del resalto

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * h}{\mu * T}}$$

G	gradiente de velocidad
γ	peso especifico del agua
μ	Viscosidad dinamica del agua
h	pérdidas en el resalto

6.7.2.3. **Floculador Tipo Alabama en PRFV**

El floculador tipo Alabama es una unidad hidráulica diseñada para facilitar la aglomeración de partículas en suspensión mediante agitación controlada. En este sistema, el agua fluye a través de una serie de cámaras —mínimo nueve— ingresando a cada una por medio de accesorios con salida ascensional. Constructivamente, se emplean codos plásticos ubicados aproximadamente a un metro por debajo del nivel del agua, los cuales aprovechan la energía del chorro del afluente para inducir la turbulencia necesaria que promueve la formación de flóculos.

De acuerdo con los lineamientos establecidos en la Resolución 0799 de 2021, para floculadores que operan con caudales menores a 250 l/s se deben cumplir los siguientes criterios técnicos:

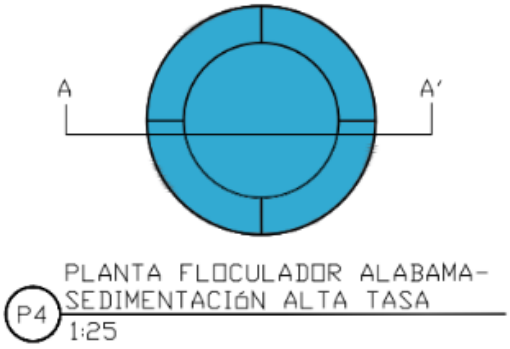
- Incorporar al menos tres zonas de floculación diferenciadas.
- Mantener gradientes de velocidad entre 70 s^{-1} y 10 s^{-1}.
- Garantizar un tiempo de retención hidráulica (THR) entre 20 y 40 minutos.

- El volumen del floculador (V) se determina en función del caudal de diseño (Qd) y del tiempo de retención hidráulica, mediante la expresión: THR=VQdTHR

Para este proyecto, es necesario hacer ensayo de jarra para determinar tiempo, quimicos para las condiciones de calidad de agua. El uso de PRFV como material estructural ofrece ventajas significativas en términos de resistencia química, durabilidad, facilidad de instalación y bajo mantenimiento, lo que lo convierte en una solución adecuada para entornos rurales con limitaciones operativas. Además, su capacidad de moldeado permite adaptar el diseño a configuraciones circulares o modulares, facilitando la integración del sistema en espacios reducidos y condiciones topográficas variables.

La implementación del floculador Alabama en este proyecto garantiza una floculación eficiente, estable y compatible con los parámetros normativos vigentes, contribuyendo al rendimiento global del tren de tratamiento propuesto.

Ilustración 21. Diseño Floculador Tipo Alabama
Fuente: Alfa Ingeniería



A continuación se adjunta un pantallazo de la hoja de cálculo en formato Excel realizada para el diseño de la estructura.

DISEÑO HIDRÁULICO PTAP-FLOCULADOR TIPO ALABAMA

Parámetro	Fórmula	Valor	Unidad	Símbolo	Observación
Caudal QD	---	1,00	L/s	Q	Caudal de diseño definido para cada tren de tratamiento adicional, para completar el caudal requerido al horizonte de diseño
	---	0,00100	m³/s		
	---	0,06	m³/min		
	---	86,40	m³/d		
Temperatura	---	15	°C	T	
Viscosidad Dinámica	---	0,001139	Pa.S	μ	Propiedades físicas del agua, tomadas del libro de Purificación del agua. Jairo Alberto romero Rojas, 2002, Apéndice A.
Densidad	---	999,103	Kg/m³	ρ	
Viscosidad Cinemática	---	0,000001139	m²/s	v	
Peso específico	---	9,8200	kN/m³	T	
		9820,0	N/m³		
Coeficiente de rugosidad PRFV	---	0,01		c	Coeficiente de Manning.
Gravedad	---	9,81	m/s²	g	

Zona de Floculación

Parámetro	Fórmula	Valor	Unidad	Símbolo	Observación
Número de módulos		1	unidad		Todos los casos de proyectos nuevos se deberán garantizar mínimo tres zonas de floculación, para alcanzar una disminución de los gradientes de velocidad de mezcla entre 70 s-1 y 10 s-1 y cuyo gradiente medio del proceso deberá ser 40 s-1. ARTÍCULO 112. resolución 0330 de 2017 modificaciones mediante resolución 799 de 2021, **retención hidráulica de 20 a 40 minutos. Según Fair y Geyer:** **THR = 10 – 30 min** Velocidad de flujo = 0.10 – 0.30 m/s Perdida de energía = 0.30 – 0.30 m Buscar valor dentro del rango para que las cámaras sean cuadradas
Número de unidades	---	4	UNIDAD	N	
Gradiente de Velocidad Inferior		10	s-1	GVI	
Gradiente de Velocidad Superior		70	s-1	GVS	
Gradiente de Velocidad Promedio	GVP= (GVS+GVI)/2	40	s-1	GVP	
Velocidad Inferior		0,20	m/s	VI	
Velocidad Superior		0,60	m/s	VS	
Velocidad Promedio	VP= (VI+VS)/2	0,40	m/s	VP	
Tiempo de Retención Inferior		20	min	TRI	
Tiempo de Retención Superior		40	min	TRS	
Tiempo de Retención Promedio	THR=	15	min	TRP	
Volumen Floculador	V= Q*THR*60	54,00	m³	Vol	
Volumen por Modulo o Unidad	Vu=V/N	18,00	m³	Vu	
Tiempo de retención por Unidad	THRu=THR/N	3,75	min	TRu	
Área Total superficial del floculador		1,58	m²	As	
Diametro General del floculador		1,42	m	D	
Factor de ajuste		1,45	-	Fc	
Diámetro externo del floculador		1,47		De	
Area Diámetro externo del floculador		6,16	m²	ADe	
Área restante de ajuste	Ar=ADe-As	4,26	m²	Ar	
Diámetro interno del floculador		1,90	m	Di	1,29 -0,22
Ancho del floculador		2,84	m	W	
Altura del Floculador Af	Af	2,00	m	Af	Esta altura es fija debido a la profundidad necesaria, 8. Profundidad del agua La profundidad del agua es de 1,5 a 3,0 m. Buenas practicas de ingeniería titulo C, pag 226
Area Transversal del Floculador	At=Af*W	3,80	m²	At	
Longitud del floculador	Lf=Vol/At	1,42	m	Lf	
Numero de Cámaras en Ancho		3,0	Un	Nw	Valores Asumidos por el diseñador
Numero de Cámaras en Largo		3,0	Un	NL	Valores Asumidos por el diseñador
Ancho por unidad	Wu=W/Nw	0,60	m	Wu	Las cámaras deben presentar de ancho 0.50 a 1.25 m. y una longitud entre 0.75 a 1.50 m, La relación ancho/largo de cada compartimiento debe ser de 1 a 1,33.
Largo por unidad	Lu=Lf/NL	0,47	m	Lu	
Intervalo de Gradiente	IG=(GVS-GVI)/N	20,00	s-1	IG	
Área transversal por Unidad	Atu=(Af/N)	1,27	m²	Atu	
Área Inicial	Ain= Q/VS	0,0017	m²	Ain	
Ancho Inicial Ventana	Aiv= √Ain * 100	4,08	cm	Aiv	

Página 1

6.7.2.4. Sedimentador de Alta Tasa en PRFV

El sedimentador de alta tasa es una unidad de tratamiento diseñada para operar con tiempos de retención cortos y en condiciones de flujo laminar, lo que permite una sedimentación eficiente en espacios reducidos. Este tipo de sistema se caracteriza por su poca profundidad**,** generalmente del orden de centímetros, y por el uso de módulos internos que aceleran el proceso de asentamiento. Estos módulos pueden tener diversas geometrías: tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales, placas planas paralelas, onduladas o corrugadas, dispuestos en tanques poco profundos con tiempos de retención inferiores a quince minutos.

En los conductos utilizados para sedimentación de alta tasa, se asume un régimen de flujo laminar**.** No obstante, en la zona de entrada del sistema se presenta una **región de**

transición, donde el flujo uniforme se transforma gradualmente en flujo completamente laminar. Según Streeter y Yao, esta región puede estimarse mediante la longitud relativa de transición (L’), calculada con la expresión:

$$L'=0.058\cdot v0\cdot dvL' = 0.058$$

Donde:

v0v_0 = velocidad promedio del fluido en el módulo de sedimentación

dd = ancho del conducto o módulo

v\nu = viscosidad cinemática del fluido (considerada a 15 °C)

Para garantizar un diseño seguro y eficiente, se recomienda que la velocidad promedio del flujo en los módulos sea menor a 1 cm/s, o en el rango de 0.05 a 0.13 m/min, según lo establecido por Romero (2000) y la Resolución 799 del 2021, Título C. Aunque la ecuación de Yao puede aplicarse a diferentes tipos de sedimentadores, se ha observado que tiende a arrojar valores elevados. Por ello, se prefiere la fórmula propuesta por Shulze, que ajusta la longitud de transición de manera más conservadora:

$$L'=0.013\cdot v0\cdot dvL' = 0.013$$

La existencia de esta región de transición obliga a considerar una longitud efectiva de sedimentación corregida (Lc)**,** definida como:

$$Lc=L-L'Lc = L - L'$$

Donde LL es la longitud total del módulo y L’L' la longitud de transición. Este ajuste proporciona un factor de seguridad adicional en el diseño hidráulico. Para asegurar condiciones de flujo laminar, se recomienda que el número de Reynolds (NRE) sea inferior a 250, calculado como:

$$RE=v0\cdot dvNRE$$

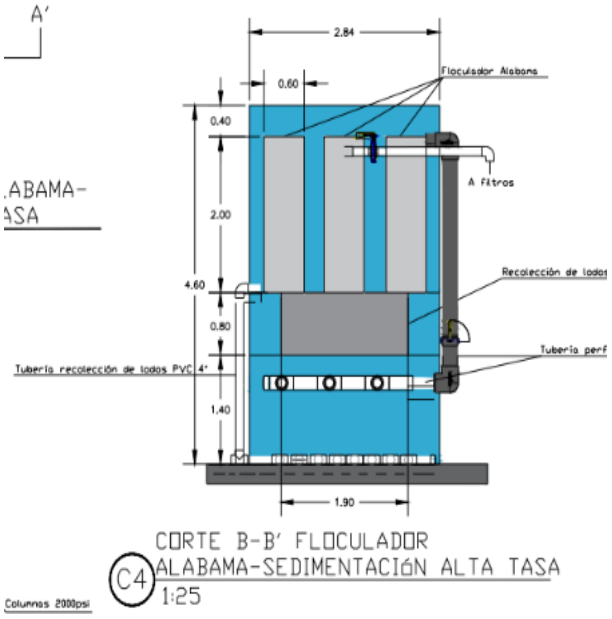
Finalmente, el tiempo de retención se determina mediante la expresión:

$$t=lv0t$$

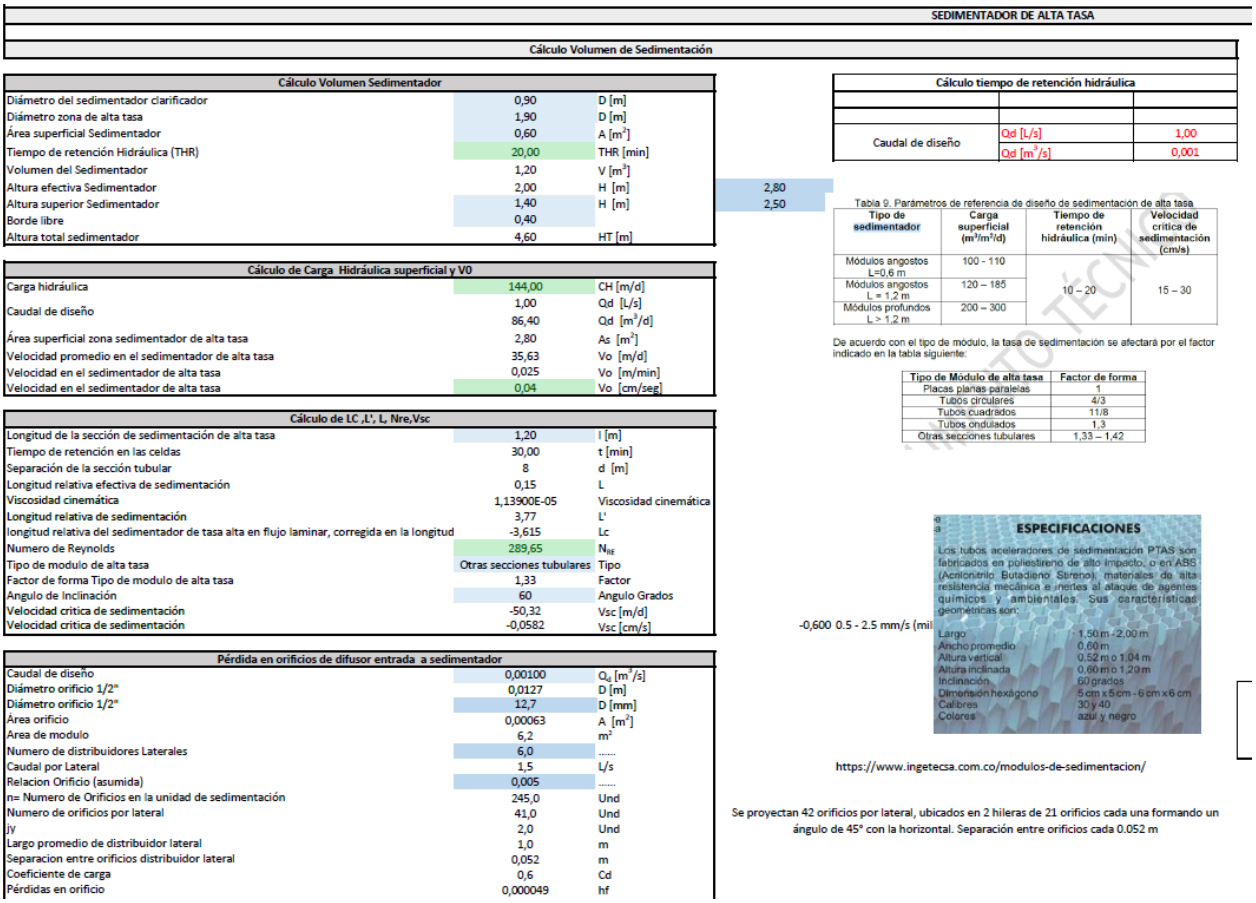
Donde ll es la longitud del módulo y v0 la velocidad promedio del fluido.

