



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

TRABAJO DE GRADO
DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORAS PARA LA CAPTACIÓN,
ADUCCIÓN, DESARENADOR Y LÍNEA DE CONDUCCIÓN DEL ACUEDUCTO
MUNICIPAL DE MONQUIRÁ - BOYACÁ

ALEJANDRO PARDO VERGARA.
CAMILO ANDRÉS VALENCIA PATIÑO.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS
BOGOTÁ D.C
2021

TRABAJO DE GRADO
**DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORAS PARA LA CAPTACIÓN,
ADUCCIÓN, DESARENADOR Y LINEA DE CONDUCCIÓN DEL ACUEDUCTO
MUNICIPAL DE MONQUIRÁ - BOYACÁ**

ALEJANDRO PARDO VERGARA. CODIGO. 560549.
CAMILO ANDRÉS VALENCIA PATIÑO. CODIGO 560550.

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Recursos
Hídricos

Docente

ASESOR: CARLOS DANIEL MONTES RODRIGUEZ
INGENIERO CIVIL, PhD

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS
BOGOTÁ D.C
2021



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licencianta no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licencianta.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la [misma licencia](#) del original.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. Introducción	10
2. Generalidades	13
2.1. Línea de Investigación	13
2.2. Planteamiento del Problema	13
2.2.1. Antecedentes del problema	13
2.2.2. Pregunta de investigación	17
2.2.3. Variables del problema	17
2.3. Justificación	18
3. Objetivos	20
3.1. Objetivo general	20
3.2. Objetivos específicos	20
4. Marcos de referencia	21
4.1. Marco conceptual	21
4.2. Marco teórico	27
4.3. Marco jurídico	41
4.4. Marco geográfico	43
4.5. Marco demográfico	44
4.6. Estado del arte	45
5. Metodología	48
5.1. Fases del trabajo de grado	48
5.2. Instrumentos o herramientas utilizadas	50
5.3. Población y muestra	50
5.4. Alcances y limitaciones	50
5.5. cronograma	51
5.6. Presupuesto	51
6. Productos por entregar	51
7. Diagnóstico	52
7.1. Recopilación de información	52

7.2. Topografía	58
7.3. Población proyectada	72
7.3.1. Proyección método aritmético	73
7.3.2. Proyección método geométrico	74
7.3.3. Proyección método exponencial	74
7.3.4. Proyección población final	74
7.4. Bocatoma	79
7.5. Línea de aducción	86
7.6. Desarenador	89
7.7. línea de conduccion.	95
8. Propuesta de mejoraS	109
8.1. Diseño Bocatoma	109
8.2. Diseño de la línea de aducción.	119
8.3. Desarenador	121
8.4. Diseño y modelación hidráulica de la red de conducción	124
9. Conclusiones	131
Bibliografía	134
Anexos	139

LISTA DE TABLAS

Pág.

TABLA 1. DOTACIÓN NETA MÁXIMA	31
TABLA 2. CAUDALES DE DISEÑO.....	32
TABLA 3. CRONOGRAMA GENERAL	51
TABLA 4. PRESUPUESTO	51
TABLA 5. CAUDAL CONCESIONADO SEGÚN RESOLUCIÓN 4107 APROBADO POR CORPOBOYACA.....	56
TABLA 6. CAUDALES Y USO DE ACUERDO A LA RESOLUCIÓN 4263 DE LA RIO PÓMECA, APROBADO POR CORPOBOYACA.....	57
TABLA 7. LISTA DE PUNTOS DE CONTROL RTK A LO LARGO DE TRAZADO EXISTENTE Y PUNTO BASE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO, EN COORDENADAS GEOGRÁFICAS...61	
TABLA 8. LISTA DE PUNTOS DE CONTROL RTK Y PUNTO BASE EN COORDENADAS PLANAS SISTEMA DE REFERENCIA MAGNA-SIRGAS	62
TABLA 9. LISTA DE NODOS A LO LARGO DEL TRAZADO SEGÚN TOPOGRAFÍA LEVANTADA. .70	
TABLA 10. POBLACIÓN BASE DANE 1985-2017	72
TABLA 11. RESUMEN GENERAL DE PROYECCIÓN DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS.....74	
TABLA 12. CAUDALES DE DISEÑO QMD, QMD, QMH SEGÚN LA DOTACIÓN BRUTA CALCULADA, SE RESALTA LOS CAUDALES PARA EL PERIODO DE DISEÑO.77	
TABLA 13. SEMEJANZA Y ANÁLISIS DE DIAGNÓSTICO SEGÚN LOS RESULTADOS DE LA TABLA DE CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LA CAPTACIÓN.85	
TABLA 14. DATOS HIDRÁULICOS DE LA LÍNEA DE ADUCCIÓN EXISTENTE.....87	
TABLA 15. DATOS DE ENTRADA PARA CÁLCULO DE CAPACIDAD HIDRÁULICA.93	
TABLA 16. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DEL DESARENADOR	93
TABLA 17. ELEMENTO Y ACCESORIOS EN LA RED DE CONDUCCIÓN.....103	
TABLA 18. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TUBERÍA.....104	
TABLA 19. TIPOS DE REJILLAS.....110	
TABLA 20. DIMENSIONAMIENTO DE LAS VARILLAS.110	
TABLA 21. TIPO DE LIMPIEZA DE LA REJILLA	111
TABLA 22. TAMAÑO DE LAS VARILLAS	112
TABLA 23. DIMENSIONAMIENTO INTERNO DE LA CÁMARA DE DERIVACIÓN.118	
TABLA 24. DIMENSIONAMIENTO DEL VERTEDOR INTERNO	119
TABLA 25. DATOS INICIALES PARA EL CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA LÍNEA DE ADUCCIÓN.119	
TABLA 26. LISTADO DE DIÁMETROS DE TUBERÍA EN EL MERCADO.120	
TABLA 27. CÁLCULO HIDRÁULICO DE DESARENADOR PROPUESTO.....122	
TABLA 28. DISEÑO HIDRÁULICO DEL TANQUE DESARENADOR NUEVO	123

LISTA DE IMAGENES

Pág.

IMAGEN 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE MONIQUIRÁ - BOYACÁ.	44
IMAGEN 2. FASES DEL TRABAJO DE GRADO	48
IMAGEN 3. ESQUEMA PNR EL PELIGRO Y SERRANÍA EL PELIGRO.	53
IMAGEN 4. INFORMACIÓN DE LOCALIZACIÓN DESTINADA SEGÚN COORDENADAS INDICADAS EN LA RESOLUCIÓN 4107	55
IMAGEN 5 IMAGEN DE PLAN DE VUELO PARA UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	59
IMAGEN 6. PUNTOS DE CONTROL ESTÁTICOS Y TRAZADO DE LA RED DEL ACUEDUCTO.....	60
IMAGEN 7. IMAGEN DIDÁCTICA DE PLAN DE VUELO POR DRONE, QUE DE MANERA REMOTA SE PROGRAMA EL DRONE	63
IMAGEN 8. PRODUCTO FINAL DEL LEVANTAMIENTO POR DRONE.....	65
IMAGEN 9. LEVANTAMIENTO POR TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL ENTRE LA BOCATOMA Y TANQUES DESARENADORES.	68
IMAGEN 10. SECCIÓN TRANSVERSAL 02 AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN.	69
IMAGEN 11. SECCIÓN TRANSVERSAL 01 AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN.	69
IMAGEN 12. PERFIL LONGITUDINAL ESQUEMÁTICO DESDE DESARENADOR HASTA LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	70
IMAGEN 13. PLANTA TOMADA DE LA TOPOGRAFÍA DEL ÁREA DE LA BOCATOMA EXISTE.....	81
IMAGEN 14. VISTA EN PLANTE DE LA BOCATOMA, CÁMARA DE CAPTACIÓN.....	82
IMAGEN 15. SECCIÓN TRASVERSAL DE LA ESTRUCTURA DE LA BOCATOMA, CÁMARA DE CAPTACIÓN Y PRESA.	82
IMAGEN 16. SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA BOCATOMA EXISTENTE.....	83
IMAGEN 17. DIMENSIONES DE REJILLA DE CAPTACIÓN EXISTENTE.	83
IMAGEN 18. PLANTA TANQUE DESARENADOR EXISTENTE.....	90
IMAGEN 19. PERFIL DEL TANQUE DESARENADOR 01	90
IMAGEN 20. CORTE TRASVERSAL PARA EL TANQUE 01 Y TANQUE 02.	91
IMAGEN 21. PERFIL TOPOGRÁFICO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN.....	95
IMAGEN 22. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN POR SOFTWARE EPANET	105
IMAGEN 23. RESULTADO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN CON LA PRESIÓN EN CADA UNO DE LOS NUDOS SOBRE EL TRAZADO.....	105
IMAGEN 24. RESULTADO DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN EXISTENTE, VELOCIDADES EN LA TUBERÍA.	107
IMAGEN 25. ELEMENTOS DE LA RED EN EPANET	126
IMAGEN 26. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL ACUEDUCTO, PRESIONES EN LA RED	127
IMAGEN 27. PERFIL DE ELEVACIONES CON ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO...	128
IMAGEN 28. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL ACUEDUCTO, DIÁMETROS SELECCIONADOS PARA LA RED.....	129
IMAGEN 29. RESULTADO DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL ACUEDUCTO, VELOCIDADES EN LA RED DE TUBERÍA	130

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. PUNTO GPS1, BASE GEOREFERENCIADA EN TIEMPO REAL.....	61
FOTOGRAFÍA 2. LEVANTAMIENTO DE PUNTOS DE CONTROL CON EL ROVER POR GPS RTK	62
FOTOGRAFÍA 3. FOTOGRAFÍA AÉREA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PTAP, EL PUNTO BASE ESTÁTICO Y EL PRIMER PUNTO RTK#01.	63
FOTOGRAFÍA 4. AÉREA DE LA ZONA DE LA BOCATOMA, VISTA AÉREA DESPUÉS DE LA DIGITALIZACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	64
FOTOGRAFÍA 5. LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL POR ESTACIÓN TOTAL, PARA LA CAPTACIÓN, LÍNEA DE ADUCCIÓN Y DESARENADOR.	66
FOTOGRAFÍA 6. VISTA ÁREA POR MEDIO DEL DRON DE LA UBICACIÓN DE LA BOCATOMA, LÍNEA DE ADUCCIÓN Y TANQUE DESARENADOR.	67
FOTOGRAFÍA 7. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA ESTRUCTURA DE LA BOCATOMA. .	67
FOTOGRAFÍA 8. BOCATOMA AGUAS ARRIBA DEL MURO TIPO PRESA.	80
FOTOGRAFÍA 9. VERTEDERO HACIA LA CÁMARA DE CAPTACIÓN.....	81
FOTOGRAFÍA 10. VISTA AÉREA DE LA UBICACIÓN DE LA BOCATOMA, TOMADO POR VUELO MEDIANTE DRONE.	86
FOTOGRAFÍA 11. ESTADO DE LA LÍNEA DE ADUCCIÓN LA LÍNEA 1	88
FOTOGRAFÍA 12. TUBERÍA EXPUESTA A LA INTEMPERIE. IZQUIERDA FOTOGRAFÍA DE LA SALIDA DE LA CAPTACIÓN HACIA LA PLANTA – DERECHA TUBERÍA DE LLEGADA AL TANQUE DESARENADOR	89
FOTOGRAFÍA 13. EVIDENCIA DE FUGAS EN LA RED DE CONDUCCIÓN.....	96
FOTOGRAFÍA 14. DAÑOS Y REPARACIONES EN LA RED DE ASBESTOCEMENTO.	97
FOTOGRAFÍA 15. RENOVACIÓN DE TUBERÍA DE A.C. A TUBERÍA DE PVC, POR PARTE DE LA EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO.	97
FOTOGRAFÍA 16. ACOMPAÑAMIENTO A LA EMPRESA DE SERVICIOS ATENDIENDO AL CONFLICTO SOCIAL	98
FOTOGRAFÍA 17. UBICACIÓN DE ALGUNOS PREDIOS EN CONFLICTO POR EL TRAZADO SOBRE FINCAS Y TERRENOS PRIVADOS.	98
FOTOGRAFÍA 18. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁMARA QUIEBRE NÚMERO 4 CON UN REBOSE Y DESPERDICIO DE AGUA CONSIDERABLE.	99
FOTOGRAFÍA 19. REGISTRO DE ESTADO ESTRUCTURAL DE ALGUNAS CÁMARAS Y SU COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO.	100
FOTOGRAFÍA 20. REGISTRO DE LA TUBERÍA A LA INTEMPERIE DE LA RED DE CONDUCCIÓN	101
FOTOGRAFÍA 21. REGISTRO DE MALEZA, MUSGO EN LA CÁMARAS DE QUIEBRE	101
FOTOGRAFÍA 22. MACRO MEDIDO A LA ENTRADA DE LA PLANTA, CON UN REGISTRO DE 47.8 L/S APROXIMADAMENTE.	102
FOTOGRAFÍA 23. REPLANTEO DE LA RED DE CONDUCCIÓN	125
FOTOGRAFÍA 24. CONFLICTO SOCIAL CON EL ACUEDUCTO, AFECTACIONES A PREDIOS Y CASAS	126

LISTA DE GRÁFICAS

GRAFICA 1. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN POR TODOS LOS MÉTODOS; ARITMÉTICO, GEOMÉTRICO Y EXPONENCIAL.....	76
GRAFICA 2. CAUDALES DE DISEÑO QMD, QMD, QMH Y Q CONCESIÓN VIGENTE.	79

1. INTRODUCCIÓN

El recurso más vital y principal utilizado por el hombre, es el agua; líquido indispensable para las actividades realizadas en el día a día, por tal motivo, se debe hacer un uso consiente y responsable de ella en todos los aspectos para aprovecharla al máximo. Aunque Colombia ocupa el cuarto lugar en el mundo en riqueza hídrica, después de Rusia, Canadá y Brasil y, en donde el agua es considerada como uno de los recursos naturales más abundantes con una amplia distribución geográfica,¹ la potabilización del agua hoy en día es insuficiente, esto a pesar de ser de gran importancia, ya que suple las necesidades de una comunidad determinada mediante la infraestructura de un acueducto, garantizando así el acceso a ella.

Para el desarrollo de las zonas rurales en Colombia y el mundo, el agua es un factor importante, ya que no solo es necesaria para el abastecimiento de la población sino que también se requiere para el riego de los cultivos y para el consumo de los animales. En Colombia, a nivel de las zonas urbanas especialmente en las ciudades capitales e intermedias y algunos municipios se puede inferir que el problema está solucionado, pues existen empresas abastecedoras de agua que surten este servicio público de manera continua en cantidad y calidad; contrario a esto, en los municipios más pequeños no ocurre lo mismo, pues al ser estos los encargados de suministrar el agua potable a sus cabeceras urbanas, no cuentan con la capacidad técnica, operativa y financiera para abastecer de agua potable a la población de las zonas rurales²; así mismo, cabe resaltar que, en Colombia generalmente algunas

¹ PÉREZ, Rafael Eduardo, ROBAYO, José Luis. Análisis de la captación y aprovechamiento de agua lluvia para utilización en el campus de la universidad católica de Colombia (Bogotá), de acuerdo a las características de sus sedes. Trabajo de grado especialista de recursos hídricos, Bogotá – Colombia. Universidad Católica de Colombia 2016. 16 p.

² AMAYA, Carlos Fernando, García, Juan Alberto y Suaza, Uriel Alonso. Los acueductos como medio para potencializar el desarrollo en las comunidades rurales en Colombia. Trabajo de grado especialista en gerencia de proyectos. Itagüí – Colombia. Corporación universitaria minuto de Dios. 2017. 1-2 p.

cabeceras municipales poseen sistemas de acueducto en muy mal estado y que no han sido diseñados correctamente, por ende, no logran satisfacer las necesidades de las poblaciones que abastecen.³

La historia del acueducto del municipio de Moniquirá se remonta a los años 50, cuando se construyó su primera bocatoma sobre la quebrada la Sicha de manera muy artesanal. Hoy en día cuenta con una infraestructura de bocatoma, aducción, dos desarenadores, dos líneas paralelas de conducción, tanques rompe presión, planta de tratamiento y todo el sistema de distribución.

Para el año 2008, el Departamento Nacional de Planeación viabilizó el plan maestro de acueducto, un proyecto donde inicialmente se pactó el beneficio de agua potable para algunas veredas del municipio; ya en el año 2009 se suscribió el contrato de obra pública, el cual se inicia en el mismo período; posteriormente, en los años 2013 y 2014 se avanzó en la construcción de la red de conducción la cual contempló aproximadamente 17 km hasta su culminación en el 2015⁴. En dicho acueducto del plan maestro cuya captación se realiza del río Pómeca que beneficia a las veredas, se realizó una derivación hacia el acueducto del casco urbano del Municipio de Moniquirá para mejorar la demanda, el servicio y permitir ampliar la cobertura de usuarios tanto locales como visitantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, al día de hoy, se presentan algunas deficiencias en el acueducto, específicamente en el transporte del recurso desde la captación sobre la quebrada la Sicha hasta la planta de tratamiento; basados en esto se dio origen al diagnóstico y propuesta de mejoras para la captación, aducción, desarenador y línea de conducción, ya que no cuenta con los materiales y elementos mínimos

³ SOTO, María Carolina. Metodología para diseñar un sistema de acueducto con bajas poblaciones. caso de estudio corregimiento Las Palmas. Trabajo de grado ingeniera civil. Cartagena. Universidad tecnológica de Bolívar. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería civil. 2012. 43p

⁴ Charlando con el alcalde de Moniquirá: Avanza el plan maestro de acueducto de Moniquirá. En: BoyacáRadio.com. Boyacá. 09, marzo, 2015.

requeridos técnicamente para su correcto funcionamiento, para el mejoramiento del servicio y calidad de vida de los usuarios del municipio de Moniquirá

Ahora bien, para el desarrollo del proyecto se realizarán actividades de diagnóstico y evaluación del sistema que existe en la actualidad, caracterización socio económico y demográfico del municipio, así como estudios de condiciones geográficas y demanda real de agua⁵, para identificar así fallas y realizar propuestas a mejoras pertinentes. Se efectuará un análisis a las estructuras hidráulicas actuales encontradas en campo como; Bocatoma, Aducción, Desarenador y conducción, una descripción grafica con ubicación de estructuras y posteriormente realizar los diseños de ser necesario.

El presente trabajo se enfoca en mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico sobre la quebrada la Sicha desde el enfoque hidráulico, con la intención de diagnosticar la problemática que tiene el acueducto del municipio de Moniquirá en departamento de Boyacá, desde la captación, desarenador y línea de conducción, todo el sistema previo a la planta de tratamiento realizando propuestas de mejora de acuerdo a la demanda y la proyección poblacional del municipio.

Con el presente trabajo se logró diagnosticar y diseñar el sistema hidráulico del acueducto, enfocar la capacidad hidráulica y proyectar el sistema a un periodo de diseño adecuado según el comportamiento demográfico como también tener un aprovechamiento del recurso hídrico.

⁵ PARRADO, German Alonso y Sandoval, Misael Eduardo. Optimización del diseño hidráulico del acueducto veredal del alto del ramo de municipio de Chipaque - Cundinamarca. Trabajo de grado ingeniero civil. Bogotá D. C. Corporación universitaria minuto de Dios. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería civil. 2018. 15 p

2. GENERALIDADES

2.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación para el contexto en el que se desarrolla el siguiente trabajo de grado se clasifica como “Gestión y tecnologías para la sustentabilidad de las comunidades” y de tipo descriptiva porque parte de la utilización de los elementos básicos para el diagnóstico y diseño del acueducto; desde la captación hasta la línea de conducción.

2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.2.1. Antecedentes del problema

Los recursos hídricos a nivel mundial han sido fuertemente afectados; el calentamiento del planeta es un fenómeno inequívoco, las actividades humanas han contribuido de forma notable a su generación y ya hay efectos irreversibles en los sistemas naturales. Este calentamiento se refleja en un incremento de la temperatura promedio del planeta.⁶

América latina y el caribe, es considerada una región privilegiada ya que cuenta con 1/3 parte de las reservas del agua dulce del planeta y paradójicamente, aunque la mayoría de personas tiene acceso al agua potable, más de 34 millones de personas

⁶BERMUDEZ Daniel Esteban. Martínez Alexandra. Evaluación hidrológica e hidráulica de la quebrada la chorrera para la verificación de los niveles máximo y mínimos en la captación del centro poblado La Magdalena, Municipio de Quebrada-Cundinamarca. Trabajo de grado especialización en recursos hídricos. Bogotá D.C. Universidad católica de Colombia. Programa de Ingeniería Civil 2016 p 16

carecen de ella. El 96% de la población mundial urbana utiliza fuentes de agua potable mejoradas, frente al 84% de la población rural; así mismo, 8 de cada 10 personas aun sin acceso a fuentes de agua potable mejorada viven en zonas rurales⁷.

Actualmente en Colombia hay más de 11 millones de ciudadanos que hacen parte de la población rural, una tercera parte de esta población no cuenta con acceso a agua potable y no se está dando cumplimiento a las metas pactadas en el sector de agua y saneamiento por los ODM (Objetivos de Desarrollo del Milenio), se espera más compromiso en materia de inversiones y apoyo institucional para el área rural y así poder crear acueductos comunitarios que permitan llevar agua potable a estos sectores. El sector del agua potable en Colombia en lo relacionado a la implementación de políticas y programas, ha pasado por varias etapas en los últimos 50 años, entre los años 1968 y 1987 la División y Saneamiento Básico Rural del instituto nacional de salud (INS) desarrollo el Programa de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural (PASBR), el cual estaba dirigido a aquellas comunidades que contaran con menos de 2.500 habitantes. En este periodo de tiempo se construyeron y se ampliaron 2.500 acueductos comunitarios, proporcionando agua potable aproximadamente a 2 millones de personas.⁸

Del año 1987 a 1990 con la implementación de la descentralización en el sector de agua potable (Decreto No 077/1987), se presentó un estancamiento en lo relacionado con el apoyo a las comunidades rurales del orden nacional para asistir las necesidades tanto de asistencia técnica como financiera. Posteriormente en los años 1990 y 1998 se unen varias entidades, las cuales continuaron con el desarrollo de agua potable y saneamiento básico, a través de recursos cofinanciados por medio de transferencias realizadas a cada uno de los municipios, de los cuales el

⁷ Organización mundial de la salud. “informe 2015 del PCM sobre el acceso a agua potable y saneamiento: datos esenciales”. internet: https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/

⁸ AMAYA. op. cit., p 4-5

10% se invertía en las zonas rurales y el 90% en las zonas urbanas. Ya para el año 2000 estas entidades habían desaparecido junto con su apoyo financiero, quedando esta responsabilidad en los municipios⁹.