La unidad será construida en PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio)**,** material que ofrece alta resistencia química, durabilidad, facilidad de instalación y bajo mantenimiento, lo que lo convierte en una solución óptima.

Ilustración 22. Diseño Sedimentador Alta Tasa
Fuente: Alfa Ingeniería



A continuación se adjunta un pantallazo de la hoja de cálculo en formato Excel realizada para el diseño de la estructura.



SEDIMENTADOR DE ALTA TASA

Cálculo Volumen de Sedimentación

Cálculo Volumen Sedimentador		
Diámetro del sedimentador clarificador	0,90	D [m]
Diámetro zona de alta tasa	1,90	D [m]
Área superficial Sedimentador	0,60	A [m^2]
Tiempo de retención Hidráulica (THR)	20,00	THR [min]
Volumen del Sedimentador	1,20	V [m^3]
Altura efectiva Sedimentador	2,00	H [m]
Altura superior Sedimentador	1,40	H [m]
Borde libre	0,40	
Altura total sedimentador	4,60	HT [m]

Cálculo de Carga Hidráulica superficial y V0		
Carga hidráulica	144,00	CH [m/d]
Caudal de diseño	1,00	Qd [L/s]
	86,40	Qd [m^3/d]
Área superficial zona sedimentador de alta tasa	2,80	As [m^2]
Velocidad promedio en el sedimentador de alta tasa	35,63	Vo [m/d]
Velocidad en el sedimentador de alta tasa	0,025	Vo [m/min]
Velocidad en el sedimentador de alta tasa	0,04	Vo [cm/seg]

Cálculo de LC ,L', L, Nre,Vsc		
Longitud de la sección de sedimentación de alta tasa	1,20	l [m]
Tiempo de retención en las celdas	30,00	t [min]
Separación de la sección tubular	8	d [m]
Longitud relativa efectiva de sedimentación	0,15	L
Viscosidad cinemática	1,13900E-05	Viscosidad cinemática
Longitud relativa de sedimentación	3,77	L'
longitud relativa del sedimentador de tasa alta en flujo laminar, corregida en la longitud	-3,615	Lc
Numero de Reynolds	289,65	N_{RE}
Tipo de modulo de alta tasa	Otras secciones tubulares	Tipo
Factor de forma Tipo de modulo de alta tasa	1,33	Factor
Angulo de Inclinación	60	Angulo Grados
Velocidad critica de sedimentación	-50,32	Vsc [m/d]
Velocidad critica de sedimentación	-0,0582	Vsc [cm/s]

Pérdida en orificios de difusor entrada a sedimentador		
Caudal de diseño	0,00100	Q_o [m^3/s]
Diámetro orificio 1/2"	0,0127	D [m]
Diámetro orificio 1/2"	12,7	D [mm]
Área orificio	0,00063	A [m^2]
Area de modulo	6,2	m^2
Numero de distribuidores Laterales	6,0	.....
Caudal por Lateral	1,5	L/s
Relacion Orificio (asumida)	0,005	.....
n= Numero de Orificios en la unidad de sedimentación	245,0	Und
Numero de orificios por lateral	41,0	Und
jy	2,0	Und
Largo promedio de distribuidor lateral	1,0	m
Separacion entre orificios distribuidor lateral	0,052	m
Coeficiente de carga	0,6	Cd
Pérdidas en orificio	0,000049	hf

2,80
2,50

Cálculo tiempo de retención hidráulica		
Caudal de diseño	Qd [L/s]	1,00
	Qd [m^3/s]	0,001

Tabla 9. Parámetros de referencia de diseño de sedimentación de alta tasa

Tipo de sedimentador	Carga superficial ($m^3/m^2/d$)	Tiempo de retención hidráulica (min)	Velocidad crítica de sedimentación (cm/s)
Módulos angostos L=0,6 m	100 - 110	10 – 20	15 – 30
Módulos angostos L = 1,2 m	120 – 185		
Módulos profundos L > 1,2 m	200 – 300		

De acuerdo con el tipo de módulo, la tasa de sedimentación se afectará por el factor indicado en la tabla siguiente:

Tipo de Módulo de alta tasa	Factor de forma
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Tubos ondulados	1,3
Otras secciones tubulares	1,33 – 1,42

-0,600 0.5 - 2.5 mm/s (mil

ESPECIFICACIONES

Los tubos aceleradores de sedimentación PTAS son fabricados en poliestireno de alto impacto, o en ABS (Acrilonitrilo Butadieno Stireno), materiales de alta resistencia mecánica e inertes al ataque de agentes químicos y ambientales. Sus características geométricas son:

Largo	1,50 m - 2,00 m
Ancho promedio	0,60 m
Altura vertical	0,52 m o 1,04 m
Altura inclinada	0,60 m o 1,20 m
Inclinación	60 grados
Dimensión hexágono	5 cm x 5 cm - 6 cm x 6 cm
Calibres	30 y 40
Colores	azul y negro

https://www.ingetecsa.com.co/modulos-de-sedimentacion/

Se proyectan 42 orificios por lateral, ubicados en 2 hileras de 21 orificios cada una formando un ángulo de 45° con la horizontal. Separación entre orificios cada 0.052 m

6.7.2.5. Filtros Rápidos de Lecho Mixto, Tasa Constante, Auto Limpiantes (PRFV)

Considerando que el proyecto se desarrolla en una zona rural del municipio de Moniquirá, se prioriza la optimización de los costos de inversión, la eficiencia en el uso del área de construcción y la reducción de gastos asociados al reemplazo de lechos filtrantes. En este contexto, se propone la implementación de dos unidades de filtros rápidos de lecho mixto, flujo descendente, auto limpiantes, construidos en PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio).

Estas unidades están diseñadas para almacenar internamente el volumen de agua necesario para ejecutar su propio lavado, mediante un sistema de válvulas de purga que invierten el sentido del flujo. El lavado se realiza en dirección descendente, aprovechando la energía hidráulica disponible. Según el manual de potabilización del agua, cada filtro

debe contar con capacidad suficiente para realizar el lavado en un periodo de 5 a 10 minutos, incluyendo una reserva adicional para el enjuague superficial.

Mediante verificación hidráulica, se determinó que una sola unidad de filtración puede operar el caudal máximo diario (QMD) sin exceder la tasa de filtración máxima permitida de 350 m^3/m^2/día. Esto permite que, en caso de mantenimiento, limpieza o reemplazo de lechos en una de las unidades, la otra pueda asumir la operación sin comprometer la eficiencia del sistema.

El diseño contempla filtros de **tasa constante**, lo que significa que el caudal de entrada se distribuye equitativamente entre las unidades. Cada filtro regula su nivel interno de agua de forma independiente, compensando el aumento de resistencia del medio filtrante con el incremento del nivel hidráulico, manteniendo así una tasa de filtración estable.

Dimensionamiento Hidráulico

El área total de filtración (AT) se calcula mediante la expresión:

$$AT = QMDqmedAT$$

Donde:

AT: Área total de filtración (m^2)

QMD: Caudal máximo diario (m^3/s)

q_{me}d: Tasa media de filtración (180–350 m^3/m^2/día)

El área de cada filtro (Au) se determina dividiendo el área total entre el número de unidades:

$$Au = ATNAu$$

Donde:

Au: Área de cada filtro (m^2)

N: Número de filtros (unidades)

La forma geométrica de los filtros se define según la siguiente relación:

B=N+12N·LB = \frac{N + 1}{2N} \cdot L

Donde:

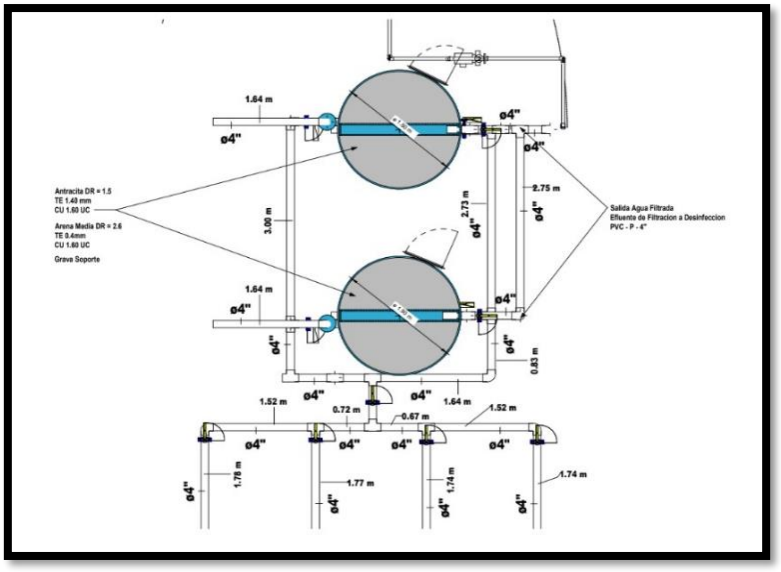
B: Ancho del filtro (m)

L: Largo del filtro (m

N: Número de filtros

El uso de PRFV como material constructivo ofrece ventajas significativas en términos de resistencia química, durabilidad, facilidad de instalación y bajo mantenimiento. Su ligereza y capacidad de moldeado lo hacen especialmente adecuado para proyectos rurales, donde las condiciones de acceso, operación y mantenimiento pueden ser limitadas.

Ilustración 23. Diseño Filtros Rápidos Fuente: Alfa Ingeniería



La implementación de filtros rápidos de lecho mixto con tasa constante y sistema de autolimpieza representa una solución eficiente, robusta y adaptable a las necesidades del proyecto, garantizando la calidad del agua tratada y la sostenibilidad operativa del sistema.

A continuación se adjunta un pantallazo de la hoja de cálculo en formato Excel realizada para el diseño de la estructura.

FILTRO RÁPIDO A TASA CONSTANTE

Tanque Pulmón		
Diámetro	10	pulg
Diámetro tanque	259,73	mm
Área	0,05298	m^2
Altura lamina de agua	1,00	m
Velocidad 1 v_1 caida antes del resalto	4,4	m/s
Velocidad en el coducto	0,019	m/s

Datos de Entrada		
Caudal Q	1,00	L/s
	0,0010	m^3/s
	86,40	m^3/dia
	3,60	m^3/h
Numero de filtros	0,04	unid
Numero de filtros mínimos Filtros Autolavables	2	unid
Temperatura del Agua	15,0	C

Dimensiones del área de filtración		
Tasa media de filtracion (q_{med})	180,00	m^3/m^2-dia
Area total de filtracion (A_t)	0,50	m^2
Area de cada filtro (A_u)	0,25	m^2
Area de filtro circular	2,15	m^2
B/L	1,00	-
Largo L	1,47	m
Area de filtro circular constructivo	2,54	m^2
Diámetro del filtro circular	1,65	m
Diámetro del filtro circular constructivo	1,80	m
Relacion L/B	1	
Cumple Relacion 1.0 <= L/B <= 3.0		
Caudal por unidad	389	m^3/dia
Caudal por unidad	0,001	m^3/s

Lecho de Filtración		
Tamaño efectivo (TE) arena (Abertura del tamiz ideal que deja pasar el 10% d10)	0,4	mm
Coeficiente de uniformidad de la arena (CU_{arena}) (d60/d10)	1,60	
Porosidad arena Po	0,40	
Abertura del tamiz ideal que deja pasar el 60% de la arena d60	0,64	mm
Porosidad Antracita (Po)	0,47	
Coeficiente de condiciones de mezcla. Valor de C. entre mezcla parcial	3,09	
Abertura del tamiz ideal que deja pasar el 90% de antracita d90	1,236	mm
Coeficiente de uniformidad de la Antracita ($Cu_{Antracita}$)	1,60	
Tamaño efectivo TE Antracita	1,20	mm
Relacion TE Antracita / TE arena	3,00	
Altura Total de lecho X	0,70	m
Altura de la arena X_a	0,20	m
Altura de la Antracita X_A	0,50	m
Grava de soporte (L_g)	0,40	m

Espesor y tamaño de la grava de soporte		
Posicion	Espesor (cm)	Tamaño (Pulg)
Fondo	10,00	2 - 1
Segunda Capa	7,50	1 - 1/2
Tercera Capa	7,50	1/2 - 1/4
Cuarta Capa	7,50	1/4 - 1/8
Quinta Capa	7,50	1/8 - 1/12

Area	10,000	
Diametro	3,568	m
Diiametro	140,00	pulg

26,3	0,375
0	0,675

Porcentaje que pasa (%)

Tabla 10. Características de Filtración convencional

Parámetro	Filtración lenta con lecho simple	Filtración rápida con lecho simple	Filtración rápida con lecho mixto
Tasa de filtración ($m^3/m^2/d$)	7 – 14	< 120	180 – 350
Profundidad del medio (m)	0,8 – 1,0	0,6 – 0,9	Antracita: 0,4 – 0,6 Arena: 0,15 – 0,3

2,540

Tabla C.Fi.1.1 Propiedades físicas generales y granulometría de los medios utilizados en filtros rápidos

Propiedad	Unidad	Granate	Ilmenita	Arena	Antracita
Tamaño efectivo	mm	0.2-0.4	0.2-0.4	0.4-0.8	0.8-2.0
Coeficiente de uniformidad	UC	1.3-1.7	1.3-1.7	1.3-1.7	1.3-1.7
Densidad	g/mL	3.6-4.2	4.5-5.0	2.65	1.4-1.8
Porosidad	%	45-58	N/A	40-43	47-52
Dureza	Moh	6.5-7.5	5-6	7	2-3

Tabla C.Fi. 1.2 Características granulométricas de la arena, para filtros rápidos

Tipo de arena	Tamaño efectivo		Coeficiente
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo
Arena Fina	0.35	0.45	

6.7.2.6. Desinfección con Hipoclorito de Calcio y Tanque de Contacto (PRFV)

La desinfección constituye una etapa obligatoria dentro del tren de tratamiento de agua potable, tal como lo establece el artículo 121 de la Resolución 330 de 2017. Esta etapa tiene como finalidad garantizar la eliminación de microorganismos patógenos y prevenir su proliferación en cualquier punto del sistema de conducción o red de distribución. Entre los métodos de desinfección permitidos se encuentran la cloración y sus derivados —como el hipoclorito de sodio (NaClO), hipoclorito de calcio ($Ca(OCl)_2$), dióxido de cloro (ClO_2), cloro gaseoso— así como tecnologías como la ozonización, la radiación ultravioleta y los oxidantes mixtos generados in situ.

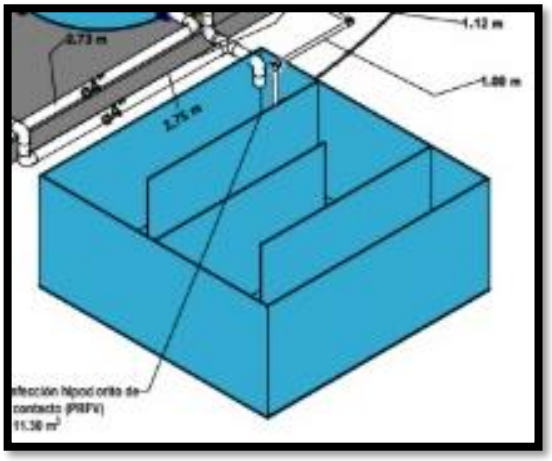
El parágrafo primero de dicha resolución exige que se defina un residual de desinfectante que garantice la inhibición del crecimiento microbiano en toda la red. En los casos donde se empleen tecnologías como ozonización o radiación UV, debe contemplarse el uso de un desinfectante secundario para asegurar la protección continua del agua tratada.

El parágrafo segundo establece que, cuando se utilice cloración como método de desinfección, debe incorporarse un tanque de contacto antes del almacenamiento, con el fin de proporcionar un tiempo mínimo de contacto de 20 minutos. Este tiempo es necesario para asegurar la acción efectiva del desinfectante sobre los microorganismos presentes. La determinación de la dosis óptima se realiza mediante el valor Ct (concentración × tiempo), el cual debe ser igual o superior al valor K recomendado para garantizar la desinfección.

En el presente proyecto, se ha seleccionado el hipoclorito de calcio ($Ca(OCl)_2$) como agente desinfectante, debido a su alta disponibilidad, facilidad de manejo, estabilidad en almacenamiento y compatibilidad con las condiciones operativas de zonas rurales. Esta elección responde también a criterios de seguridad, dado que el hipoclorito de calcio presenta menores riesgos de manipulación en comparación con el cloro gaseoso, y no requiere infraestructura especializada ni personal altamente capacitado.

El tanque de contacto será construido en PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio), material que ofrece excelente resistencia química, durabilidad estructural y bajo mantenimiento. Su ligereza y facilidad de instalación lo hacen especialmente adecuado para entornos rurales con limitaciones logísticas.

Ilustración 24. Diseño Tanque de Contacto de cloro
Fuente: Alfa Ingeniería



Para garantizar la funcionalidad del sistema de tratamiento (ptap) desde aireación hasta distribución se debe realizar levantamiento topográfico y/o toma de coordenadas de la bocatoma y demás estructuras que conforman el sistema de acueducto de la vereda pozo azul para determinar cotas y definir si por alturas llega el agua al sistema de tratamiento y garantizar su operatividad, en la información suministrada no se contaba con ella por lo cual se deja salvedad y claridad que se definió tren de tratamiento a partir de los resultados de las muestras de agua.

Tabla 4. Tabla de TRH Y capacidad de procesos de ptap
Fuente: Alfa Ingeniería

Unidad del Proceso	TRH Recomendado	Cálculo del Volumen (V = Q × TRH)	Capacidad Requerida
Aireación	10–20 min (600–1200 s)	1 L/s·600–1200 s	0.6–1.2 m³
Mezcla rápida	30–60 s	1 L/s·30–60 s	0.03–0.06 m³
Floculación	15–30 min (900–1800 s)	1 L/s·900–1800 s	0.9–1.8 m³
Sedimentación	2–4 h (7200–14400 s)	1 L/s·7200–14400 s	7.2–14.4 m³
Filtración rápida	5–10 m³/m²·h	A=Q·36005–10A	0.36–0.72 m² (área)
Tanque de contacto (Cloro)	30 min (1800 s)	1 L/s·1800 s	1.8 m³

A continuación se adjunta un pantallazo de la hoja de cálculo en formato Excel realizada para el diseño de la estructura.

6.7.2.7. Diseño de tanque de Almacenamiento y Distribución

6.7.2.7.1. Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento

El tanque de almacenamiento es un componente esencial en los sistemas de abastecimiento de agua potable, especialmente en zonas rurales donde se requiere garantizar la continuidad del servicio, la calidad del agua y la capacidad de respuesta ante eventos operativos. Se deja claridad que la capacidad mínima de almacenamiento para un 1 l/segundo es de 29 m^3 aproximadamente por otro lado para los resultados reales de 0.6 l/segundo es de 16 m3 aproximadamente.

Para el diseño de un tanque rectangular de almacenamiento de agua potable, completamente enterrado y construido en concreto armado, se parte de la necesidad de garantizar un volumen útil de 50 m^3. Este volumen incluye tanto la capacidad operativa como la reserva para contingencias, conforme a los lineamientos del la Resolución 799 del 2021, y la Resolución 2115 de 2007. El tanque debe permitir autonomía operativa, facilitar el mantenimiento y asegurar condiciones sanitarias adecuadas.
El primer paso consiste en definir una altura útil adecuada para un tanque enterrado. En zonas rurales, se recomienda limitar la altura para facilitar la excavación, reducir la presión lateral sobre los muros y permitir un acceso seguro desde la superficie. Se propone una altura útil de 2.78 metros, que ofrece un equilibrio entre volumen y estabilidad estructural.

Con la altura definida, se procede a calcular el área de la base necesaria para alcanzar el volumen total. Utilizando la fórmula del volumen de un prisma rectangular

$$V = L \cdot A \cdot H$$

$$A_{\text{base}} = \frac{V}{H} = \frac{50}{2.78} \approx 17.99\,\text{m}^2$$

A partir de esta área, se seleccionan dimensiones prácticas para el largo y el ancho del tanque. Se propone un largo de 6.0 metros y un ancho de 3.0 metros

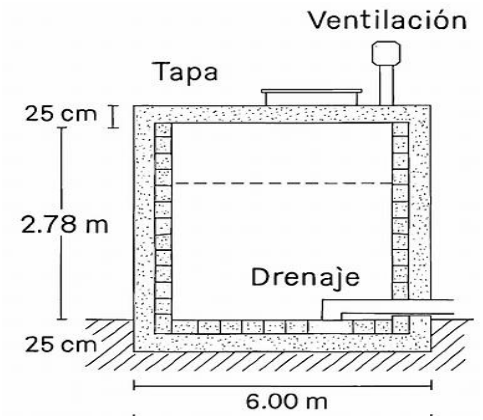
$$L \cdot A = 6.0 \cdot 3.0 = 18.0\,\mathrm{m}^2$$

Las dimensiones propuestas cumplen con el volumen requerido.

$$V = L \cdot A \cdot H = 6.0 \cdot 3.0 \cdot 2.78 = 50.04\,\mathrm{m}^3$$

La geometría rectangular facilita la construcción en concreto, permite una buena distribución interna del flujo y favorece la renovación del agua. La altura moderada reduce los esfuerzos estructurales y mejora la seguridad en condiciones de carga lateral por tierra o nivel freático. Estas dimensiones pueden ser ajustadas ligeramente en obra según condiciones topográficas, disponibilidad de materiales o recomendaciones estructurales.

Ilustración 25. Dimensiones Tanque de Almacenamiento
Fuente: Alfa Ingeniería



6.8. Recomendaciones Técnica

- Implementar un sistema de monitoreo continuo de parámetros de calidad del agua (turbidez, cloro residual, pH), que permita ajustes operativos en tiempo real y garantice el cumplimiento normativo.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo, con cronogramas

definidos para cada unidad del sistema, priorizando la limpieza de filtros, revisión de válvulas automáticas y calibración de dosificadores.

- Capacitar al personal operativo local, asegurando que comprendan el funcionamiento del sistema, la dosificación de productos químicos y la interpretación de resultados básicos de laboratorio.
- Evaluar periódicamente la eficiencia del tren de tratamiento, mediante muestreos y análisis comparativos, para ajustar dosificaciones y detectar posibles fallas en unidades específicas.
- Gestionar la reposición de medios filtrantes cada 3 a 5 años, según la carga de sólidos y condiciones de operación, para mantener la eficiencia de remoción de turbidez y contaminantes.
- Fortalecer la logística de insumos y supervisión, especialmente en zonas de difícil acceso, mediante alianzas con entidades territoriales o esquemas comunitarios de gestión.

SISTEMA DE ACUEDUCTO VEREDAL ENCILLADA – BARRO HONDO

7. EVALUACION, DIAGNOSTICO Y ANÁLISIS DE LÍNEA DE CONDUCCIÓN PROYECTADA ENTRE PLANTA DE TRATAMIENTO Y TANQUE PROYECTADO

Este informe presenta el análisis técnico de la línea de conducción proyectada entre la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y el tanque de almacenamiento proyectado nuevo. Se abordan los aspectos hidráulicos, topográficos y operativos que inciden en el diseño y funcionamiento del sistema, con el objetivo de garantizar su viabilidad constructiva y eficiencia técnica.

El estudio incluye la revisión detallada del trazado preliminar proporcionado por el equipo de topografía, así como la evaluación de un alineamiento directo entre la PTAP y el tanque, considerando criterios de pendiente, longitud, accesibilidad y compatibilidad con el entorno físico. A partir de esta información, se analizan las condiciones hidráulicas resultantes incluyendo pérdidas de carga, presión disponible y régimen de flujo para validar la factibilidad técnica de la conducción propuesta. Como punto de partida se realiza un diagnóstico global de la ptap y el tanque de almacenamiento-distribución existentes con el fin de evaluar capacidades y definir viabilidad para la construcción de la nueva red de conducción con las condiciones actuales del sistema o es pertinente hacer otras intervenciones antes de pensar en ampliar la red de distribución.

Este análisis constituye una etapa preliminar clave para el diseño integral del sistema, permitiendo posteriormente la incorporación de las demás disciplinas técnicas (estructural, eléctrica, ambiental y operativa) que conforman el proyecto de

infraestructura.

7.1. Diagnostico General de la Planta de tratamiento y tanque de almacenamiento existente.

La Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de La Colorada fue diseñada para operar con un caudal de 1 l/segundo, equivalente a 86.4 m³/día, lo cual es suficiente para abastecer a una población de 440 personas distribuidas en 110 puntos domiciliarios. Sin embargo, a pesar de contar con infraestructura básica (torre de aireación, canal de mezcla, sistema de filtración y tanque de almacenamiento) la planta no se encuentra operativa como sistema de potabilización. El agua circula por los procesos sin recibir tratamiento efectivo, lo que representa un riesgo sanitario para la comunidad.

Ilustración 26. Planta de Tratamiento Vereda Encillada - Barro Hondo
Fuente: Alfa Ingeniería



Actualmente, se emplea cloración por goteo como método de desinfección. Este sistema, aunque de bajo costo y fácil implementación, no garantiza una dosificación precisa ni

estable, lo que puede derivar en concentraciones de cloro residual fuera de los rangos establecidos por la Resolución 2115 de 2007, que exige valores entre 0.3 y 2.0 mg/L para garantizar desinfección sin afectar la calidad organoléptica del agua. La falta de control en la dosificación puede generar tanto subcloración (riesgo microbiológico) como sobrecloración (riesgo químico y corrosivo).

Para el proceso de coagulación, se utiliza PAC (policloruro de aluminio) con concentración de Al_2O_3 al 30%, un coagulante eficaz si se aplica bajo condiciones controladas de pH, mezcla rápida y floculación. Sin embargo, en esta PTAP no se evidencian procesos activos de mezcla ni floculación, lo que limita la eficiencia del coagulante y puede generar acumulación de aluminio residual en el agua tratada. Según la Resolución 799 del 2021,, todo sistema de tratamiento que utilice coagulantes debe contar con unidades de mezcla rápida, floculación y sedimentación para garantizar la remoción de sólidos y metales residuales.

Ilustración 27. Sistema de Válvulas Ptap Encillada- Barro Hondo
Fuente: Alfa Ingeniería



El sistema de filtración presenta un deterioro crítico: los lechos filtrantes no han sido reemplazados desde la instalación de la planta, lo que compromete la remoción de

turbiedad, color y sólidos suspendidos. La Resolución 2115 establece que la turbiedad del agua tratada debe ser inferior a 2 UNT, y el color verdadero menor a 15 unidades de Pt-Co, parámetros que difícilmente se cumplen con medios filtrantes agotados.

En cuanto al tanque de almacenamiento, su capacidad estructural es de aproximadamente 20 m³ (5 m largo × 2 m ancho × 2 m alto), lo que representa apenas el 32% de la demanda diaria estimada (61.6 m³/día). Esta limitación reduce la autonomía del sistema y su capacidad de respuesta ante interrupciones o mantenimientos. Además, se observan figuras internas que dificultan la limpieza y favorecen la formación de zonas muertas, lo que puede comprometer la calidad del agua almacenada. La Resolución 799 del 2021, recomienda que los tanques de almacenamiento tengan capacidad suficiente para cubrir al menos un día de demanda, con diseño que facilite la limpieza, ventilación y purga.

Ilustración 28. Tanque de Almacenamiento Ptap Vereda Encillada - Barro Hondo
Fuente: Alfa Ingeniería.



La evaluación técnica de la PTAP de La Colorada evidencia que, a pesar de contar con infraestructura básica para el tratamiento de agua potable, la planta no cumple con los

requisitos mínimos establecidos por la Resolución 2115 de 2007 ni con los lineamientos de diseño del la Resolución 799 del 2021. El sistema de cloración por goteo actualmente en uso no garantiza una dosificación precisa ni estable, lo que compromete la efectividad del proceso de desinfección.