Ahora bien, el ser humano cuenta con necesidades básicas que debe suplir para poder desarrollar las actividades cotidianas. El agua compone gran parte del cuerpo lo que garantiza el óptimo desempeño del organismo, para ellos se debe proporcionar agua potable con estándares de calidad. Al no contar con este recurso se evidencia una falencia dentro de determinada comunidad, lo que evidencia símbolo de poco desarrollo; por ello, se realizan estructuras como acueductos los cuales abastecen un determinado número de habitantes en pro de mejorar de su calidad de vida.

La población del municipio de Moniquirá, Boyacá, presenta deficiencias en el suministro de agua potable, ya que aunque cuenta con la fuente hídrica primaria, no tiene la infraestructura adecuada para que la comunidad supla sus necesidades básicas como alimentación, higiene, salud entre otras. Por esta razón, tienen que adaptarse al único punto de captación de hace más de 70 años: tramos de tubería en asbesto cemento, en dos líneas paralelas, y problemas de conducción frecuente por la presión del líquido entre otras fallas en la prestación del servicio.

El acueducto inicia con la construcción de un desarenador y una línea de 4.5 km de longitud de conducción principal de 6" de diámetro en material de asbesto cemento de aproximadamente 40 años de uso y algunos tanques de almacenamiento usados como cámaras de quiebre, con el tiempo el crecimiento poblacional vio la necesidad de mayor demanda hídrica del municipio y con la poca capacidad instalada de la tubería se vio la necesidad de instalar otra tubería paralela de asbesto cemento de 8" de diámetro misma longitud, por consiguiente se tiene dos tuberías de 8" y 6" de

⁹ Ibid., p 4-5

diámetro y el último kilómetro en tubería de 10” de diámetro antes de llegar a la planta de tratamiento. Aproximadamente en el año 2005 se realizó la construcción de un nuevo tanque desarenador de mayor dimensión que mejora la capacidad hídrica a la planta.

Cabe resaltar que durante varios años se realizó un bombeo de la misma quebrada La Sicha para abastecer a una cámara de quiebre con el fin de aumentar el caudal, este funcionamiento perduro hasta la construcción de un nuevo acueducto veredal denominado acueducto del norte. En los años 2013 y 2014 se avanza en la construcción de la red de conducción del acueducto del norte la cual contempla aproximadamente 17 km, siendo la columna vertebral de este proyecto, así mismo se construyen 4 pasos elevados complicados, y con los cuales cumpliendo así con el alcance del objeto, también, se elabora una bifurcación o ramal destinado para complementar el abastecimiento de agua hacia la planta de tratamiento del casco urbano, el cual mejorará el servicio e incluso ampliará la cobertura y así beneficiará no solo a los más de 3.785 usuarios, sino a todos los moniquireños y visitantes, permitiendo incluso la ampliación de cobertura¹⁰.

Para la descripción del sistema de acueducto se tomó como base la información del “Plan de Contingencia para la Sostenibilidad en la prestación del Servicio de Acueducto”, reportado por el prestador al SUI en el mes de septiembre de 2015, debido a que en este no se referencia información reportada en cuanto a registro de captación de agua, registro de aducciones, registro sistemas de potabilización, registro conducciones de agua, distribución de agua potable, y redes sistema de acueducto. El sistema de acueducto del municipio de Moniquirá es abastecido de la fuente hídrica quebrada La Sicha, mediante una bocatoma con rejilla de fondo captando aproximadamente 30 l/s.

¹⁰ Charlando con el alcalde de Moniquirá: Avanza el plan maestro de acueducto de Moniquirá. En: Boyacáradio.com. BOYACÁ. 09, marzo, 2015.

Según el “Plan de Contingencia para la Sostenibilidad en la prestación del Servicio de Acueducto”, se cuenta con concesión de aguas otorgada por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá –CORPOBOYACÁ -, mediante la Resolución 1060 de 16 de diciembre de 2004 con un caudal autorizado de 31.53 l/s. En el SUI no se evidencia información reportada de la concesión de agua que el prestador informa tener en el “Plan de Contingencia para la Sostenibilidad en la Prestación del Servicio de Acueducto”¹¹

De acuerdo al informe de la superintendencia de servicios domiciliarios “En el municipio de Moniquirá aún no se cuenta con plan maestro de Acueducto. No se cuenta con información clara si el prestador cuenta con catastro de redes actualizado, de acuerdo con lo establecido en el artículo 102 de la resolución 1096 de 2000”¹².

2.2.2. Pregunta de investigación

¿Qué se puede realizar para mejorar las condiciones hidráulicas del acueducto de Moniquirá en la captación, aducción, desarenador y línea de conducción de acuerdo a su diagnóstico?

2.2.3. Variables del problema

- Caudal de diseño
- Caudales concesionados
- Proyecciones de la población

¹¹ Dirección técnica de gestión de acueducto y alcantarillado. Informe de riesgo de las empresas del sector eléctrico. En: Evaluación integral de prestadores empresa de servicios públicos de Moniquirá S.A E.S.P., E.S.P.M. S.A E.S.P. Diciembre de 2015 Bogotá D. C. 11–12 p.

¹² *Ibíd.*, p12

- Capacidades hidráulicas de las tuberías de aducción y conducción
- Capacidades hidráulicas de las obras existentes
- Topográficas como la elevación o altura

2.3. JUSTIFICACIÓN

Al día de hoy se vive con gran preocupación el efecto del cambio climático sobre las aguas naturales, obligando a los gestores a tomar medidas más eficientes en cuanto a la gestión del agua. El agua comienza a ser un recurso escaso por lo tanto debe ser gestionado de una manera muy eficiente, y uno de los puntos principales para mejorar dicha eficiencia es por medio de la disminución de las pérdidas de agua en el sistema de abastecimiento.¹³

El acueducto municipal de Monquirá fue construido aproximadamente hace 70 años y operado en gran parte por el municipio, hoy en día la operación está a cargo desde el 2010 por la empresa de servicios públicos de Monquirá S.A. E.S.P. Este cambio ha generado en gran parte que la empresa adelante varios proyectos de mejoramiento y eficiencia de los diferentes componentes del acueducto, generando así una evolución técnica y económica, fortaleciendo el saneamiento básico en mejora de la eficiencia y eficacia de la prestación del servicio público.

Entre los principales componentes de este acueducto, se encuentra de especial énfasis para el desarrollo de este trabajo, la microcuenca, captación, aducción, desarenadores, redes de conducción y demás obras complementarias existentes o necesarias anteriores a la llegada a la planta de tratamiento, en los cuales se evidencian algunas deficiencias que se deben estudiar, analizar y corregir.

¹³ABRIL Jamer Johan, Beltrán Adriana Lorena. Análisis de la demanda y la red de distribución de agua en el municipio de Aracataca, Colombia. Trabajo de Grado Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil 2014. 11 p.

Por esta razón, es de gran importancia el diagnóstico y propuesta de mejoras para el acueducto municipal de Moniquirá – Boyacá en los sitios mencionados anteriormente, porque existe una deficiencia técnica y operativa en el sitio de captación, daños constantes en las redes de conducción, pérdidas de caudal, falta de control hidráulico de usuarios de agua cruda, daños en predios ajenos por uso irracional del agua, carencia de elementos de control como válvulas de aire, lavado, paso, caudales insuficientes en épocas de verano para la demanda actual y futura, sobre todo en tiempos vacacionales o festivos donde el incremento de la población se eleva en un porcentaje muy significativo. De esta forma, con el proyecto se busca garantizar la operación continua del servicio de agua potable y que sea provechoso para que las autoridades encargadas del municipio tengan en cuenta las conclusiones y recomendaciones para así satisfacer las necesidades básicas de agua potable para varios tipos de usos de la población.

Así mismo, en la universidad católica de Colombia, desde la línea de investigación “Gestión y tecnologías para la sustentabilidad de las comunidades” es de especial interés social y académico el interés en resolver problemas hidráulicos relacionados con el agua en el territorio colombiano, de esta forma ha incentivado a los estudiantes a obtener el título de especialista en recursos hídricos y de acuerdo a este trabajo de grado, a aportar el conocimiento a las soluciones de varios problemas en la empresa de servicios públicos de Moniquirá S.A. E.S.P., esencialmente en el servicio de acueducto cuyos resultados proporcionarán una experiencia y conocimiento en el desempeño profesional de los autores y una valiosa información técnica y académica a la empresa.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diagnóstico y propuesta de mejora para la captación, aducción, desarenador y conducción del acueducto municipal de Moniquirá

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento topográfico de las redes de tubería de aducción, conducción y estructuras existentes captación, desarenador, cámaras de quiebre y complementarias.
- Diagnosticar el estado hidráulico de las redes de tubería de aducción, conducción y estructuras existentes captación, desarenador, cámaras de quiebre y complementarias.
- Proponer mejoras técnicas para los problemas de la captación desarenador y conducción.
- Realizar el diseño hidráulico de las redes de aducción, conducción y estructuras de captación, desarenador, y obras complementarias del acueducto.

4. MARCOS DE REFERENCIA

4.1. MARCO CONCEPTUAL

Generales

- **Acueducto:** Literalmente, conducto de agua, describe por supuesto cualquier canal para el paso de agua, pero la palabra se usa especialmente para las magníficas estructuras por las que Roma y otras ciudades del imperio romano se suplían de agua a través de colinas por medio de túneles y sobre los valles encima de puentes de cemento solido o de arcos.
Es un sistema o conjunto de sistemas de irrigación que permita transportar agua en forma de flujo continuo desde un lugar en el que esta accesible en la naturaleza hasta un punto de consumo distante, generalmente una ciudad o poblado.¹⁴
- **Agua cruda:** es el agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización.
- **Agua potable:** es aquella que, por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el decreto 1575 de 2007 y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.
- **Altimetría:** Es la parte de la topografía que estudia y determina las diferencias de nivel y las formas (morfología) del terreno.
- **Anclaje:** Apoyo que soporta los empujes ocasionados por el cambio de

¹⁴CAICEDO Diego Alexander, Garcés, José Ignacio. Diagnostico técnico del acueducto urbano del municipio de Quipile Cundinamarca. Trabajo de Grado Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. 2016. 27p.

dirección en una tubería sometida a presión interna.

- **Base de datos:** Conjunto de información que se almacena bajo esquemas particulares para su posterior consulta y análisis.
- **Batimetría:** Es la técnica asociada a la obtención de valores de profundidad del agua. Ésta puede ser de tipo marina, lacustre o fluvial.
- **Bocatoma:** Es una obra hidráulica encargada de captar el agua de una fuente superficial y posteriormente ser conducida al sistema de acueducto por la línea de conducción.¹⁵
- **Capacidad hidráulica:** Caudal máximo que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.
- **Caudal:** Volumen de fluido que atraviesa una superficie dada en la unidad de tiempo. Se usa para expresar el caudal de un río, de un fluido por una conducción.¹⁶
- **Caudal ecológico:** El caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua.
- **Coeficiente de fricción:** Coeficiente que representa el efecto de la fricción entre el flujo y la pared del canal o ducto, que depende de la rugosidad relativa de la tubería o canal y el número de Reynolds.
- **Coeficiente de rugosidad:** Medida de la rugosidad de una superficie, que depende del material y del estado de la superficie interna de una tubería.
- **Cuenca hidrográfica:** Área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez,

¹⁵MOLINA, Harol Santiago. Ortiz, Sergio Stevens. Diagnóstico y propuesta de optimización para la captación del sistema de acueducto del municipio El Retorno, Guaviare. Trabajo de grado especialización recursos hídricos. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. 2020. 24p.