Asimismo, el uso de PAC como coagulante, aunque técnicamente adecuado, resulta ineficiente debido a la ausencia de unidades de mezcla rápida y floculación, lo que limita la remoción de sólidos y puede generar acumulación de aluminio residual. Los lechos filtrantes no han sido renovados desde la instalación de la planta, lo que afecta gravemente la calidad del agua tratada.

Por otro lado, el tanque de almacenamiento presenta una capacidad insuficiente para cubrir la demanda diaria de la población abastecida, además de un diseño interno que dificulta la limpieza y favorece la formación de zonas muertas. En conjunto, estos factores representan un riesgo sanitario para la comunidad y evidencian la necesidad urgente de rehabilitación técnica y operativa del sistema.

Para mejorar el funcionamiento de la PTAP y garantizar el cumplimiento normativo, se recomienda sustituir el sistema de cloración por goteo por un dosificador regulado, preferiblemente mediante bomba peristáltica o sistema venturi con control de flujo, que permita mantener niveles de cloro residual dentro del rango exigido por la normativa. Es fundamental implementar unidades de mezcla rápida y floculación para optimizar el uso del PAC y mejorar la eficiencia del proceso de coagulación. Los lechos filtrantes deben ser renovados con materiales adecuados (arena, grava) y se debe revisar el sistema de drenaje para asegurar una filtración efectiva. Además, se debe establecer un protocolo de operación y mantenimiento conforme a la la Resolución 799 del 2021, incluyendo capacitación técnica del personal encargado.

En cuanto al tanque de almacenamiento, se recomienda ampliar su capacidad a un mínimo de 60 m³ para cubrir la demanda diaria, rediseñar su interior para evitar zonas muertas, e instalar válvulas de purga, sistemas de ventilación y accesos seguros para facilitar la limpieza y el monitoreo. Estas acciones permitirán mejorar la calidad del agua suministrada, reducir riesgos sanitarios y garantizar la sostenibilidad del sistema en el tiempo. Es primordial realizar estos ajustes al sistema de tratamiento y tanque de almacenamiento para poder garantizar suministro las 24 horas a los usuarios del acueducto y posteriormente pensar en instalar una nueva línea de red de conducción.

7.1.1. Caudal de Diseño

El caudal de diseño se ha estimado considerando una población servida de 110 usuarios, con un promedio de 4 personas por usuario, lo que equivale a un total de 440 personas. Tomando un consumo medio de 140 litros por persona por día, se obtiene un volumen diario de 66 m³. Este valor corresponde a un caudal promedio de aproximadamente 0.76 L/s, el cual será utilizado como base para el análisis hidráulico de la línea de conducción.

Número total de Usuarios: 110

Número total de personas: 110 usuarios ×4 personas/usuario=440 personas

7.1.2. Dotación bruta:

$$D_{Bruta} = \frac{D_{Neta}}{(1-\%P)}$$

$$D_{Bruta} = \frac{140\ L/hab/dia}{(1-0.25)} = 186.67\ L/hab/dia$$

7.1.3. Caudal promedio diario (Qmd)

$$Qmd = \frac{D_{Bruta} * Poblacion}{86400}$$

$$Qmd = \frac{186.67*440}{86400} = 0.95\ L/s$$

El caudal de diseño se ha estimado considerando una población servida de 110 usuarios, con un promedio de 4 personas por usuario, lo que equivale a un total de 440 personas. Tomando un consumo medio de 140 litros por persona por día, se obtiene un volumen diario de 117.6 m³. Este valor corresponde a un caudal promedio de aproximadamente 1.05 L/s, el cual será utilizado como base para el análisis hidráulico de la línea de conducción.

7.1.4. Caudal Máximo Diario (QMD)

El caudal máximo diario del proyecto se estima en 1.36 L/s considerando un coeficiente K1 de 1.3.

7.1.5. Caudal Máximo Horario (QMH)

El caudal máximo horario del proyecto se estima en 2.18 L/s considerando un coeficiente K2 de 1.6.

Tabla 14. Tabla Resumen de Caudales
Fuente: Alfa Ingeniería

POBLACIÓN (Habitantes)	Qmr (L/s)	Qmou Qmins (L/s)	VARIACIONES DE CAUDAL		
			Qmd (L/s)	QMD (L/s)	QMH (L/s)
440	1.03	0.02	1.09	1.36	2.18

7.1.6. Caudal Requerido por estructura

Con los anteriores variaciones de caudal es posible realizar la evaluación hidráulica de cada uno de los sistemas. Para la evaluación de las redes de distribución, se realizará conforme el QMH, en concordancia con lo requerido en la resolución 0330 de 2017.

De acuerdo a la resolución 0330 de 2017 se establecen los siguientes caudales de diseño para las estructuras contempladas del proyecto.

Tabla 15. Caudal por estructura Fuente:

Resolución 0330 de 2017. MVCT.

COMPONENTE	CAUDAL DE DISEÑO
Captación Fuente Subterránea	QMD
Desarenador	QMD
Aducción	QMD
Conducción	QMD
Tanque	QMD
Red de Distribución	QMH

7.2. Condiciones Topográficas

El análisis topográfico constituye un componente esencial para la evaluación técnica de la línea de conducción entre la PTAP y el tanque de almacenamiento. Esta sección contempla la revisión del levantamiento topográfico realizado por el equipo especializado, con el fin de identificar las características del terreno que puedan influir en el trazado, la pendiente, la longitud efectiva de la conducción y la ubicación de elementos críticos como cámaras de inspección, válvulas de aire y puntos de anclaje.

La información obtenida permite establecer criterios para el diseño hidráulico y constructivo, conforme a lo estipulado en la Resolución 799 del 2021, capítulo de diseño de redes de conducción, y anticipar posibles desafíos en la ejecución del proyecto, tales como:

- Tramos con pendientes pronunciadas que puedan generar sobrepresiones o cavitación.
- Cruces de cuerpos de agua o vías que requieran obras especiales.
- Necesidad de estructuras de disipación o protección contra erosión.

Inicialmente se observa que la topografía requiere una georreferenciación más precisa, con el fin de ubicar geográficamente con mayor exactitud la información presentada. En consecuencia, no es posible verificar la veracidad de los datos suministrados y, por lo tanto, si existen errores en el procedimiento topográfico, este estudio se considera exento de cualquier responsabilidad derivada de fallas en la información topográfica.

Se tiene la siguiente topografía del terreno.

.

Ilustración 29. Planimetría de la topografía presentada
Fuente: Alfa Ingeniería

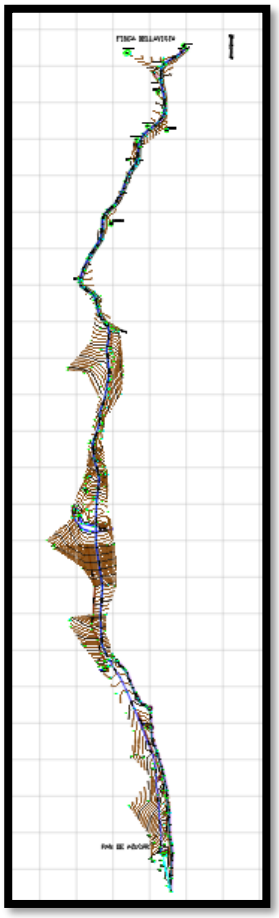
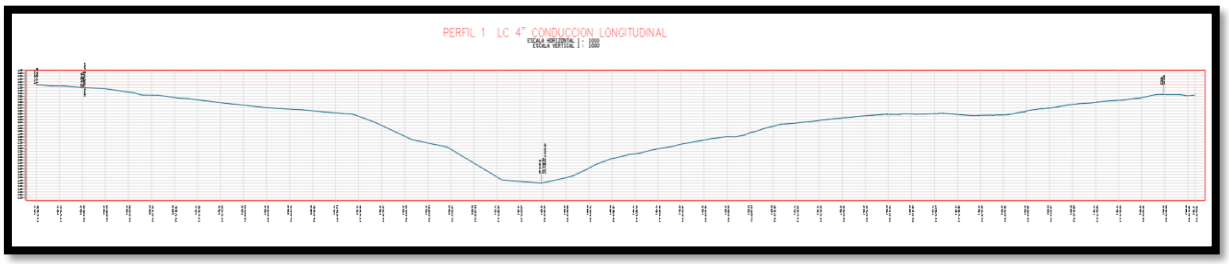


Ilustración 30. Perfil presentado de la topografía del terreno
Fuente: Alfa Ingeniería



El terreno presenta una configuración geomorfológica en forma de "V", producto de la formación de un cañón natural atravesado por la quebrada La Ensillada. Esta característica genera variaciones abruptas en las cotas altimétricas, lo que incide directamente en el trazado, la pendiente y la estabilidad de la línea de conducción proyectada entre la PTAP y el tanque de almacenamiento.

Dicha condición topográfica exige una evaluación detallada del perfil longitudinal, con el fin de identificar zonas críticas que puedan requerir obras especiales, como anclajes, disipadores de energía, válvulas de aire o estructuras de protección contra erosión. Además, se deben considerar los efectos sobre el régimen hidráulico, incluyendo posibles sobrepresiones, velocidades excesivas o pérdidas de carga localizadas.

El diseño hidráulico y constructivo deberá ajustarse a los lineamientos establecidos en la Resolución 799 del 2021, particularmente en lo referente a redes de conducción en terrenos con pendientes pronunciadas, asegurando la viabilidad técnica, seguridad estructural y facilidad de mantenimiento del sistema.

Asimismo, se identifica la necesidad de considerar una solución estructural para el cruce del cuerpo de agua la quebrada La Ensillada mediante un paso subfluvial o elevado, dependiendo de las condiciones hidráulicas, topográficas y ambientales del sitio. Esta intervención será fundamental para garantizar la continuidad de la línea de conducción y prevenir afectaciones por socavación, obstrucción o colapso estructural.

Cabe aclarar que el diseño específico de dicho cruce no se desarrolla dentro del presente documento, ya que requiere un análisis detallado de ingeniería estructural, hidráulica y geotécnica, el cual deberá abordarse en una fase posterior del proyecto, conforme a los lineamientos del la Resolución 799 del 2021, y la Norma Colombiana de Diseño de Obras Hidráulicas (NSR-10).

7.3. Distancia y cotas entre tanque y planta

La línea de conducción propuesta presenta una longitud total de 2,838.02 metros, atravesando un terreno con características topográficas variables. Se registra una diferencia de elevación entre los puntos extremos de 18.1 metros, con una cota inicial de 1311.5 m en la planta de tratamiento y una cota final de 1293.4 m en el tanque de almacenamiento. Esta variación altimétrica influye directamente en el comportamiento hidráulico del sistema, especialmente en la generación de presión disponible y en la

evaluación de pérdidas de carga a lo largo del trazado

7.4. Análisis de Alternativas

7.4.1. Alternativa 1: Sistema con tanque de compensación.

Esta opción fue analizada hidráulicamente, sin embargo, debido a la cota de elevación de los usuarios ubicados en las zonas aledañas al tanque, no se recomienda su implementación. La presión disponible en dichos puntos resulta insuficiente para garantizar el abastecimiento adecuado, lo que compromete la eficiencia y confiabilidad del sistema.

7.4.2. Alternativa 2: Suministro directo desde la planta de tratamiento

Esta alternativa presenta condiciones más favorables en términos de presión y caudal, lo que permite un abastecimiento más eficiente y confiable. Gracias a la cota en la que se encuentra ubicada la planta de tratamiento y el sistema de almacenamiento, se garantiza una presión adecuada para los usuarios, incluso aquellos situados en zonas elevadas, superando las limitaciones observadas en la alternativa con tanque de compensación.

7.5. Diseño de Almacenamiento

En el presente capítulo, se realizará el planteamiento del volumen de almacenamiento que regulará los caudales máximos solicitados por los usuarios.

En primer lugar, se presentará la localización del sistema de almacenamiento, detallando las coordenadas respecto a la planta de tratamiento; posteriormente, será la demostración del cálculo del volumen demandado para la contención de los altos consumos horarios que se presentan durante el día. Una vez determinada la evaluación del volumen de almacenamiento se determina el número de módulos que tendrá el tanque o el número de tanques requerido.

El dimensionamiento del almacenamiento se refiere a las dimensiones que tendrán cada uno de los tanques contemplados por el diseño, así como los accesorios de entrada y salida que se encargan de regular el flujo desde y hacia el sistema.

7.5.1. Localización del sistema de almacenamiento

Se evaluaron diversas alternativas para la ubicación del tanque de almacenamiento. No obstante, considerando que el predio donde se encuentra la planta de tratamiento pertenece al proyecto y que se requiere cumplir con una cota de suministro de 1295 msnm, se determina que la ubicación más adecuada para el tanque es dentro de la zona de la planta de tratamiento.

Ilustración 31. Localización del tanque de almacenamiento propuesto. Fuente: Alfa Ingenieria



7.5.2. Volumen de almacenamiento

La capacidad de regulación de los tanques de almacenamiento en sistemas de acueducto debe garantizar el equilibrio entre el caudal de entrada y el consumo durante las variaciones horarias de demanda. Esta capacidad se determina considerando el perfil de consumo diario, y se recomienda que el volumen de regulación sea equivalente a una fracción del caudal máximo horario diario, usualmente entre 1/3 y 1/2, multiplicado por 24 horas. Este volumen permite compensar las diferencias entre la oferta y la demanda, asegurando continuidad del servicio y eficiencia operativa del sistema.

Para este caso se usará 1/3 del QMD. De esta manera el nuevo tanque de almacenamiento requerido es:

$$Vol = \frac{QMD}{3}$$

$$Vol = \frac{1.36}{3} = 0.453\frac{L}{s} \cong 39.19\frac{m^3}{dia}$$

Se puede redondear al valor obtenido a 40 m^3 de capacidad requerida.

7.5.3. Numero de Tanques

Como ya se tiene un tanque con una capacidad de 20 m^3 aproximadamente, solo se requerirá complementar ese volumen faltante que es de 20 m^3. Para ello se recomienda la incorporación de un tanque en PEAD.



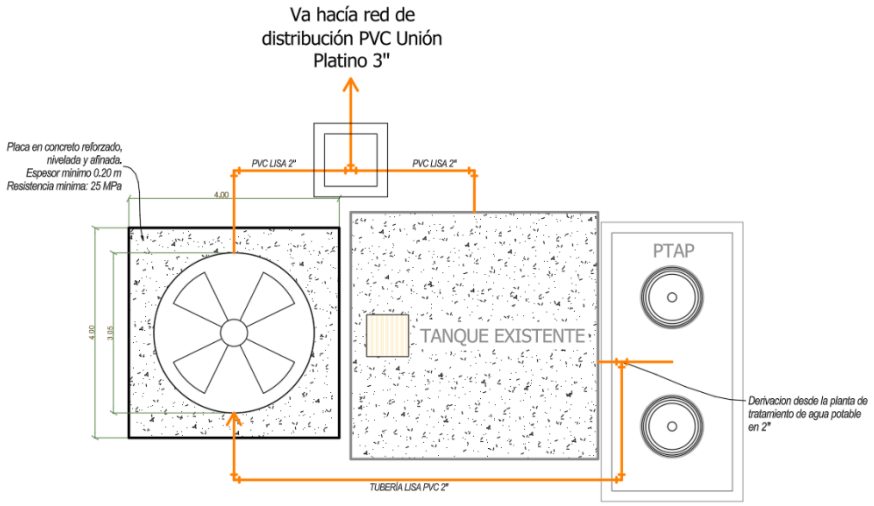
Tabla 5. Ficha técnica de tanque de almacenamiento recomendado
Fuente: COLEMPAQUES. COM

CARACTERÍSTICA	DETALLE
Capacidad volumétrica	20.000 litros
Tipo	Tanque de almacenamiento
Material	Polietileno 100% virgen con aditivo U.V.
Tecnología	Bi-capa (interior: polietileno virgen aprobado por FDA; exterior: con U.V.)
Color	Negro
Dimensiones (Diámetro x Alto)	2.95 m x 2.85 m
Incluye	Acoples, manguera, accesorios de entrada/rebose (2"), salida (3" PVC)

Recomendaciones de instalación	No instalar en superficies inclinadas o irregulares; no enterrar; usar conectores tipo 'Bulk Head'

Esta tipología de tanque se recomienda por su practicidad en aspectos como el transporte, la instalación y la operación. Sin embargo, para garantizar su correcto funcionamiento y estabilidad estructural, es indispensable construir una base rígida y nivelada que permita emplazar el tanque de forma segura, asegurando su horizontalidad y evitando esfuerzos indebidos sobre la estructura del tanque.

Ilustración 32. configuración y conexión planteada para el nuevo tanque de almacenamiento
Fuente: Alfa Ingeniería



7.6. Diseño de Distribución

El sistema de distribución del acueducto La Ensillada, ubicado en el municipio de Palmas de Socorro, está conformado por cuatro ramales principales que se encargan de transportar el caudal desde el sistema de almacenamiento hasta cada uno de los usuarios. Esta configuración permite una cobertura eficiente del área de influencia del acueducto, facilitando el suministro de agua en las distintas zonas atendidas.

7.6.1. Generalidades

El sistema está diseñado para distribuir agua directamente desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), aprovechando su ubicación en una cota elevada en 1312 msnm. Tras el análisis de las alternativas de abastecimiento, se concluyó que esta opción es la más eficiente, ya que permite garantizar presiones adecuadas para los usuarios.

Se establece así que la cota de suministro es de 1295 msnm, valor que debe considerarse como referencia técnica para la conexión de futuras viviendas. Es fundamental brindar claridad sobre este parámetro al momento de definir los puntos de conexión, con el fin de asegurar un servicio óptimo y evitar problemas de presión en nuevas incorporaciones al sistema.

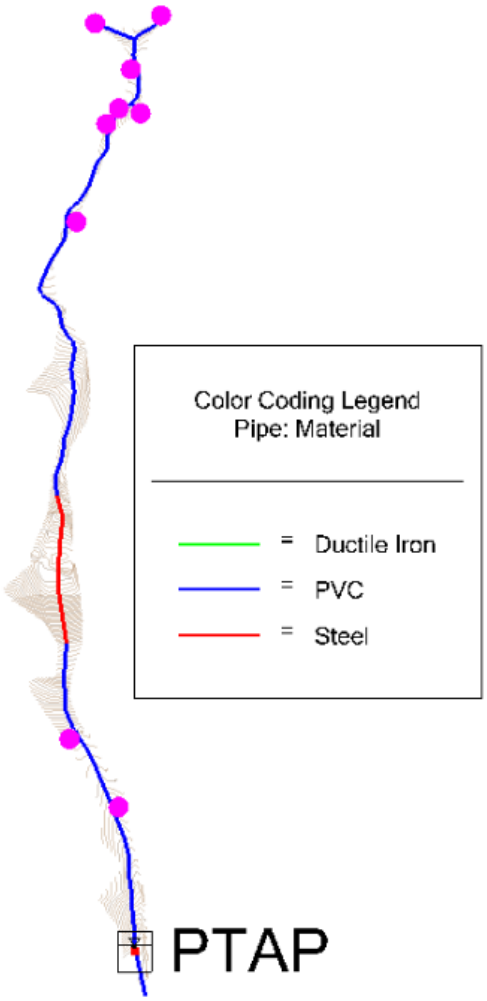
7.6.2. Materiales y Diámetro de Red

La selección del material para las redes de distribución se realiza considerando como parámetro principal la resistencia mecánica, con el objetivo de garantizar que soporte adecuadamente las presiones generadas a lo largo del trayecto hacia cada uno de los usuarios. Este criterio técnico busca minimizar riesgos de fallas estructurales, fugas o rupturas, especialmente en zonas con variaciones de presión significativas.

Adicionalmente, se evaluaron las condiciones locales de operación y mantenimiento, así como la disponibilidad de insumos y repuestos en el municipio, lo cual es fundamental para asegurar la sostenibilidad del sistema en el tiempo. La elección de materiales comunes y fácilmente accesibles en la región permite reducir los tiempos de reparación y los costos asociados a la logística de adquisición.

Desde el punto de vista económico, se realizó un análisis comparativo entre diferentes tipos de tuberías (como PVC, PEAD y hierro dúctil), considerando no solo el costo inicial de adquisición, sino también los gastos de instalación, mantenimiento y vida útil. Aunque algunos materiales presentan un costo unitario más bajo, su menor durabilidad o dificultad de mantenimiento puede incrementar los costos operativos a largo plazo. Por lo tanto, se priorizó una solución que optimice el costo-beneficio, garantizando eficiencia hidráulica, resistencia estructural y viabilidad económica para el sistema de acueducto.

Ilustración 33. Materiales propuestos en el diseño de la red hidráulica
Fuente: Alfa Ingeniería

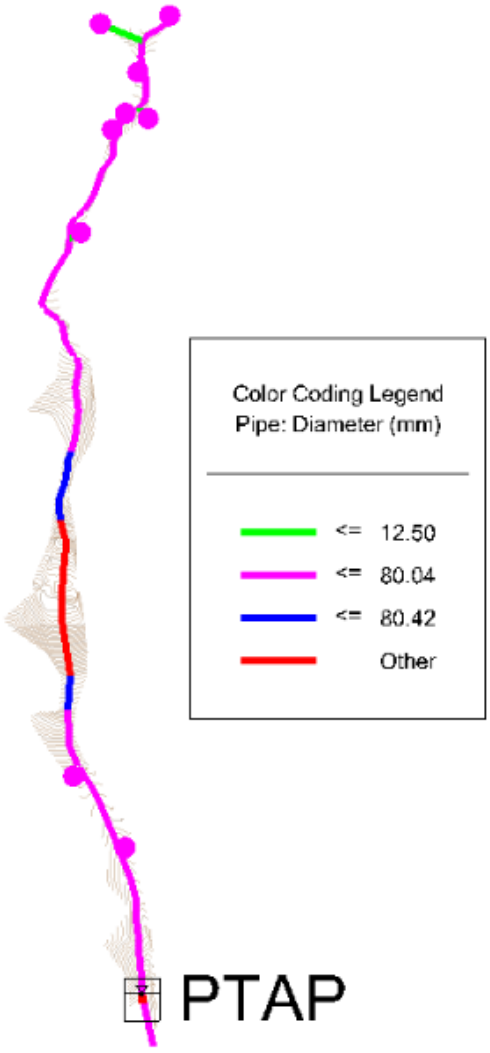


En la imagen anterior, se ilustra la distribución de materiales. En rojo se ve la incorporación de tubería de hierro. Este ultimo material, se recomienda basado en la necesidad de cruzar un rio a una altura considerable, y para efectos de resistencia a agentes externos, y al efecto de la radiación, este material presenta condiciones optimas para su implementación.

Para el resto del alineamiento, se recomienda PVC Unión Platino de 3" en gradaciones de RDE 21 y RDE 17.

El diámetro optimo, resulta del análisis del modelo hidráulico en el cual se obtiene como valor de mayor ajuste el de 3". En el modelo se incorporan diámetros comerciales para cada uno de los diámetros de las tuberías. En al siguiente ilustración se observa la distribución de diámetros.

Ilustración 34. Distribución de diámetros a lo largo del alineamiento de conducción
Fuente: Alfa Ingeniería



7.6.3. Trazado de la Red

Se adopta el trazado propuesto por la Alcaldía Municipal en conjunto con la comunidad, el cual contempla el cruce sobre el río La Ensillada. Si bien esta propuesta responde a criterios sociales y de planificación local, se recomienda evaluar alternativas de trazado que se ajusten mejor a la topografía del terreno o que sigan el corredor vial paralelo existente. Esta recomendación tiene como objetivo facilitar las labores de mantenimiento y operación del sistema, evitando la necesidad de acceder a predios privados, lo cual podría generar conflictos legales, restricciones de acceso o costos adicionales por servidumbres.

Además, un trazado más alineado con la vía pública permitiría optimizar los recursos destinados a la construcción, al reducir la complejidad técnica de las obras, minimizar el uso de estructuras especiales para el cruce del río y facilitar el transporte de materiales. En términos económicos, esta modificación podría representar una disminución significativa en los costos de instalación, mantenimiento y gestión operativa a largo plazo, contribuyendo a la sostenibilidad del sistema de acueducto.

7.6.4. Cálculo Hidráulico de la Red

En el diseño de la línea de conducción entre la PTAP y el tanque de almacenamiento, se ha previsto mayoritariamente el uso de tubería de PVC con un diámetro nominal de 3 pulgadas. Esta selección responde a criterios técnicos como la capacidad hidráulica requerida, la facilidad de instalación, la resistencia a la corrosión y la disponibilidad en el mercado. El PVC representa una solución eficiente para sistemas de conducción de agua potable en zonas rurales o semiurbanas, ofreciendo un buen desempeño frente a las condiciones operativas previstas. Además, su uso facilita las labores de mantenimiento, las cuales pueden ser ejecutadas por personal con niveles básicos de capacitación técnica.

No obstante, en un tramo específico de aproximadamente 350 metros, donde se alcanzan presiones de hasta 170 mca, se incorporará tubería de acero o hierro dúctil, con el fin de garantizar la resistencia estructural y la confiabilidad del sistema ante dichas exigencias hidráulicas.

Para el desarrollo del análisis hidráulico de la línea de conducción entre la PTAP y el tanque

de almacenamiento, se utilizó **EPANET**, un software libre de modelación hidráulica desarrollado por la **Environmental Protection Agency (EPA)** de los Estados Unidos.

Esta herramienta permite simular el comportamiento de redes de distribución de agua a presión, evaluando parámetros como pérdidas de carga, presiones en puntos críticos, velocidades de flujo y régimen hidráulico.

Entre las principales ventajas de EPANET se destacan su facilidad de uso, su capacidad para representar sistemas complejos, la posibilidad de realizar simulaciones dinámicas y su amplia aceptación en proyectos de ingeniería hidráulica a nivel internacional. El uso de esta herramienta permitió validar el diseño propuesto y anticipar condiciones operativas relevantes para el funcionamiento eficiente del sistema.

7.6.4.1. Modelo Hidráulico

Anexo al presente documento se presenta el modelo hidráulico con el análisis requerido, entre la planta de tratamiento y el tanque de almacenamiento.

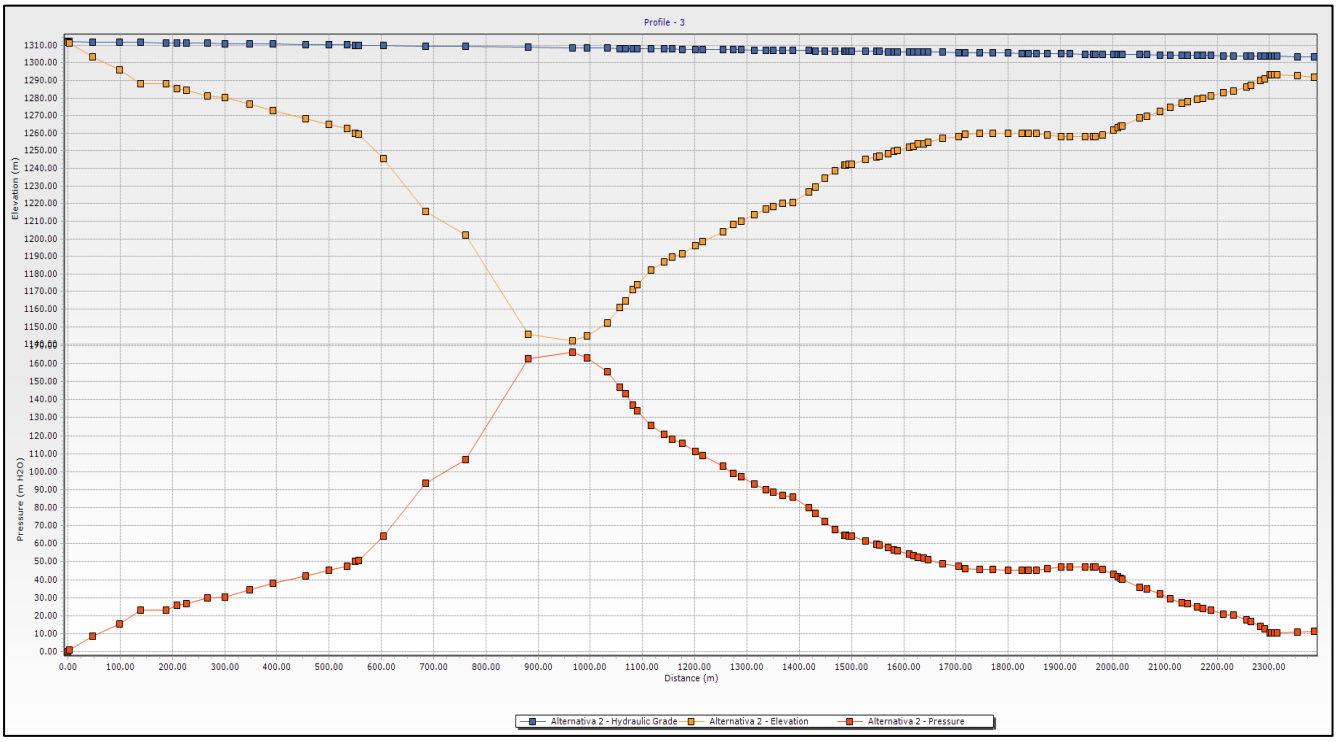
7.6.4.2. Capacidad de Línea de Conducción

La línea de conducción propuesta en tubería de PVC y acero de 3 pulgadas posee la capacidad hidráulica suficiente para transportar el caudal demandado por los usuarios, equivalente a un caudal máximo horario (QMH). Este diámetro permite mantener velocidades de flujo dentro de rangos recomendables para sistemas de agua potable, minimizando pérdidas de carga y evitando condiciones de golpe de ariete. Además, el PVC ofrece una superficie interna lisa que favorece el flujo eficiente del agua, y su resistencia a la corrosión lo convierte en una opción adecuada para garantizar la durabilidad del sistema en condiciones operativas normales.