¹⁶ALARCON Jairo Guillermo, Díaz, Lizeth Lucero. Estudio Hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Nunchía, Casanare. Trabajo de grado especialización de recursos Hídricos. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. 2018.p.22

puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

- **Desarenador:** Son tanques cuya función es separar las arenas y elementos sólidos que lleva el agua en su recorrido.¹⁷
- **Diámetro interno real:** Diámetro interno de una tubería determinado con elementos apropiados.
- **Diámetro nominal:** Es una denominación comercial con la cual se conoce comúnmente el diámetro de una tubería, a pesar de que algunas veces su valor no coincida con el diámetro real interno.
- **Dotación neta máxima y mínima:** Debe determinarse haciendo uso de la información de los consumos de agua potable, en todos los casos se deberá utilizar un valor de dotación que no supere la dotación neta máxima (L/HAB*DÍA) en relación a la altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida.
- **IDEAM:** Instituto de Hidrología, meteorología y estudio ambientales (IDEAM), es una entidad del gobierno de Colombia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se encarga del manejo de la información científica, hidrológica, y meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente en Colombia.
- **Fuente de abastecimiento de agua:** Depósito o curso de aguas superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas.
- **Fuga:** Volumen de agua que se escapa a través de las instalaciones internas de un inmueble y es detectable directamente por los sentidos.
- **Georreferenciar:** Acción de ubicar uno o varios puntos a partir de un grupo de puntos semejantes previamente localizados

¹⁷CUBILLOS Luis Alberto, Naranjo Jhordan Alexis. Diseño hidráulico de obras civiles para la captación y tratamiento de agua cruda del sistema de acueducto centro poblado La Magdalena Municipio de Quebradanegra, Cundinamarca. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. 2018. p.24

- **Golpe de ariete:** Fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien sea por el cierre rápido de una válvula o por el apagado del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética en energía elástica, tanto en el flujo como en la tubería, produciendo sobre elevación de la presión, supresiones y cambios en el sentido de la velocidad del flujo.
- **Línea de energía:** Línea o elevación obtenida como la suma de la altura piezométrica de presión, la altura piezométrica de velocidad y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.
- **Línea de gradiente de hidráulico:** Línea o elevación obtenida como la suma de la altura de presión y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.
- **Línea piezométrica:** Línea o elevación obtenida de la suma de la altura piezométrica de presión y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.
- **Modelo hidráulico:** Formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema hidráulico a estímulos externos.
- **Pérdidas:** Diferencia entre el volumen de agua que entra a un sistema de acueducto y aquel que sale o es facturado, dependiendo del sistema. Dentro de estas existen, pérdidas de energía menores y pérdidas de energía por fricción, causadas por accesorios o válvulas en una conducción de agua y por los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes de un conducto, respectivamente.
- **Planimetría:** Estudia los elementos planimétricos del terreno, entendiéndose por ellos todos los elementos naturales y artificiales del mismo que forman su revestimiento, como, por ejemplo: ríos, casas, caminos, etc., y los expresa por medio de figuras convencionales (cartográficos).
- **Población de diseño:** Población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño.

- **Presión atmosférica:** Presión del aire sobre la superficie terrestre. Se tienen en cuenta la presión de trabajo (a la cual la tubería debería trabajar), dinámica (se registra con el paso de agua a través de un conducto), estática (se registra en un conducto cuando no hay flujo), nominal (máxima a la cual puede estar sometida una tubería considerando un factor de seguridad) y admisible (máxima presión).
- **Rebose:** Estructura cuyo fin es captar y desviar el exceso de caudal de agua que transporta o almacena un sistema de acueducto.
- **Red de conducción:** Serie de tuberías que transportan el agua desde las plantas de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento y/o compensación, o entre tanques, sin conexión de suscriptores
- **Relación diámetro espesor (RDE):** Es un número adimensional que describe la relación del diámetro externo sobre el espesor mínimo de la pared del tubo.
- **Riesgo:** Potenciales consecuencias económicas, sociales o ambientales que se pueden generar como resultado de los daños o la pérdida de función de un sistema durante un tiempo de exposición definido. Se expresa matemáticamente, como la probabilidad de exceder una pérdida en un sitio y durante un lapso determinado, resultado de relacionar la vulnerabilidad del sistema y la amenaza a la cual se encuentra sometido.
- **Sistema de información geográfico (SIG):** Sistema de información que permite relacionar una base de datos que esté georreferenciada, y así poder generar mapas de acuerdo con la información disponible dentro del proyecto. Determina de una manera rápida y eficaz, los planos de tuberías de acuerdo con la rugosidad, pérdidas menores, edad, diámetro, o caudal según se requiera. Así mismo permite generar planos de estratificación de usuarios de una manera ágil.
- **Sobrepresión:** Efecto del golpe de ariete, causado por el aumento repentino y en gran magnitud de presión debido a la apertura de una válvula, al apagado de una bomba, etc.

- **Tecnologías de información:** Es un término que agrupa todo lo relacionado con la computación, programas, comunicaciones y equipos que sirven para administrar y analizar las grandes cantidades de información que el mundo moderno usa a diario.
- **Usuario:** Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde éste se presta, o como receptor directo del servicio. A este último usuario se le conoce también como consumidor¹⁸.

Componentes del sistema de acueducto

- **Microcuencia:** es la fuente de abastecimiento de agua en una región, es decir, de donde se obtiene el agua que se va a distribuir. La Microcuencia es el área geográfica mínima en la cual el agua se desplaza a través de drenajes con una salida principal llamada nacimiento o desagüe¹⁹.
- **Captación:** Las captaciones o tomas son estructuras de cemento que tienen como propósito recoger el agua de manantiales y escorrentías para llevarla al tanque de almacenamiento con el fin de abastecer a las comunidades.²⁰
- **Aducción:** Es el tramo donde se conduce el agua cruda desde la captación hasta la planta de tratamiento. Esta conducción puede realizarse por medio de canales abierto debido a que no se le ha realizado ningún tipo de tratamiento, se recomienda que sea lo más corta posible²¹.

¹⁸ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 142 de 1994. (11, julio, 1994). Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá, D.C., 1994. no. 41433.

¹⁹ SANDOVAL, Misael Eduardo y Parrado, German Alonso. Optimización del diseño hidráulico del acueducto veredal del alto del ramo de municipio de Chipaque - Cundinamarca. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá D. C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2008. 23 p.

²⁰ VARELA, Iván Camilo. Diagnóstico, evaluación y propuesta de mejora del sistema de acueducto del municipio de Apulo (Cundinamarca), Trabajo de grado ingeniero civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería departamento de ingeniería civil, 2018. 22p

²¹ RAMIREZ, Christian. Guía técnica acueducto y alcantarillado. Trabajo de grado ingeniero civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería departamento de ingeniería

- **Desarenador:** Son tanques cuya función es separar las arenas y elementos sólidos que lleva el agua en su recorrido. No todos los acueductos cuentan con este componente²².
- **Obras de conducción:** Se encargan de conducir el caudal desde la bocatoma hasta el tanque de presión, en la mayoría de los casos suele ser un canal, aunque también un túnel o una tubería²³

Cámaras de quiebre de presión: Son estructuras pequeñas, su función principal es disminuir costos de tubería, posibles riesgos sociales y reducir la presión hidrostática a cero u a la atmosfera local, generando un nuevo nivel de agua y creándose una zona de presión dentro de los límites de trabajo de las tuberías²⁴.

Válvula de aire: Las válvulas ventosas son los dispositivos para realizar el control de la presencia de aire en la tubería. En especial durante los procesos de llenado y vaciado ya que estas son las operaciones más críticas en toda la instalación²⁵.

Válvula de lavado: En los puntos bajos de la tubería de conducción o cada 350 m, deben colocarse válvulas de desagüe o de limpieza²⁶.

4.2. MARCO TEÓRICO

civil. 2016. 23 p

²² Ibid., p 23.

²³ CARRAZANA, Verónica. "Obras de conducción". Internet: <https://tariquia.academia.edu/VeronicaCarrazanaGallardo>

²⁴ BASUALDO, Sabino, "Cámaras rompe presión". Internet: (<https://es.slideshare.net/Evargs1992/cmara-rompe-pesin#:~:text=FUNDAMENTO%20TE%3%93RICO%202.1%20C%3%A1mara%20Rompe,tipos%3B%20para%20la%20L%3%ADnea%20de>)

²⁵ RAMIREZ. Op. Cit., p 44

²⁶ RAMIREZ. Op. Cit., p 47

- **Proyección de la población**

En caso que el diseño de un sistema de acueducto particular incluya un municipio o zona de éste, en la cual no sea posible realizar una proyección de demanda o de suscriptores, las dependencias encargadas de la planeación y comercialización de los proyectos de agua potable de la persona prestadora del servicio de acueducto o, en caso que éstas no existan, el consultor debe realizar la proyección y los ajustes de la población²⁷

Métodos de cálculo: Se deben tener en cuenta las proyecciones del DANE hasta el año que se encuentra disponible. A continuación, se relacionan los distintos métodos

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

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

Donde:

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

²⁷ Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, TÍTULO B. Sistemas de acueducto. – 2 ed. Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2010. 480 p.

P_{uc} : Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

P_{ci} : Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_{uc} : Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

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

T_f : Año al cual se requiere proyectar la información

Método geométrico: Es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación es la siguiente:

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

Donde:

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

P_{uc} : Es la población (habitante) correspondiente al último año censado con información.

P_{ci} : Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

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

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

T_f : Año al cual se quiere proyectar la información.

r : Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

La variable r, correspondiente a la tasa de crecimiento anual se calcula así:

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

Método exponencial: Requiere reconocer mínimo tres censos del DANE, en donde el último censo corresponde a las proyecciones del DANE, se recomienda en poblaciones donde demuestre buen desarrollo y bastantes áreas de expansión, la ecuación empleada es la siguiente:

$$Pf = Pci \times e^{k \times (Tf-Tci)}$$

Donde k es equivalente a la tasa de crecimiento de la población:

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

Donde:

P_{cp}: Población del censo posterior (proyección del DANE).

P_{ca}: Población del censo anterior (habitantes).

T_{cp}: Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca}: Año correspondiente al censo anterior.

L_n: Logaritmo natural o neperiano.

- **Censo de población**

Se determinará el censo poblacional basado en la respectiva información disponible por el DANE

- **Dotación neta máxima**

La dotación neta máxima se determina mediante la información histórica de consumos de los suscriptores disponible por la empresa prestadora de servicio público o recopilado por el sistema único de información (SUI) de la superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD), se debe utilizar un valor que no supere los máximos establecidos en la siguiente tabla

Tabla 1. Dotación neta máxima

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
>2000 msnm	120
1000 – 2000 msnm	130
<1000 msnm	140

Fuente: Res 330 del 2017 pág. 32²⁸

- **Dotación bruta**

La dotación bruta²⁹ se determinará de la siguiente forma:

²⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución No. 0330 (08, junio, 2017). Por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS. Bogotá, D. C. El Ministerio, 2017. 32 p.