En total la tubería es capaz de transportar un máximo de 7.11 L/s.

7.6.4.3. Presiones en Puntos Críticos

Ilustración 35. Perfil Hidráulico del sistema propuesto
Fuente: Alfa Ingeniería



En el perfil hidráulico obtenido, se identifican variaciones significativas en la presión, especialmente en los primeros 900 metros del recorrido, donde se observa un incremento desde aproximadamente 0.93 mca hasta cerca de 168.5 mca, seguido de una disminución progresiva hacia el final del tramo. Estos puntos de cambio corresponden a zonas de pendiente pronunciada y variaciones de elevación que afectan directamente el comportamiento hidráulico.

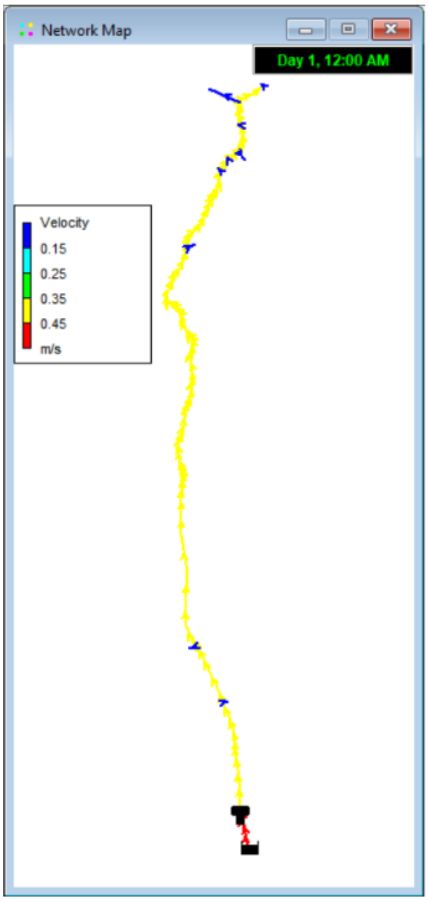
Estos resultados permiten definir la necesidad de implementar dispositivos de control como ventosas en los puntos altos y válvulas de alivio en los puntos de mayor presión, garantizando así la seguridad y eficiencia del sistema.
Con el grado de presión máxima reportado, se hace necesario considerar un trazado con menor cambio de elevación sobre todo hacia la parte de la quebrada. No obstante, si este es el único trazado posible, se recomienda implementar tuberías con un grado de

resistencia muy alto o en otro material como el metálico que inclusive puede soportar eventos como golpes de ariete.

7.6.4.4. Velocidades de Flujo

Como parte del análisis hidráulico realizado, se determinó que la velocidad del flujo en la línea de conducción es de aproximadamente 0.26 m/s. Este valor se encuentra dentro del rango recomendado para sistemas de agua potable, ya que permite un transporte eficiente del caudal sin generar condiciones de sedimentación ni pérdidas excesivas de carga. Además, esta velocidad es compatible con el diámetro de la tubería propuesta (PVC de 3"), asegurando un régimen de flujo estable y adecuado para la operación continua del sistema.

Ilustración 36. Velocidad en la linea de conducción
Fuente: Alfa Ingeniería



7.6.4.5. Golpe de ariete y medidas de mitigación

Dado que el sistema de conducción está expuesto a posibles transitorios hidráulicos, como los generados por el cierre rápido de válvulas, es fundamental implementar medidas de protección que garanticen la integridad de la tubería de PVC de 3". Estos eventos pueden provocar golpes de ariete, generando sobrepresiones que exceden la capacidad del material y comprometen la estabilidad del sistema. Para mitigar estos efectos, se recomienda la instalación de válvulas de alivio en puntos estratégicos del trazado, así como ventosas en los puntos altos para evitar la formación de vacío.

Adicionalmente, se sugiere incorporar cámaras de aire o tanques de amortiguación en zonas críticas, y establecer protocolos operativos que incluyan el cierre progresivo de válvulas y el uso de sistemas de control automatizado para evitar maniobras bruscas.

7.6.4.5.1. Estaciones De Ventosa

Ilustración 37. localización de las estaciones de ventosa



Tabla 6. Localización de las estaciones de ventosa

DATOS DE LA RED					
Nodo	**Coord - X (m)**	**Coord - Y (m)**	**Elevación (m)**	**Abscisa (m)**	**Diámetro (mm)**
AV-01	688417.91	703734.07	1288.01	K0+037.7	25.00
AV-02	688269.70	705255.46	1260.00	K1+800.0	25.00
AV-03	688433.85	705700.49	1293.29	K2+303.3	25.00

Estaciones De Purga

Ilustración 38. Localización de la purga del sistema

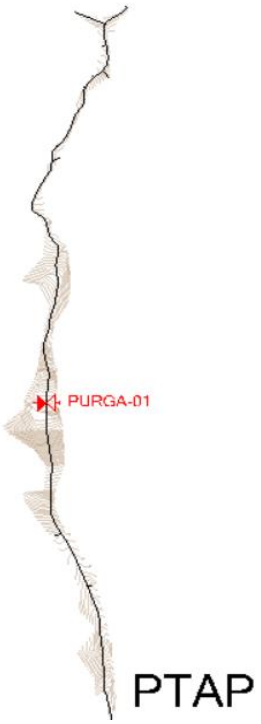


Tabla 6. Localización de las estaciones de ventosa

DATOS DE LA RED					
Nodo	**Coord - X (m)**	**Coord - Y (m)**	**Elevación (m)**	**Abscisa (m)**	**Diámetro (mm)**
PURGA-01	688253.56	704477.01	1142.00	K0+037.7	50.00

Se adjuntan acontinuacion tablas de resultados obtenidos en la modelacion Hidraulica, los acuales también están en el modelo y en Excel.

RESULTADOS HIDRAULICOS – POR TRAMOS

DATOS DE LA RED						RESULTADOS			
TRAMO	**Nodo Inicial**	**Nodo Final**	**Longitud (m)**	**Diámetro (mm)**	**Material**	**Caudal (L/s)**	**Velocidad (m/s)**	**Gradiente de pérdidas en el tubo (m/m)**	**Presion Al Final Del Tramo (mca)**
T-001	N-003	N-004	2.81	82.04	PVC	1.270	0.2400	0.001	16.100
T-002	N-005	N-006	3.38	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	68.090
T-003	N-007	N-008	3.67	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	45.400
T-004	N-009	N-010	4.31	82.04	PVC	1.270	0.2400	0.001	16.200
T-005	N-011	N-012	4.53	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	63.120
T-006	N-013	N-014	4.56	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	51.660
T-007	N-006	N-015	4.73	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	67.870
T-008	N-016	N-007	5.05	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	45.730
T-009	N-015	N-017	6.00	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	67.840
T-010	N-018	N-019	6.07	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	52.060
T-011	N-004	N-009	6.48	82.04	PVC	1.270	0.2400	0.001	16.270
T-012	N-021	N-022	7.14	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	59.830
T-013	N-023	N-024	7.72	75.74	PVC	1.340	0.3000	0.002	136.450
T-014	N-025	N-026	7.99	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	57.330
T-015	N-027	N-028	8.58	82.04	PVC	1.280	0.2400	0.001	22.390
T-016	N-029	N-030	8.78	82.04	PVC	1.280	0.2400	0.001	18.390
T-017	N-031	N-016	9.15	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	46.470
T-018	N-026	N-032	9.39	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	56.220
T-019	N-030	N-003	9.42	82.04	PVC	1.280	0.2400	0.001	16.270
T-020	N-032	N-020	10.90	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	55.890
T-021	N-033	N-034	11.10	75.74	PVC	1.340	0.3000	0.002	145.770
T-022	N-035	N-036	11.17	82.04	PVC	1.310	0.2500	0.001	31.750
T-023	N-037	N-038	11.58	82.04	PVC	1.290	0.2400	0.001	29.490
T-024	N-039	N-021	11.78	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	60.440
T-025	N-040	N-041	12.25	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	50.310
T-026	N-042	N-043	12.36	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	49.790
T-027	N-044	N-045	12.68	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	80.540
T-028	N-046	N-047	12.78	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	39.840
T-029	N-048	N-049	13.88	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	91.890
T-030	N-050	N-051	14.37	80.42	PVC	1.340	0.2600	0.001	111.950

DATOS DE LA RED						RESULTADOS			
TRAMO	**Nodo Inicial**	**Nodo Final**	**Longitud (m)**	**Diámetro (mm)**	**Material**	**Caudal (L/s)**	**Velocidad (m/s)**	**Gradiente de pérdidas en el tubo (m/m)**	**Presion Al Final Del Tramo (mca)**
T-031	N-038	N-052	14.40	82.04	PVC	1.290	0.2400	0.001	28.250
T-032	N-043	N-053	14.47	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	49.780
T-033	N-014	N-054	14.71	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	50.450
T-034	N-034	N-023	14.81	75.74	PVC	1.340	0.3000	0.002	139.450
T-035	N-055	N-013	14.97	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	51.660
T-036	N-056	N-018	15.07	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	51.470
T-037	N-057	N-058	15.44	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	100.240
T-038	N-059	N-060	16.51	80.42	PVC	1.340	0.2600	0.001	120.780
T-039	N-061	N-062	16.84	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	51.710
T-040	N-012	N-039	16.93	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	61.620
T-041	N-036	N-037	17.48	82.04	PVC	1.290	0.2400	0.001	30.340
T-042	N-045	N-063	17.62	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	75.830
T-043	N-064	N-065	18.03	82.04	PVC	1.360	0.2600	0.001	27.130
T-044	N-028	N-029	18.19	82.04	PVC	1.280	0.2400	0.001	19.680
T-045	N-066	N-005	18.34	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	68.290
T-046	N-049	N-067	18.53	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	89.910
T-047	N-067	N-068	18.75	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	89.450
T-048	N-060	N-069	18.87	80.42	PVC	1.340	0.2600	0.001	118.670
T-049	N-063	N-066	19.13	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	71.560
T-050	N-070	N-071	19.30	82.04	PVC	1.290	0.2400	0.001	25.670
T-051	N-072	N-073	19.38	82.04	PVC	1.320	0.2500	0.001	34.630
T-052	N-074	N-057	19.47	80.42	PVC	1.340	0.2600	0.001	102.110
T-053	N-054	N-031	19.68	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	48.030
T-054	N-075	N-064	20.48	82.04	PVC	1.360	0.2600	0.001	26.370
T-055	N-076	N-011	21.20	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	63.390
T-056	N-053	N-077	21.43	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	50.610
T-057	N-022	N-025	21.50	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	58.190
T-058	N-078	N-048	22.82	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	93.100
T-059	N-073	N-035	22.91	82.04	PVC	1.310	0.2500	0.001	32.430
T-060	N-079	N-033	23.08	75.74	PVC	1.340	0.3000	0.002	149.600
T-061	N-052	N-070	24.30	82.04	PVC	1.290	0.2400	0.001	26.400

DATOS DE LA RED						RESULTADOS			
TRAMO	**Nodo Inicial**	**Nodo Final**	**Longitud (m)**	**Diámetro (mm)**	**Material**	**Caudal (L/s)**	**Velocidad (m/s)**	**Gradiente de pérdidas en el tubo (m/m)**	**Presion Al Final Del Tramo (mca)**
T-062	N-069	N-050	24.40	80.42	PVC	1.340	0.2600	0.001	114.200
T-063	N-058	N-078	24.47	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	96.500
T-064	N-071	N-027	24.58	82.04	PVC	1.280	0.2400	0.001	23.060
T-065	N-080	N-059	24.91	80.42	PVC	1.340	0.2600	0.001	123.670
T-066	N-047	N-072	25.40	82.04	PVC	1.320	0.2500	0.001	37.070
T-067	N-081	N-082	25.76	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	49.860
T-068	N-024	N-080	26.27	75.74	PVC	1.340	0.3000	0.002	128.400
T-069	N-017	N-076	26.59	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	65.170
T-070	N-077	N-061	26.66	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	51.720
T-071	N-083	N-042	26.77	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	49.780
T-072	N-002	N-084	27.55	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	52.900
T-073	N-041	N-081	27.80	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	49.890
T-074	N-085	N-086	28.16	75.74	PVC	1.340	0.3000	0.002	165.790
T-075	N-062	N-055	28.69	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	51.680
T-076	N-082	N-083	28.81	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	49.830
T-077	N-068	N-044	31.36	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	83.420
T-078	N-084	N-040	31.46	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	51.720
T-079	N-087	N-088	32.02	82.04	PVC	1.270	0.2400	0.001	17.310
T-080	N-089	N-090	32.98	82.04	PVC	1.360	0.2600	0.001	31.230
T-081	N-008	N-046	33.37	82.04	PVC	1.330	0.2500	0.001	40.680
T-082	N-091	N-056	35.61	82.04	PVC	1.350	0.2600	0.001	48.650
T-083	N-086	N-079	38.68	75.74	PVC	1.340	0.3000	0.002	158.140
T-084	N-051	N-074	39.05	80.42	PVC	1.340	0.2600	0.001	106.310
T-085	N-010	N-087	39.54	82.04	PVC	1.270	0.2400	0.001	16.780
T-086	N-092	N-093	40.01	82.04	PVC	1.360	0.2600	0.001	23.470
T-087	N-065	N-089	41.14	82.04	PVC	1.360	0.2600	0.001	30.540
T-088	N-094	N-091	44.63	82.04	PVC	1.350	0.2600	0.001	46.570
T-089	N-096	N-097	45.20	82.04	PVC	1.350	0.2600	0.001	38.840
T-090	N-090	N-096	47.57	82.04	PVC	1.360	0.2600	0.001	35.130
T-091	N-019	N-098	48.13	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	65.870
T-092	N-093	N-075	48.53	82.04	PVC	1.360	0.2600	0.001	23.740

DATOS DE LA RED						RESULTADOS			
TRAMO	**Nodo Inicial**	**Nodo Final**	**Longitud (m)**	**Diámetro (mm)**	**Material**	**Caudal (L/s)**	**Velocidad (m/s)**	**Gradiente de pérdidas en el tubo (m/m)**	**Presion Al Final Del Tramo (mca)**
T-093	N-095	N-092	51.73	82.04	PVC	1.360	0.2600	0.001	15.690
T-094	N-097	N-094	61.58	82.04	PVC	1.350	0.2600	0.001	43.120
T-095	N-099	N-100	77.11	80.42	PVC	1.340	0.2600	0.001	108.830
T-096	N-098	N-099	80.34	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	95.360
T-097	N-101	N-085	85.12	75.74	PVC	1.340	0.3000	0.002	168.550
T-098	N-100	N-101	119.23	75.74	PVC	1.340	0.3000	0.001	164.970
T-099	N-001	N-095	44.79	82.04	PVC	1.360	0.2600	0.001	8.770
T-100	N-020	N-002	7.69	82.04	PVC	1.340	0.2500	0.001	55.140
AD-001	NAD-004	R-1	25.83	40.00	PVC	2.460	1.9600	0.094	0.000
AD-002	NAD-001	NAD-002	25.83	40.00	PVC	2.460	1.9600	0.094	4.160
AD-003	NAD-002	NAD-003	25.83	40.00	PVC	2.460	1.9600	0.094	7.650
AD-004	NAD-003	NAD-004	25.83	40.00	PVC	2.460	1.9600	0.094	9.990
P-3	NAD-001	PTAP	4.92	40.00	PVC	2.460	1.9600	0.097	0.500
P-4	PTAP	N-001	2.65	82.04	PVC	1.360	0.2600	0.001	0.930
P-7	N-003	U9- Gustavo Gonzales	102.01	18.18	PVC	0.010	0.0400	0.000	11.360
P-8	N-088	U8 - Omar Salazar	8.71	18.18	PVC	0.010	0.0400	0.000	19.300
P-9	N-071	U7 - David Salazar	13.79	18.18	PVC	0.010	0.0400	0.000	27.110
P-10	N-036	U6 - Ana Martinez	31.60	18.18	PVC	0.010	0.0400	0.000	45.470
P-11	N-073	U5 - Rodrigo Tarazona	9.98	18.18	PVC	0.010	0.0400	0.000	35.140
P-12	N-047	U4 - Teobaldo Tarazona	9.91	18.18	PVC	0.010	0.0400	0.000	39.570
P-13	N-083	U3 - Mercedes Salazar	27.83	18.18	PVC	0.010	0.0400	0.000	46.570
P-14	N-056	U2 - Jose Rugeles	21.61	18.18	PVC	0.010	0.0400	0.000	47.910
P-15	N-096	U1 - Maria Azucena Diaz	14.41	18.18	PVC	0.010	0.0400	0.000	35.330

RESULTADOS HIDRÁULICOS – POR NODOS

DATOS DE LA RED					RESULTADOS	
Nodo	**Coord - X (m)**	**Coord - Y (m)**	**Elevación (m)**	**Demanda (L/s)**	**Presión (m H2O)**	**Gradiente Hidráulico (m)**
N-001	688 431.43	703 549.73	1 311.06	0.000	0.93	1312.00
N-002	688 208.84	705 116.45	1 254.84	0.000	55.14	1310.09
N-003	688 432.62	705 697.96	1 293.12	0.000	16.27	1309.43
N-004	688 433.85	705 700.49	1 293.29	0.000	16.10	1309.42
N-005	688 286.50	704 987.35	1 241.83	0.000	68.29	1310.26
N-006	688 283.76	704 989.34	1 242.03	0.000	68.09	1310.25
N-007	688 366.27	705 441.72	1 263.88	0.000	45.73	1309.71
N-008	688 366.81	705 445.35	1 264.21	0.000	45.40	1309.71
N-009	688 437.12	705 706.08	1 293.12	0.000	16.27	1309.42
N-010	688 440.70	705 708.48	1 293.18	0.000	16.20	1309.41
N-011	688 256.89	705 039.58	1 246.68	0.000	63.39	1310.19
N-012	688 256.07	705 044.04	1 246.95	0.000	63.12	1310.19
N-013	688 338.90	705 396.61	1 258.00	0.000	51.66	1309.77
N-014	688 340.43	705 400.91	1 258.00	0.000	51.66	1309.76
N-015	688 279.69	704 991.75	1 242.24	0.000	67.87	1310.25
N-016	688 364.30	705 437.08	1 263.15	0.000	46.47	1309.72
N-017	688 275.64	704 996.18	1 242.26	0.000	67.84	1310.24
N-018	688 292.91	704 069.77	1 259.84	0.000	51.47	1311.42
N-019	688 287.56	704 072.64	1 259.25	0.000	52.06	1311.41
N-020	688 208.09	705 108.80	1 254.10	0.000	55.89	1310.10
N-021	688 247.71	705 071.26	1 249.60	0.000	60.44	1310.16
N-022	688 242.59	705 076.23	1 250.20	0.000	59.83	1310.15
N-023	688 256.90	704 591.83	1 170.98	0.000	139.45	1310.71
N-024	688 254.79	704 599.25	1 173.98	0.000	136.45	1310.70
N-025	688 224.34	705 087.59	1 251.82	0.000	58.19	1310.13
N-026	688 217.79	705 092.17	1 252.68	0.000	57.33	1310.12
N-027	688 431.04	705 653.46	1 286.36	0.000	23.06	1309.47
N-028	688 429.09	705 661.81	1 287.03	0.000	22.39	1309.46
N-029	688 430.63	705 679.93	1 289.73	0.000	19.68	1309.44
N-030	688 430.82	705 688.71	1 291.01	0.000	18.39	1309.44
N-031	688 359.98	705 429.01	1 261.60	0.000	48.03	1309.72
N-032	688 210.59	705 098.19	1 253.77	0.000	56.22	1310.11

DATOS DE LA RED					RESULTADOS	
Nodo	**Coord - X (m)**	**Coord - Y (m)**	**Elevación (m)**	**Demanda (L/s)**	**Presión (m H2O)**	**Gradiente Hidráulico (m)**
N-033	688 262.07	704 566.47	1 160.85	0.000	149.60	1310.75
N-034	688 260.51	704 577.47	1 164.67	0.000	145.77	1310.73
N-035	688 416.99	705 539.75	1 277.10	0.000	32.43	1309.59
N-036	688 424.68	705 547.85	1 277.77	0.000	31.75	1309.58
N-037	688 436.04	705 561.13	1 279.17	0.000	30.34	1309.56
N-038	688 440.10	705 571.97	1 280.00	0.000	29.49	1309.55
N-039	688 252.84	705 060.66	1 248.42	0.000	61.62	1310.17
N-040	688 231.58	705 170.84	1 258.20	0.000	51.72	1310.03
N-041	688 237.15	705 181.75	1 259.60	0.000	50.31	1310.02
N-042	688 270.94	705 282.20	1 260.02	0.000	49.78	1309.90
N-043	688 276.19	705 293.38	1 260.00	0.000	49.79	1309.89
N-044	688 281.56	704 920.61	1 226.74	0.000	83.42	1310.33
N-045	688 283.80	704 933.08	1 229.61	0.000	80.54	1310.32
N-046	688 368.96	705 478.66	1 268.91	0.000	40.68	1309.67
N-047	688 371.20	705 491.24	1 269.74	0.000	39.84	1309.66
N-048	688 285.63	704 838.92	1 217.13	0.000	93.10	1310.41
N-049	688 288.25	704 852.56	1 218.33	0.000	91.89	1310.40
N-050	688 258.66	704 706.63	1 196.13	0.000	114.20	1310.56
N-051	688 262.07	704 720.59	1 198.37	0.000	111.95	1310.55
N-052	688 441.41	705 586.31	1 281.23	0.000	28.25	1309.54
N-053	688 285.63	705 304.35	1 260.00	0.000	49.78	1309.88
N-054	688 347.42	705 413.85	1 259.20	0.000	50.45	1309.74
N-055	688 334.16	705 382.40	1 258.00	0.000	51.68	1309.78
N-056	688 298.71	704 055.86	1 262.69	0.000	48.65	1311.43
N-057	688 273.13	704 777.56	1 208.16	0.000	102.11	1310.48
N-058	688 277.68	704 792.32	1 210.02	0.000	100.24	1310.46
N-059	688 245.50	704 649.44	1 186.71	0.000	123.67	1310.63
N-060	688 244.06	704 665.89	1 189.59	0.000	120.78	1310.61
N-061	688 316.36	705 340.70	1 258.00	0.000	51.72	1309.83
N-062	688 324.78	705 355.29	1 258.00	0.000	51.71	1309.81
N-063	688 287.64	704 950.28	1 234.32	0.000	75.83	1310.30
N-064	688 416.82	703 754.52	1 285.36	0.000	26.37	1311.78
N-065	688 417.80	703 772.52	1 284.58	0.000	27.13	1311.76

DATOS DE LA RED					RESULTADOS	
Nodo	**Coord - X (m)**	**Coord - Y (m)**	**Elevación (m)**	**Demanda (L/s)**	**Presión (m H2O)**	**Gradiente Hidráulico (m)**
N-066	688 289.72	704 969.29	1 238.57	0.000	71.56	1310.28
N-067	688 289.08	704 871.07	1 220.29	0.000	89.91	1310.38
N-068	688 286.23	704 889.60	1 220.73	0.000	89.45	1310.36
N-069	688 250.11	704 683.77	1 191.68	0.000	118.67	1310.59
N-070	688 440.43	705 610.59	1 283.06	0.000	26.40	1309.51
N-071	688 436.42	705 629.47	1 283.77	0.000	25.67	1309.49
N-072	688 384.52	705 512.87	1 272.49	0.000	37.07	1309.63
N-073	688 398.27	705 526.53	1 274.91	0.000	34.63	1309.61
N-074	688 266.01	704 759.44	1 203.98	0.000	106.31	1310.50
N-075	688 417.91	703 734.07	1 288.01	0.000	23.74	1311.80
N-076	688 262.02	705 019.01	1 244.91	0.000	65.17	1310.22
N-077	688 301.90	705 318.29	1 259.14	0.000	50.61	1309.85
N-078	688 282.39	704 816.33	1 213.75	0.000	96.50	1310.44
N-079	688 258.93	704 543.61	1 152.33	0.000	158.14	1310.79
N-080	688 248.12	704 624.67	1 182.00	0.000	128.40	1310.66
N-081	688 252.24	705 205.10	1 260.00	0.000	49.89	1309.99
N-082	688 265.96	705 226.90	1 260.00	0.000	49.86	1309.96
N-083	688 269.70	705 255.46	1 260.00	0.000	49.83	1309.93
N-084	688 218.31	705 142.32	1 257.05	0.000	52.90	1310.06
N-085	688 253.36	704 477.01	1 142.00	0.000	168.55	1310.89
N-086	688 255.12	704 505.12	1 144.72	0.000	165.79	1310.84
N-087	688 474.98	705 728.19	1 292.56	0.000	16.78	1309.38
N-088	688 499.80	705 748.41	1 292.00	1.260	17.31	1309.35
N-089	688 408.50	703 812.59	1 281.11	0.000	30.54	1311.72
N-090	688 396.07	703 843.14	1 280.39	0.000	31.23	1311.68
N-091	688 318.60	704 026.32	1 264.81	0.000	46.57	1311.47
N-092	688 425.91	703 645.96	1 296.17	0.000	15.69	1311.89
N-093	688 424.13	703 685.94	1 288.33	0.000	23.47	1311.85
N-094	688 338.11	703 986.18	1 268.31	0.000	43.12	1311.52
N-095	688 431.46	703 594.53	1 303.16	0.000	8.77	1311.95
N-096	688 379.33	703 887.67	1 276.43	0.000	35.13	1311.63
N-097	688 362.07	703 929.45	1 272.66	0.000	38.84	1311.58
N-098	688 268.57	704 116.86	1 245.36	0.000	65.87	1311.36

DATOS DE LA RED					RESULTADOS	
Nodo	**Coord - X (m)**	**Coord - Y (m)**	**Elevación (m)**	**Demanda (L/s)**	**Presión (m H2O)**	**Gradiente Hidráulico (m)**
N-099	688 265.04	704 197.12	1 215.72	0.000	95.36	1311.28
N-100	688 270.98	704 274.01	1 202.14	0.000	108.83	1311.19
N-101	688 253.11	704 391.89	1 145.71	0.000	164.97	1311.01
NAD-001	688 435.10	703 543.88	1 311.40	0.000	1.07	1312.48
NAD-002	688 440.59	703 518.64	1 310.72	0.000	4.16	1314.89
NAD-003	688 446.07	703 493.39	1 309.64	0.000	7.65	1317.31
NAD-004	688 451.55	703 468.15	1 309.73	0.000	9.99	1319.73
U1 - Maria Azucena Diaz	688 393.71	703 888.54	1 276.23	0.010	35.33	1311.62
U2 - Jose Rugeles	688 278.22	704 049.00	1 263.42	0.010	47.91	1311.43
U3 - Mercedes Salazar	688 294.38	705 268.32	1 263.25	0.010	46.57	1309.92
U4 - Teobaldo Tarazona	688 365.07	705 499.03	1 270.00	0.010	39.57	1309.65
U5 - Rodrigo Tarazona	688 394.48	705 535.77	1 274.40	0.010	35.14	1309.61
U6 - Ana Martinez	688 445.70	705 524.25	1 264.00	0.010	45.47	1309.57
U7 - David Salazar	688 422.74	705 627.79	1 282.32	0.010	27.11	1309.49
U8 - Omar Salazar	688 493.93	705 754.84	1 290.00	0.010	19.30	1309.34
U9- Gustavo Gonzales	688 338.18	705 736.54	1 298.00	0.010	11.36	1309.38

7.7. Conclusiones Generales del diseño

- Viabilidad hidráulica: El análisis realizado confirma que la línea de conducción propuesta en tubería de PVC de 3 pulgadas es adecuada para transportar el caudal requerido por los usuarios, equivalente a un caudal promedio de 1.05 L/s. La velocidad del flujo, estimada en 0.26 m/s, se encuentra dentro de los rangos recomendados para sistemas de agua potable, garantizando eficiencia y estabilidad en la operación.