²⁹ Ibid., p 33

$$D_{bruta} = d_{neta} / (1 - \%p)$$

Donde

D_{bruta} : Dotación bruta

D_{neta} : Dotación neta

$\%p$: porcentaje de pérdidas técnicas máxima para el diseño, no deberá superar el 25%

- **Caudales de diseño**

Los caudales de diseño para los componentes del sistema de acueducto analizados se establecen de acuerdo a la siguiente tabla

Tabla 2. Caudales de diseño.

COMPONENTE	CAUDAL DE DISEÑO
Captación fuente superficial	Hasta 2 veces QMD
Captación fuente subterránea	QMD
Desarenador	QMD
Aducción	QMD
Conducción	QMD
Tanque	QMD
Red de distribución	QMH

Fuente: Res 330 del 2017 pág. 34³⁰

- **Caudal medio diario**

³⁰ Ibid., p 34

El caudal medio diario³¹, Qmd, es el caudal calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación

$$Qmd = p * d_{bruta} / 86400$$

Donde:

Qmd: Caudal medio diario

p: representa el número de habitantes proyectado y la dotación bruta debe estar dada en L/hab·día.

D_{bruta}: Dotación bruta

- **Caudal máximo diario**

El caudal máximo diario³², QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año multiplicado el por el coeficiente de consumo máximo diario k1, como se indica en la siguiente ecuación.

$$QMD = Qmd * k1$$

Donde:

QMD: Caudal máximo diario

Qmd: Qmd= Caudal medio diario

³¹ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Op. Cit., p 39

³² MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Op. Cit., p 38

k1: Coeficiente de consumo máximo diario

Según el RAS 2000 “El coeficiente de consumo máximo diario k1, se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un periodo mínimo de un año”.

- **Caudal máximo horario**

El caudal máximo horario³³, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k2, según la siguiente ecuación

$$QMH = QMD * k2$$

Donde:

QMH: Caudal máximo horario

QMD: Caudal máximo diario

k2: Coeficiente de consumo máximo horario

El coeficiente de consumo máximo horario (k2), con la relación entre el caudal máximo horario, QMH, y el caudal máximo diario, QMD, registrados durante un año.

En el caso de sistemas nuevos se determina entre 1.3 y 1.7 de acuerdo con las condiciones locales.

³³ Ibid., p 38

Nota³⁴: de acuerdo con la Resolución Numero 0330, para poblaciones menores o iguales a 12.500 habitantes, el factor K1 no debe ser mayor a 1.3 ni el factor K2 superior a 1.6. En el caso de poblaciones mayores a 12.500 habitantes el factor K1 no puede ser superior a 1.2 y el factor K2 no puede ser mayor a 1.5.

- **Período de diseño**

Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como período de diseño 25 años³⁵.

- **Captación - Tipos de Bocatoma**

Existen diversos tipos de bocatomas; los factores determinantes para la selección de la bocatoma más adecuada son la naturaleza del cauce y la topografía general del proyecto.³⁶

Bocatoma lateral con muro transversal

Es muy utilizado cuando la fuente de aprovechamiento posee un caudal relativamente grande. El sitio se selecciona donde la estructura queda a una altura conveniente del fondo, para asegurar un nivel mínimo de las aguas, se debe proyectar un muro normal o inclinado con respecto a la dirección de la

³⁴ RINCON, Winddy y Córdoba, William Alberto. Determinación de los factores de mayoración para el consumo de agua potable en el municipio de Sibaté con respecto a los definidos en la Resolución número 0330 del 8 de junio de 2017. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá D. C.: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2017. 31 p.

³⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Op. Cit., p 31.

³⁶ LOPEZ COALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003, p88

corriente.³⁷

Bocatoma de fondo

Se utiliza en ríos relativamente pequeños o quebradas, en donde la profundidad del cauce no es muy grande. Se utiliza en condiciones semejantes a la de la bocatoma con muro transversal³⁸

- **Aducción**

Para efectos del diseño del acueducto la línea de aducción es el transporte del agua cruda desde la bocatoma hasta el desarenador, ya sea a flujo libre o presión.

- **Desarenador**

Los desarenadores son estructuras que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño, los factores que se deben considerar para un buen proceso de desarenación son temperatura, viscosidad del agua, tamaño, forma, porcentaje a remover de la partícula de diseño y eficiencia de la pantalla deflectora³⁹

Zona I: Cámara de quietamiento

Debido a la ampliación de la sección, se disipa el exceso de energía de la velocidad en la tubería de llegada. El paso del agua a la zona siguiente se

³⁷ CORCHO, Freddy y Duque José. Acueductos teoría y diseño. Medellín, Universidad de Medellín, 1993, p42

³⁸ LOPEZ COALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003, p89.

³⁹ Ibid., p175.

puede hacer por medio de un canal de repartición con orificios sumergidos. Lateralmente se encuentra un vertedero de excesos que lleva el caudal sobrante de nuevo al río mediante una tubería que se une con la de lavado.

Zona II: Entrada al desarenador

Constituida entre la cámara de quietamiento y una cortina, la cual obliga a las líneas de flujo a descender con rapidez, de manera que se sedimente el material más grueso inicialmente.

Zona III: Zona de sedimentación

Es donde se sedimentan todas las partículas restantes y donde se cumple en rigor con las leyes de sedimentación. La profundidad útil de sedimentación es "H".

Zona IV. Salida del desarenador

Constituida por una pantalla sumergida, el vertedero de salida y el canal de recolección. Esta zona debe estar completamente tapada, con el fin de evitar la posible contaminación exterior.

Zona V: Almacenamiento de lodos.

Comprende el volumen entre la cota de profundidad útil en la zona III y el fondo del tanque. El fondo tiene pendientes longitudinales y transversales hacia la tubería de lavado.

- **Conducción**

Para el cálculo de las pérdidas de presión en la tubería y determinar la línea piezométrica, se utilizó en el software EPANET la siguiente metodología de cálculo:

Metodología según fórmula de Williams-Hazen:

$$J = 0.2083 \times \left(\frac{100}{C}\right)^{1.85} \times \left(\frac{Q^{1.85}}{D^{4.866}}\right)$$

$$J = 0.0985 \times \left(\frac{Q^{1.85}}{D^{4.866}}\right)$$

Dónde:

- J = Pérdidas de presión en m/100 m de conducción.
- Q = Flujo en Galones por minuto.
- D = Diámetro interior del tubo en pulgadas.
- C = Coeficiente de fricción constante para PVC

La fórmula de Hazen Williams, también se emplea con gran frecuencia en el sistema métrico, bajo las siguientes expresiones:

$$Q = 0.2785 \times C \times D^{2.63} \times J^{0.54}$$

$$V = 0.3547 \times C \times D^{0.63} \times J^{0.54}$$

De las cuales se tiene:

- Q = Flujo en metros cúbicos por segundo.
- C = Coeficiente de Fricción.
- D = Diámetro del tubo en metros.

J = Pérdidas de carga en m/m de tubería
V = Velocidad en m/s.

Metodología de Darcy-Weisbach

$$hf = f \frac{L}{d} \frac{u^2}{2g}$$

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{ks}{3.7 d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

$$Re = \frac{u d}{\nu}$$

Donde:

hf: Pérdidas de fricción (m)

f: Factor de fricción

L: Longitud de la tubería (m)

u: Velocidad (m/s)

d: Diámetro interno de la tubería

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

ks: Rugosidad absoluta de la tubería (m). Para PVC=1.5 x 10⁻⁶m

Re: Numero de Reynolds

v: Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

En cuanto al cálculo de las sobrepresiones ocasionadas por el golpe de ariete se tiene en cuenta la velocidad del flujo y la celeridad de la onda que depende del material en que se fabrica la tubería para nuestro caso el PVC tiene una metodología:

Metodología para cálculo de golpe de ariete en tubería PVC:

$$P = a \times \frac{V}{g}$$

$$a = \frac{1420}{\left(1 + \left(\frac{K}{E}\right) \times (RDE - 2)\right)^{0.5}}$$

Donde:

P=Sobrepresión máxima en metros de columna de agua, al cerrar bruscamente la válvula.

a=Velocidad de la onda (m/s).

V=Cambio de velocidad del agua (m/s).

g=Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²

K=Módulo de compresión del agua = 2.06 x 10⁴ Kg/cm²

E=Módulo de elasticidad de la Tubería (2.81 x 10¹⁰ Kg/cm² Para PVC Tipo 1, Grado1)

RDE = Relación diámetro exterior/espesor mínimo.

Dentro de los criterios de diseño se considera un valor de coeficiente de

fricción $C=150$ para tuberías de PVC, se consideró para los cálculos hidráulicos, los diámetros reales de las tuberías de PVC, ya que el área de flujo efectiva en estas, es mayor que en otras tuberías de materiales convencionales. De igual forma se tendrá en cuenta los requisitos exigidos por la resolución 0330 del 08 de Junio del 2017 y la resolución 1096 del 2000 Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS-Título B

- **Epanet**

El software a utilizar es conocido como EPANET, el cual permite modelar sistemas de distribución de agua. Fue desarrollado como una herramienta para comprender el movimiento y el destino de los componentes del agua potable dentro de los sistemas de distribución, y puede usarse para muchos tipos diferentes de aplicaciones en el análisis de sistemas de distribución. En la actualidad, se utiliza para diseñar y dimensionar nueva infraestructura de agua, modernizar la infraestructura antigua existente, optimizar las operaciones de tanques y bombas, reducir el uso de energía, investigar problemas de calidad del agua y prepararse para emergencias. También se puede utilizar para modelar amenazas de contaminación y evaluar la resistencia a amenazas de seguridad o desastres naturales⁴⁰. Hoy en día es un software de los más completos en el campo de la hidráulica y extendido por su versión libre.

4.3. MARCO JURÍDICO

- República de Colombia. Ley 99 de 1993. *“Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA y se dictan*

⁴⁰ UNITED States Environmental Protection Agency, "Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems". Internet: (<https://www.epa.gov/water-research/epanet>).

otras disposiciones”

- República de Colombia. Ley 142 de 1994 que establece el régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia, y busca garantizar su calidad en todos los niveles. *“por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.”*
- República de Colombia. Ley 373 de 1997. *“Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua”.*
- República de Colombia Decreto 3102 de 1997. *“Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua”*
- República de Colombia, Ministerio de Salud. Decreto 475 de 1998 *“Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable”*
- República de Colombia. Ministerio de desarrollo económico, resolución 1096 del 2000 *“por la cual se adopta el Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico”*
- República de Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución 2115 de 2007 *“Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”*
- República de Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución 0330 de 2017 *“por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005,*

1447 de 2005 y 2320 de 2009"

4.4. MARCO GEOGRÁFICO

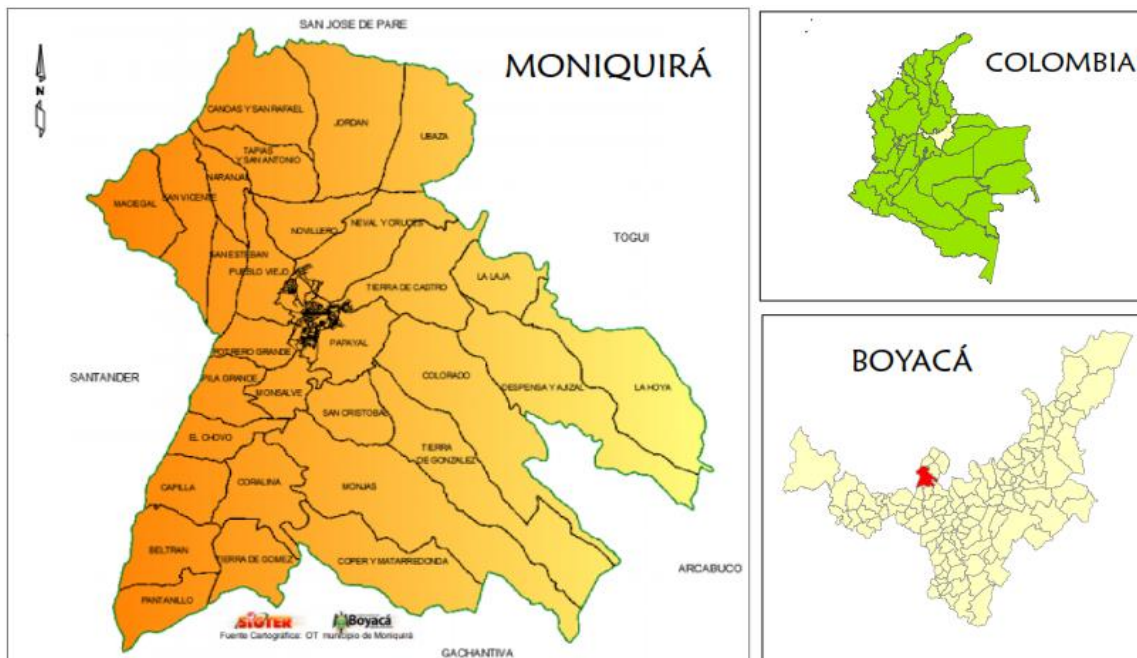
Moniquirá está ubicada en el altiplano boyacense, su posición hace que sea considerado el eje económico del departamento, especialmente dentro de lo que se conoce como la sub región de la cuenca del río Moniquirá en donde se encuentran también, los municipios de Arcabuco, Villa de Leyva, Sáchica y Sutamarchán; comprende de sur a norte y de oriente a occidente, el mayor número de municipios de Boyacá y concentra un alto porcentaje de población. Por su posición es considerado como el eje político, social, económico y cultural del departamento. Se extiende a partir de la laguna de Fúquene pasando por la zona del valle de Chiquinquirá hasta encontrar las tierras quebradas de Moniquirá, hacia el oriente se ubica el altiplano de Tunja, el valle de Sogamoso y el valle alto del río Chicamocha. El altiplano está conformado por regiones semionduladas y algunas pequeñas elevaciones⁴¹

El municipio de Moniquirá, limita al norte con San José de Pare, por el oriente con Togüi y Arcabuco, por el sur con Gachantivá y Santa Sofía y por el Occidente con el departamento de Santander. Tiene una extensión total de 220 Km² y cuenta con una altitud de la cabecera municipal de 1.700 msnm. Sus coordenadas geográficas son latitud 5°52'34" Norte y longitud 73°34'22 Oeste. El clima sería tropical sí no fuera por la altitud que refresca el clima con temperatura media de 19°C, presenta precipitaciones aproximadas de 900 mm y una distancia de referencia de 65 km de Tunja capital del departamento de Boyacá⁴²

⁴¹ Alcaldía de Moniquirá. Información del municipio. Internet: <http://www.moniquira-boyaca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

⁴² Ibid., 1p

Imagen 1. Ubicación geográfica del municipio de Moniquirá - Boyacá.



Fuente: Elaboración propia - Cartográfica OT municipio de Moniquirá SIGTER

El acueducto del municipio de Moniquirá realiza la captación sobre la quebrada la Sicha en límites de las veredas Monjas y Tierra de Gonzales y conduce su red principal de tuberías por las veredas Tierra de Gonzales y Papayal a llegar a la planta de tratamiento situada en el casco urbano.

4.5. MARCO DEMOGRÁFICO

El municipio de Moniquirá, localizado en el departamento de Boyacá, cuenta con una población total de 20.848 habitantes⁴³, que equivale a una densidad poblacional de 94.76 hab/km², donde 11.083 personas viven en la cabecera municipal y 9.765 personas hacen parte del centro poblado y rural disperso. Desde el año 1985, la población ha disminuido en 1.3% hasta llegar al dato proporcionado por el DANE en el 2018.

⁴³ DANE. “Censo nacional de población y vivienda”. 2018. Internet: <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#/>

De la totalidad de habitantes, el 49.5% son hombres y el 50.5 % son mujeres, donde la mayor cantidad de personas se ubican dentro de un rango de edad desde los 10 hasta los 20 años; contrario a esto, la menor población se ubica dentro de un grupo de edad desde los 75 hasta los 100 años.

4.6. ESTADO DEL ARTE

Los sistemas de captación y almacenamiento podrían llegar a convertirse en una parte fundamental para todo tipo de construcciones sostenibles. Y más en la actualidad, teniendo en cuenta su estado de escasez, puesto que la instalación de estos sistemas puede contribuir notablemente a lograr un ahorro significativo del recurso hídrico potable en el hogar.

El agua almacenada puede ser reutilizada para distintos usos ya sean no potables como el uso de sanitarios, riego, jardinería, lavaderos o potables con su correcto proceso de desinfección.⁴⁴

La superintendencia encontró que el 56% del acueducto denotan una problemática que se enmarca en la ausencia o deterioro de infraestructura, bajos niveles de inversión como consecuencia de recursos económicos limitados y falta de asistencia técnica.⁴⁵

El municipio de Monquirá es la capital de la provincia de Ricaurte, presenta una población muy inferior a las demás ciudades principales, pero se encuentra por encima de los 20 mil habitantes, por lo cual no se incluye en el análisis provisional,

⁴⁴ MONTERO, Juan Sebastián. Estado del arte de los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa en el ahorro de agua potable en viviendas. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá D. C. Universidad Santo Tomás. Facultad de ingeniería civil, 2006. 14 p.

⁴⁵MENDEZ Sebastián, Triana Alexander. Análisis del estado actual del acueducto del corregimiento de Tobia Cundinamarca y sus recomendaciones técnicas para su mejoramiento. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería civil. 2019. 27p.

dado que, en comparación a los demás municipios de la provincia, su población es alta. Presenta una leve disminución poblacional, pasando de 22.551 en 1985 y se proyecta a 2020 en 21.131 habitantes⁴⁶.

Por lo anterior, se infiere que Moniquirá es uno de los municipios con crecimiento poblacional medio, con un nivel de complejidad medio alto con una población entre 12501 a 60000 mil habitantes como reza en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básica RAS-2000 en el Título A; Aspectos Generales de los Sistemas de Agua Potable y Saneamiento Básico.⁴⁷

El sistema de abastecimiento existente se encuentra en jurisdicción de la empresa de servicios públicos de Moniquirá, la cual es una entidad oficial, que en sus inicios prestó únicamente el servicio de recolección de residuos, pero después de un tiempo de operación, en el año 2011, asumió la presentación de los servicios completos de acueducto, aseo y alcantarillado.⁴⁸ El perímetro urbano de Moniquirá se abastece de la quebrada La Sicha, compartiendo caudal y recibiendo caudal de algunas veredas del sector para abastecer la demanda necesaria para la comunidad y los habitantes del municipio de Moniquirá.

En la actualidad el sistema de abastecimiento está compuesto de la siguiente manera, una captación o bocatoma de fondo, que fue diseñada aproximadamente hace más de 50 años, sin existir registro técnico en la empresa de servicios público; teniendo en cuenta la antigüedad de la estructura, se infiere que, a las dos líneas de aducción hasta el desarenador, con pasar de los años, se les adiciono una tubería de más para aumentar la capacidad y poder satisfacer la demanda.

⁴⁶ GOBERNACIÓN DE BOYACÁ. Dinámicas de ocupación de suelo con relación a los asentamientos humanos. Tunja. 2018. p 12.

⁴⁷ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Op. Cit., p 38

⁴⁸ Alcaldía de Moniquirá. Actualización del plan de saneamiento y manejo de vertimientos municipio de Moniquirá. 2019. Internet: <http://www.moniquira-boyaca.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/Actualizaci%C3%B3n%20Plan%20de%20Saneamiento%20y%20Manejo%20de%20Vertimientos%20en%20Moniquir%C3%A1.pdf>

En el seguimiento de la gota de agua llegamos al desarenador, dos estructuras, en un buen estado aparentemente visual, pero que con un caudal de diseño apropiado seguramente cambiaría sus dimensiones. La línea de conducción hasta la planta de tratamiento se encuentra en material no apto según la resolución N 1166 del 2006.⁴⁹

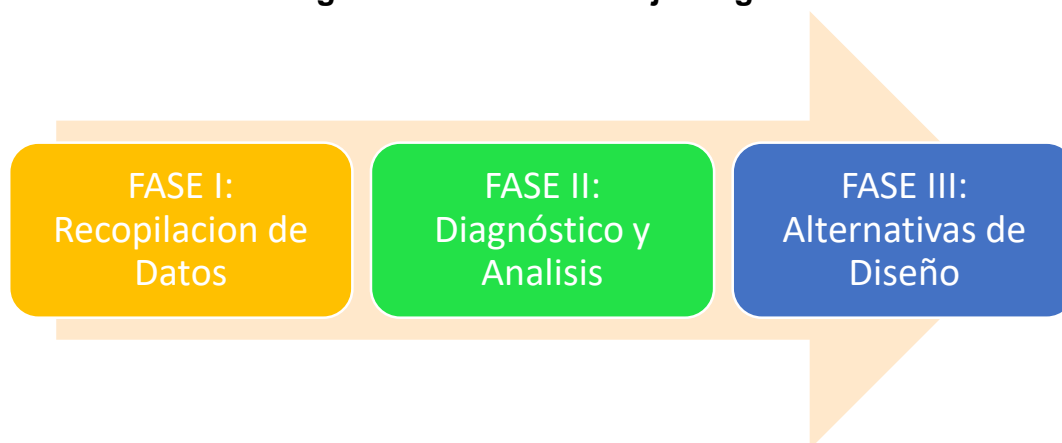
⁴⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1127 de 2007. Por la cual se modifica la Resolución No. 1166 de 2006. Bogotá. 2007. 7p

5. METODOLOGÍA

5.1. FASES DEL TRABAJO DE GRADO

El presente trabajo de grado es de investigación de tipo descriptiva, la cual pretende especificar las características técnicas del acueducto existente en el municipio de Moniquirá, Boyacá, con la finalidad de identificar las fallas desde la captación hasta la línea de conducción previo a la planta de tratamiento, para su posterior análisis y diseño. Las fases del trabajo de grado se componen de la siguiente manera:

Imagen 2. Fases del trabajo de grado



Fuente: Elaboración propia

FASE I: RECOPIACIÓN DE DATOS

El fondo de la investigación tendrá un enfoque mixto por que se requiere componente cuantitativa y cualitativa en su desarrollo. El aspecto cuantitativo características de mediciones de las variables del estudio, como es el levantamiento topográfico obteniendo dimensiones precisas, igualmente tendrá un enfoque cualitativo ya que se analizarán datos teóricos, sobre un marco de referencia indicado bajo una norma, como lo son tablas de consumo de uso del agua según las necesidades del municipio de Moniquirá.