- Condiciones topográficas: El trazado atraviesa un terreno con configuración en "V", producto de la formación de un cañón por donde circula la quebrada La Ensillada. La longitud total del trazado es de 2,838.02 metros, con una diferencia de elevación entre los extremos de 18.1 metros, lo cual influye directamente en el comportamiento hidráulico del sistema.

- Análisis de presiones: Se identificaron puntos críticos en el perfil hidráulico, con presiones que varían entre 2.04 mca y 10.20 mca. Estas variaciones requieren la implementación de dispositivos de control como ventosas en puntos altos y válvulas de alivio en zonas de mayor presión, para evitar daños por golpe de ariete y garantizar la seguridad del sistema. Todos los usuarios contarían eventualmente con el servicio de agua, sin embargo, se debe considerar que algunos se encuentran localizados sobre la cota de suministro por lo que pueden presentar problemas de presión.

- Herramienta de modelación: El uso de EPANET, software libre desarrollado por la EPA, permitió simular con precisión el comportamiento hidráulico de la conducción. Su facilidad de uso, capacidad de análisis dinámico y aceptación en el ámbito técnico lo convierten en una herramienta confiable para este tipo de estudios.

7.8. Recomendaciones Técnicas

- Se sugiere complementar el diseño con medidas de protección ante transitorios hidráulicos, como cámaras de aire y protocolos de operación que eviten cierres bruscos de válvulas. Estas acciones contribuirán a prolongar la vida útil del sistema y reducir riesgos operativos.

- Evaluación de materiales alternativos: En sectores donde se registran presiones superiores a las toleradas por el PVC clase 10 o 13.5, se sugiere considerar el uso de PVC clase 16, hierro dúctil o acero galvanizado, materiales con mayor resistencia mecánica frente a sobrepresiones y golpes de ariete.

- Optimización del trazado: Se recomienda revisar la posibilidad de ajustar el alineamiento en zonas de alta pendiente o depresión topográfica, especialmente en el sector de la quebrada, con el fin de reducir variaciones extremas de presión y facilitar la instalación de dispositivos de control.

- Coordinación interdisciplinaria: El diseño hidráulico debe ser complementado con estudios estructurales, geotécnicos y ambientales, que permitan validar la viabilidad constructiva del sistema y garantizar su integración con el entorno físico y social.

- Dado que la capacidad hidráulica del tanque de almacenamiento existente es de 20 m³ y resulta insuficiente para abastecer a todos los usuarios conectados actualmente a la PTAP, se recomienda instalar un tanque adicional en serie con el existente. Esta intervención debe realizarse antes de la construcción del nuevo tramo de red, con el fin de garantizar continuidad y cobertura en el suministro.

- Se recomienda realizar una optimización integral del sistema de tratamiento, ya que el sistema actual presenta deficiencias operativas atribuibles a la falta de mantenimiento preventivo y correctivo. Esta mejora permitirá aumentar la eficiencia del proceso, garantizar la calidad del agua tratada y reducir riesgos operacionales.

SISTEMA DE ACUEDUCTO VEREDAL MONTEBRUJAS

8. DIAGNOSTICO TECNICO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES ACUEDUCTO MONTE BRUJAS

Con el propósito de evaluar las condiciones actuales del sistema de abastecimiento de agua de la vereda Pavasalto, se realizó una visita técnica en campo que permitió identificar deficiencias en infraestructura, operación y calidad del agua. Este informe presenta los hallazgos observados, los riesgos asociados y las recomendaciones técnicas necesarias para mejorar el servicio, proteger la salud pública y cumplir con la normativa vigente.

8.1. Bocatoma

Ilustración 39. Bocatoma Acueducto Montebrujas
Fuente: Alfa Ingeniería



La bocatoma del sistema está conformada por una estructura en concreto con rejilla metálica para la captación superficial del caudal. Durante la visita técnica se evidenció colmatación total de la rejilla debido a la acumulación de sedimentos, materia orgánica y óxidos, lo cual obstruye el flujo normal hacia la línea de conducción.

El punto de captación presenta acumulación de vegetación y residuos, reflejando ausencia de mantenimiento preventivo. Actualmente, la captación se realiza mediante una manguera improvisada, lo que compromete la eficiencia hidráulica y la calidad del agua

suministrada.

8.1.1. Recomendaciones técnicas:

- Realizar limpieza inmediata del área de captación y retiro de sedimentos acumulados.
- Sustituir la rejilla metálica por una en acero galvanizado o inoxidable, resistente a la corrosión.
- Implementar un sistema de desarenado previo con canal de acceso protegido para facilitar el mantenimiento.
- Construir cerramiento perimetral con señalización sanitaria conforme a la normatividad vigente.

8.2. Cajas de Sedimentación – Pretratamiento

Las estructuras de concreto destinadas al pretratamiento presentan colmatación parcial por sedimentos finos y proliferación de algas. El agua muestra alta turbidez y coloración oscura, lo que indica deficiencias en los procesos de sedimentación y filtración. Se observó ausencia de tapas herméticas, lo que permite el ingreso de residuos vegetales, insectos y otros contaminantes.

Además, no se cuenta con drenaje perimetral ni cercado sanitario, exponiendo el sistema a contaminación externa.

Ilustración 40. Cajas sedimentadoras
Fuente: Alfa Ingeniería



8.2.1. Recomendaciones técnicas:

- Ejecutar limpieza integral de los tanques y remoción de sedimentos acumulados.
- Instalar tapas herméticas con rejillas de ventilación para evitar ingreso de contaminantes.
- Aplicar impermeabilización interna con pintura epóxica sanitaria, resistente a la humedad y al crecimiento microbiológico.
- Construir drenaje perimetral y cerramiento sanitario para mitigar riesgos de contaminación.

8.3 Tanque de Almacenamiento y Distribución

El tanque principal de almacenamiento, construido en concreto reforzado, abastece a 22 usuarios, incluyendo la Escuela Rural Pavasalto (15 niños, 1 docente y 1 manipuladora de alimentos).

Sus dimensiones son: Largo 4,00 m, Ancho 3,10 m, Profundidad 1,40 m. Durante la inspección se observó turbidez y coloración del agua, además de la ausencia de un sistema de desinfección. Esto representa un riesgo sanitario elevado, especialmente para la población escolar.

8.3.1. Recomendaciones técnicas:

- Realizar limpieza y desinfección semestral del tanque, conforme a lo establecido en la Resolución 2115 de 2007.
- Instalar tapa hermética con respiradero protegido para evitar ingreso de vectores y contaminantes.
- Señalizar el área como zona sanitaria restringida.
- Diseñar e implementar un sistema de tratamiento compacto que incluya desarenador, filtro lento y clorador en línea.

8.4. Caseta de Bombeo

La caseta de bombeo presenta deterioro estructural y eléctrico. Se evidenció cableado expuesto, uniones aisladas con cinta plástica y relevadores en mal estado. El equipo de bombeo es un motor vertical tipo sumergible, instalado sin protección contra humedad ni sobrecarga. El sistema opera solo 12 horas al día, lo que limita la continuidad del servicio.

Ilustración 41. Caseta de Bombeo.
Fuente: Alfa Ingenieria

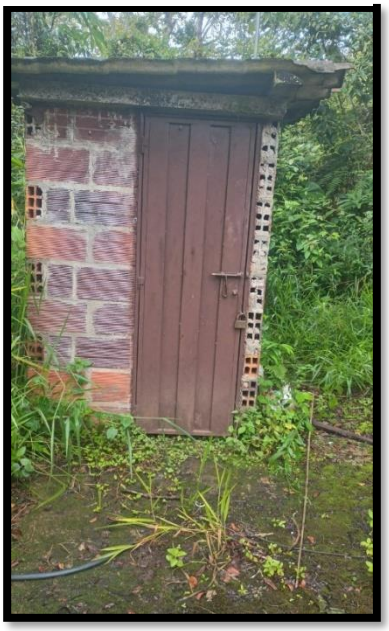


Ilustración 42. Sistema Eléctrico de la bomba
Fuente Alfa Ingeniería



8.4.1. Recomendaciones técnicas:

- Rediseñar e instalar el sistema eléctrico conforme al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).
- Sustituir bomba y motor por equipos certificados con protección IP adecuada.
- Impermeabilizar piso y paredes de la caseta para evitar filtraciones y daños estructurales.
- Instalar tablero de control con protección térmica, diferencial y sistema de puesta a tierra.

8.5. Riesgos Identificados

Tabla 16. Riesgos en sistema de acueducto Montebrujas
Fuente: Alfa Ingeniería

Tipo de Riesgo		Descripción	Nivel de Riesgo
Sanitario		Agua sin tratamiento, turbidez elevada y posible contaminación microbiológica	Alto
Eléctrico		Cableado expuesto y equipos deteriorados	Alto
Operativo		Captación improvisada y mantenimiento insuficiente	Medio
Estructural		Desgaste de concreto y oxidación de componentes metálicos	Medio
Educativo		Suministro restringido en la escuela rural	Alto

8.6. Recomendaciones Generales

- Implementar un plan de mantenimiento preventivo mensual, incluyendo limpieza, inspección y ajustes operativos.
- Diseñar y construir un sistema de tratamiento compacto (desarenador – filtro lento – clorador) conforme a la Resolución 799 del 2021,
- Renovar completamente la instalación eléctrica de la caseta de bombeo conforme al RETIE.
- Realizar análisis físico-químicos y microbiológicos del agua cada trimestre, según lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007.
- Mejorar la infraestructura de la caseta, incluyendo ventilación cruzada y protección contra humedad.
- Capacitar a la comunidad en operación básica del sistema, mantenimiento preventivo y cloración domiciliaria segura.

9. CONCLUSIONES GENERALES

Los tres sistemas de abastecimiento de agua evaluados presentan deficiencias estructurales, operativas y sanitarias que comprometen la calidad del agua suministrada y la continuidad del servicio. A continuación se resumen los principales hallazgos por sistema:

- Pozo Azul: El sistema de tratamiento existente no cumple con los requisitos técnicos ni normativos. Las unidades de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y almacenamiento presentan deterioro, modificaciones no funcionales y ausencia de control operativo, lo que impide una potabilización efectiva del agua cruda.
- La Ensillada: El diseño hidráulico de la línea de conducción proyectada demuestra viabilidad técnica para transportar el caudal requerido (0.71 L/s), con velocidades y presiones dentro de los rangos establecidos por la Resolución 799 del 2021,. Sin embargo, se identifican zonas críticas por sobrepresión y configuración topográfica que requieren dispositivos de control hidráulico y ajustes en el trazado.
- Monte Brujas: El sistema presenta una infraestructura improvisada, ausencia de tratamiento efectivo y deficiencias en la caseta de bombeo. La calidad del agua distribuida no está garantizada y se identifican riesgos sanitarios y eléctricos relevantes.

En conjunto, los tres sistemas requieren intervenciones técnicas integrales que aborden tanto el rediseño de los trenes de tratamiento como la optimización de las líneas de conducción, el fortalecimiento de la infraestructura eléctrica y la capacitación comunitaria.

10. RECOMENDACIONES GENERALES

- Diseño de trenes de tratamiento: Implementar sistemas compactos adaptados a cada caudal, con unidades independientes y funcionales para coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, conforme al la Resolución 799 del 2021, y la Resolución 2115 de 2007.
- Protección hidráulica: Incorporar ventosas, válvulas de alivio y cámaras de amortiguación en puntos críticos de las líneas de conducción, especialmente en La Ensillada, para mitigar riesgos por golpe de ariete y sobrepresión.
- Rehabilitación de infraestructura: Construir nuevos tanques de almacenamiento impermeables y estables; renovar filtros con lechos adecuados y sistemas de lavado; y mejorar la caseta de bombeo con ventilación cruzada, impermeabilización y equipos certificados.
- Actualización eléctrica: Rediseñar las instalaciones eléctricas conforme al RETIE, incluyendo tableros de control con protección térmica y diferencial, y sistemas de puesta a tierra.
- Monitoreo de calidad del agua: Realizar análisis físico-químicos y microbiológicos trimestrales en sitio, y establecer sistemas de monitoreo continuo de turbidez, cloro residual y pH.
- Mantenimiento preventivo: Establecer cronogramas mensuales de limpieza, inspección y renovación de componentes críticos, especialmente filtros, sedimentadores y válvulas.
- Capacitación comunitaria: Formar al personal operativo en manejo de reactivos, operación de unidades, interpretación de resultados y cloración domiciliaria segura.
- Gestión institucional: Solicitar apoyo técnico y financiero ante entidades locales, departamentales y nacionales (Secretaría de Salud, Gobernación, SENA), priorizando el acceso seguro al agua potable para toda la comunidad, en especial para los centros educativos.
- Se recomienda hacer caracterización de muestras de agua a los acueductos rurales de la Encillada y Montebrujas para definir un tren de tratamiento acorde a las condiciones de la fuente de abastecimiento ya que o no se cuenta con esta inforacion o es muy antigua.

•