El proyecto, diagnóstico y propuesta de mejoras para la captación, aducción, desarenador y línea de conducción del Acueducto de Municipal de Moniquirá – Boyacá, se realizara en forma de investigación de forma descriptiva, teniendo en cuenta la información al detalle de todo los componentes del sistema de acueducto existente con el propósito de plantear alternativas en el diseño de las estructuras hidráulicas y fuente de captación para optimizar la capacidad de servicio desde la captación hasta la línea de conducción previo a la planta de tratamiento.

FASE II: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS

Una vez identificada la metodología de la investigación en la fase conceptual, se evaluará la metodología para la toma y procesamiento de la información; la cual tendrá como datos de entrada la información secundaria recopilada previamente a la salida de campo correspondientes a información primaria, una vez consolidada la información se realizará el análisis y el procesamiento de esta, en donde se obtendrá dos variables, de monitoria y control, las cuales están definidas en toda la normativa que regule el diseño de las obras que se proyecten y las instituciones y organismos de control para el diseño, puesta en marcha y operación del sistema.

FASE III: ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Luego de haber determinado las estructuras que se van a mejorar, es necesario realizar los diseños de estos componentes teniendo en cuenta las consideraciones establecidas en la Resolución 0330 de 2017, en el cual indica “que se deben seguir unos pasos específicos previamente seleccionados de acuerdo a los diseños que se vayan a realizar; para este caso el mejoramiento del sistema de acueducto de Moniquirá:

- Definición y localización de cada uno de los componentes del proyecto.
- Visita de campo
- Selección de alternativas
- Diseño hidráulico.
- Realiza análisis de la demanda poblacional con un tiempo de retorno de 30

años según la RAS para acueducto de alta complejidad.

5.2. INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

El estudio a realizar comprende la línea de manejo de recursos hídrico, enfocándose en el análisis hidráulico. El trabajo cuenta con varias visitas de campo con el interés de caracterizar desde la captación, con todos los componentes estructurales e hidráulicos desde la quebrada La Sicha hasta la planta de tratamiento en zona periférica del casco urbano en el municipio de Moniquirá departamento de Boyacá

5.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

El proyecto Diagnóstico y Propuesta de Mejoras para la Captación, Aducción, Desarenador y Línea de Conducción del Acueducto Municipal de Moniquirá – Boyacá tiene como objeto específico suministrar el derecho y el servicio de agua potable para los 20.848 habitantes y usuarios, cifra que según la proyección de población se calculara con un periodo de retorno de 25 años para un nivel de complejidad de medio alto.

5.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

Con el proyecto Diagnóstico y Propuesta de Mejoras para la Captación, Aducción, Desarenador y Línea de Conducción del Acueducto Municipal de Moniquirá tiene estipulado como alcance técnico identificar y mejorar bajo un concepto hidráulico la captación, desarenador y línea de conducción del sistema de acueducto de Moniquirá con todos los parámetros indicados según la normatividad vigente.

5.5.

CRONOGRAMA

Tabla 3. Cronograma General

ACTIVIDAD	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
1 ANTEPROYECTO												
1.1 Temas o alternativas de trabajo de Grado	■											
1.2 Titulo o nombre del proyecto		■										
1.3 Clases de tutorias con docente de la Universidad Catolica		■	■	■	■	■						
1.4 Capturas de informacion		■	■	■	■	■						
1.5 Elaboracion de Anteproyecto			■	■	■	■	■					
1.6 Sustentacion					■							
2 PROYECTO DE GRADO												
2.1 Observaciones del Anteproyecto						■	■	■	■	■	■	■
2.2 Clases de tutorias con docente de la Universidad Catolica						■	■	■	■	■	■	■
2.3 Visita de campo						■	■	■	■	■	■	■
2.4 Elaboracion de Topografía						■	■	■	■	■	■	■
2.5 Informe de diagnostico						■	■	■	■	■	■	■
2.6 elaboracion de diseños según diagnostico						■	■	■	■	■	■	■
2.7 Presentacion de diseño						■	■	■	■	■	■	■
2.8 Informa de trabajo de grado						■	■	■	■	■	■	■
2.9 sustentacion de trabajo de grado						■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Elaboración propia

5.6. PRESUPUESTO

Tabla 4. Presupuesto

ID	ACTIVIDAD	VALOR
1	Equipos (Estacion Topografica y GPS)	\$ 500 000.00
2	Visitas y salidas de Campo al Municipio de Moniquira	\$ 850 000.00
3	Personal (Topografo, Cadenero, Fontanero)	\$1 560 000.00
4	Elaboracion de informes, impresiones, planos y planchas	\$ 40 000.00
	TOTAL	\$ 2 950 000.00

Fuente: Elaboración propia

6. PRODUCTOS POR ENTREGAR

Se realizará la entrega de un documento Word del diagnóstico y propuestas de mejoras del acueducto del municipio de Moniquirá con los respectivos diseños de mejoras que será de valiosa información para la empresa prestadora del servicio que impactará de manera positiva a la comunidad beneficiada del servicio.

7. DIAGNÓSTICO

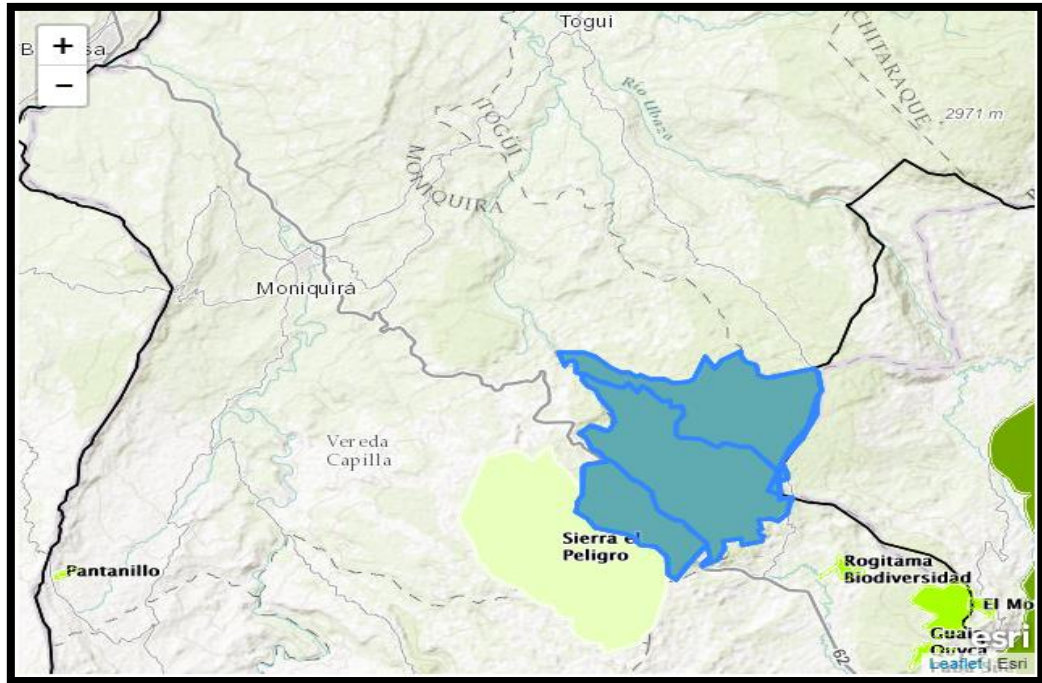
Con la finalidad de establecer un diagnóstico de las condiciones actuales del acueducto de Moniquirá y a partir de esto realizar propuestas de mejora en la prestación del servicio, se consideran las siguientes características demográficas e hidráulicas del sistema, esto desde la fuente de abastecimiento hasta la entrada a la planta de tratamiento PTAP.

7.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

El municipio de Moniquirá cuenta con una población de 23200 habitantes de los cuales 12.228 se encuentran en la cabecera municipal y 10972 zona rural y dispersos. Según la información del DANE 2018 en la zona rural dispersa, siendo esta cabecera de provincia de bajo Ricaurte, su principal fuente de abastecimiento es la quebrada la Sicha de la serranía el Peligro y que afluye el río Moniquirá. Posee una cobertura de bosque andino en aceptable estado de conservación que se prolonga hacia el norte, hasta el PNR El peligro, y de gran importancia regional ya que constituye la fuente de abastecimiento del acueducto municipal.

Dentro de la cuenca del río Medio y Bajo Suarez la Serranía el Peligro está compuesta por 2426.89 hectáreas. Según el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) y el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP).

Imagen 3. Esquema PNR El Peligro y Serranía el peligro.



Fuente: <https://runap.parquesnacionales.gov.co/area-protogada/485>

Hidrología

Según el POMCA consultado para la zona y con el propósito de tener datos sobre la fuente de abastecimiento, se extraen los siguientes datos importantes:

Primero, dentro del estudio de la cuenca del río Suárez se identifican cinco (5) sistemas por grado de importancia, los cuales fueron las sub-cuencas de los ríos Sutamarchán - Moniquirá, Sámaca, Valle, Riachuelo y Chontal. Estos sistemas comprenden un área aproximada de 1324.5 km², con una elevación que varía entre los 3050 m.s.n.m. y los 1050 m.s.n.m. De acuerdo con el estudio hidrográfico de los cauces, existen tres valles como son el Valle del Samacá, El río Valle, Chontal y la microcuenca Valle Name, los cuales son los únicos sistemas que presentan pendientes moderadas, en los demás componentes se presentan cauces angostos y alargados de altas pendientes, sistemas que por su orografía pueden generar altos

procesos erosivos.

Segundo, para el análisis climatológico, los registros obtenidos de estaciones varían entre 20 y 40 años. Dentro de los sistemas analizados las temperaturas se encuentran entre $-0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $30.39\text{ }^{\circ}\text{C}$, esto indica que se presentan pisos térmicos entre el páramo y el cálido. La humedad relativa dentro del sistema se desarrolló en un contexto local, oscila entre el 66% y el 87%; la precipitación anual corresponde a un ciclo bimodal, con valores desde 678 mm a 2549 mm. Los periodos de retorno de las lluvias en los dos últimos años (2009-2010) se incrementaron a eventos que se esperaban en 50 años. Los caudales de estiaje y medios que se generaron para cada microcuenca se relacionan a continuación:

- Índice de aprovechamiento de cauces para q_{75} en época de estiaje, para la quebrada la Sicha es del 43 % con un área de $15,358\text{ km}^2$ y una clasificación alta, lo cual indica que el porcentaje de la oferta hídrica utilizada es $>40\%$ lo cual quiere decir que existe una fuerte presión sobre el sistema hídrico, denota una urgencia para invertir y controlar la oferta y la demanda. Es insuficiente la oferta hídrica para atender la alta demanda.
- El índice de aprovechamiento de cauces para flujo base (caudal medio) para la quebrada la Sicha, con un 18% lo cual se clasifica como bajo que corresponde a que no hay presiones importantes del recurso hídrico en términos de calidad de agua.

La relación entre la demanda hídrica total y oferta hídrica disponible estimada determina la capacidad de la cuenca hidrográfica para suplir los diferentes usos y actividades productivos. La cuenca Media y Baja del río Suarez relaciona IUA con una categoría Baja, caracterizando de forma general, en buen estado del recurso hídrico en referencia a la cantidad de la oferta hídrica superficial.

Concesión de aguas superficiales

✓ **Resolución 4107 de 04 de diciembre 2019**

“Por medio de la cual se otorga una Concesión de Aguas Superficiales y se toman otras determinaciones”

Como indica en la resolución la ubicación geográfica de la bocatoma está en mismo sitio que se encontró según las visitas de campo y el estudio topográfico realizado, en la siguiente imagen se puede observar la ubicación según coordenadas geográficas digitadas en Google map.

Imagen 4. Información de localización destinada según coordenadas indicadas en la resolución 4107



Fuente: tomada de Google maps

Concesión aprobada por CORPOBOYACA la localización latitud $5^{\circ}50'03.7''N$ longitud $73^{\circ}32'48.8''O$ Altitud 1900 m.s.n.m. localizada en la vereda Gonzales del municipio de Moniquirá (Boyacá) en un caudal total de 35.57 l/s. para satisfacer necesidades de uso doméstico en beneficio de 3851 usuarios.

**Tabla 5. Caudal concesionado según resolución 4107 aprobado por
CORPOBOYACA**

Resolución N° 4107 del 04 de Diciembre 2019 - Quebrada la Sicha					
Año	Población Permanente	Caudal Otorgado Población Permanente (L/s)	Población Transitoria	Caudal Otorgado Población Transitoria (L/s)	Q Total Otorgado (L/s)
2019	10715	19.84	7562	4.44	24.28
2020	10799	20			24.44
2021	10884	20.16			24.6
2022	10969	20.31			24.75
2023	11054	20.47			24.91
2024	11141	20.63			25.07
2025	11227	20.79			25.23
2026	11314	20.95			25.39
2027	11402	21.11			25.55
2028	11490	21.28			25.72
2029	11579	21.44			25.88
2030	11668	21.61			26.05

Fuente: Corpoboyacá, 2019.

✓ **Resolución 4263 del 16 de diciembre del 2019**

“Por medio de la cual se otorga una Concesión de Aguas Superficiales y se toman otras determinaciones”

Tabla 6. Caudales y uso de acuerdo a la Resolución 4263 de la Rio Pómecca, aprobado por CORPOBOYACA

Resolución N° 4263 del 16 de Diciembre 2019 - Rio Pómecca			
Caudal l/s	Zona de Uso	Uso	Frecuencia de Uso
18	Suscriptoras Veredas: Maciegal, Naranjal, San Esteban, San Vicente, Neval y Cruces, Papayal, Porteo grande, Pueblo viejo, Canoas y San Rafael, Colorad. Jordán, Novillero, Tierra de Castro, Tapias y San Antonio y Ubaza	Domestico	Continuo
26.05	Perímetro Urbano	Doméstico	Únicamente cuando se presentan contingencias por desabastecimiento en la fuente principal.

Fuente: Corpoboyacá, 2019.

El sistema de acueducto en la actualidad tiene un aporte de un acueducto veredal que para épocas de contingencias realiza un aporte con el mismo caudal aprobado para la quebrada la Sicha de 26.05 l/s, el cual tiene una vigencia hasta el año 2030. La información detallada de las resoluciones se incluye en el Anexo 1.

Empresa de servicios públicos de Monquirá S.A E.S.P.

La empresa prestadora del servicio aportó poca información relevante de diseño hidráulico de alguna de las estructuras de estudio, afirman que no existen planos ni memorias de cálculo, debido a que las obras son de mucho tiempo atrás.

Los fontaneros con mayor experiencia en la empresa aportaron acompañamiento y recorrido desde la bocatoma, aducción, desarenador y conducción y demás obras complementarias del acueducto, señalando el recorrido de la red, diámetros, materiales y demás información secundaria de carácter importante.

La empresa actualmente demanda en su macro medidor 46 l/s para suplir la necesidad de la población y afirman que en época de festividades es insuficiente para los usuarios ubicados en las partes más altas de la zona urbana, esto se debe a que el municipio por su ubicación geográfica y climatológica atrae gran cantidad de turistas e inversionista.

Del acueducto del norte nos indican que, por aforos volumétricos realizados por su equipo de trabajo, La fuente alterna proveniente del río Pómeca suministra 15 l/s de manera estable y continúa en una tubería PVC de 4 pulgadas de diámetro operada mediante una válvula de paso que en época de invierno controlan el caudal manualmente.

La poca información aportada por la empresa se encuentra en el Anexo 2.

7.2. TOPOGRAFÍA

La única forma de tener ingeniería de detalle es con la recopilación de todos los

aspectos relevantes de altimetría y planimetría del terreno por medio de un estudio topográfico. El acueducto de Monquirá se encuentra ubicado en pendientes altas y medias con una topografía muy escarpada; en especial la bocatoma se ubica en la parte media de la cuenca de la quebrada la Sicha en una zona muy boscosa y de difícil de acceso.

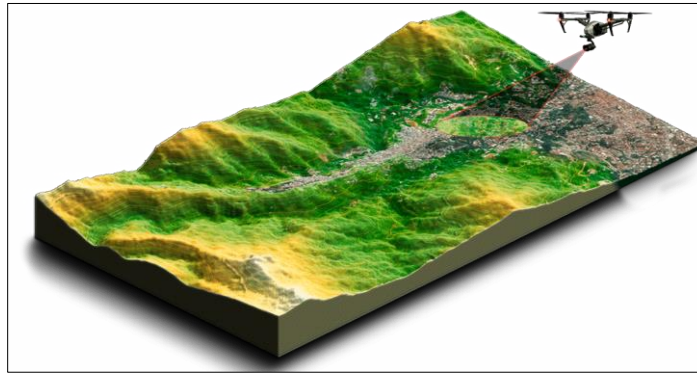
Con el propósito de obtener un resultado muy acertado en el menor tiempo posible con un rendimiento alto en las actividades de campo se optó por realizar el levantamiento mediante el uso de topografía por dron no tripulado y topografía convencional por medio de estación topográfica total.

Topografía mediante dron no tripulado

Tiene como propósito realizar la topografía mediante vuelos controlados de manera remota por medio de un controlador o control previamente programado según las necesidades o producto. Abordo del dron, va una cámara de alta definición y ajuste óptico, adicionalmente cuenta con un GPS, el cual puede realizar triangulaciones con los puntos de control que momentáneamente se encuentran en campo materializados, de tal manera que se pueda triangular. A la vez estos puntos se encuentran referenciados por un banderín de tal forma que se logre identificar desde al aire y poder geo-referenciar esos dos puntos en común.

Para identificar la topografía del trazado de la línea de conducción del acueducto del municipio, se realizó el vuelo por segmentos o plan de vuelo de tal manera que cada vuelo tome un punto de control, como se puede evidenciar en la imagen 5, puntos de control que se materializa en campo y se posicionan mediante GPS, para un postproceso posterior e incorporaciones de la otra metodología de levantamiento convencional por estación total.

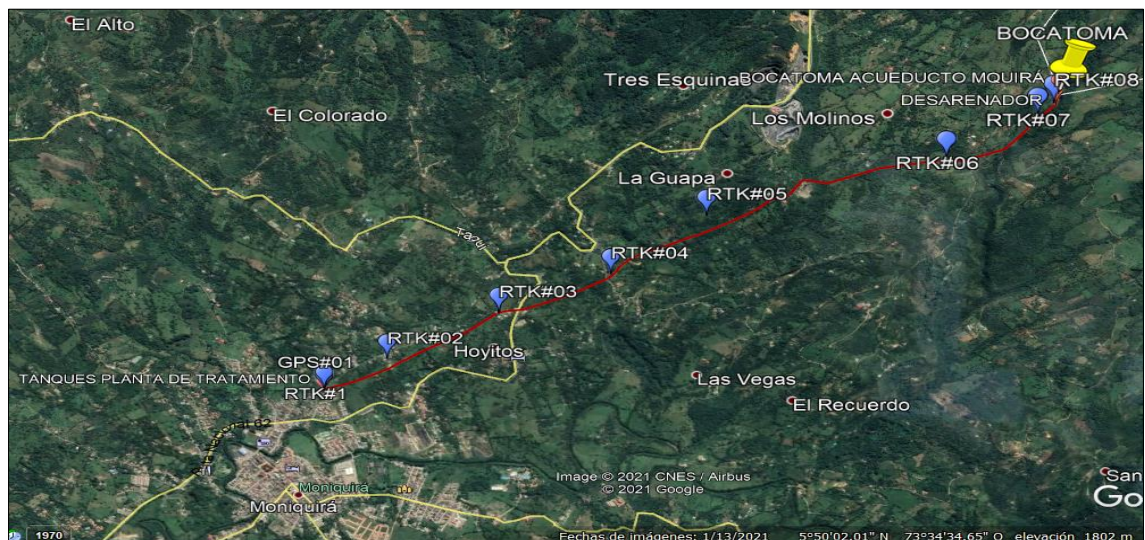
Imagen 5 Imagen de plan de vuelo para un levantamiento topográfico.



Fuente: <https://serviciodrone.co/fotogrametria-y-topografia/>

- ✓ **Puntos de control:** A lo largo de los casi 5 km de la línea de acueducto se instalaron puntos georeferenciados, de tal manera que fueran visibles a la hora del vuelo y se levantan con GPS en modo RTK, con una base permanente durante todo el día de trabajo, instalada en la planta de tratamiento, como punto base de la georreferenciación observada en la fotografía 1.

Imagen 6. Puntos de control estáticos y trazado de la red del acueducto



Fuente: Elaboración propia realizada en Google Earth

En la siguiente tabla se muestra el listado de puntos georeferenciados que se se

materializaron a lo largo de la línea de la conducción entre la planta de tratamiento PTAP y Bocatoma, todos los puntos trazados fueron marcados a lo largo de la línea, lo más cercano a la tubería existente.

Fotografía 1. Punto GPS1, base georeferenciada en tiempo real



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Lista de puntos de control RTK a lo largo de trazado existente y punto BASE en la planta de tratamiento, en coordenadas geográficas.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS					
NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ell.height	Ondulación	msnm
GPS1	5°52'24.85231"	73°33'55.63640"	1766.303	22.1	1744.203
RTK1	5°52'24.81091"	73°33'54.92819	1767.45	22.1	1745.35
RTK2	5°52'10.71291"	73°33'46.97992	1804.755	22.2	1782.555
RTK3	5°51'47.19700"	73°33'35.69910"	1862.904	22.3	1840.604
RTK4	5°51'25.23950"	73°33'26.87407"	1860.724	22.4	1838.324
RTK5	5°51'06.38452"	73°33'13.14278"	1938.488	22.6	1915.888
RTK6	5°50'23.01348"	73°33'02.04667"	2001.46	22.8	1978.66
RTK7	5°50'07.29377"	73°32'53.11487"	2040.137	22.9	2017.237
RTK8	5°50'04.74881"	73°32'50.61057	2044	22.9	2021.1

Fuente: Elaboración propia

Fotografía 2. Levantamiento de puntos de control con el rover por GPS RTK



Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Lista de puntos de control RTK y punto base en coordenadas planas sistema de referencia MAGNA-SIRGAS

COORDENADAS PLANAS - SISTEMA DE REFERENCIA MAGNA-SIRGAS					
NOMBRE	NORTE	ESTE	ell.height	Ondulación	msnm
GPS1	1141282.022	1056705	1766.303	22.1	1744.203
RTK1	1141280.77	1056726.788	1767.45	22.1	1745.35
RTK2	1140847.911	1056971.69	1804.755	22.2	1782.555
RTK3	1140125.832	1057319.381	1862.904	22.3	1840.604
RTK4	1139451.559	1057591.487	1860.724	22.4	1838.324
RTK5	1138872.735	1058014.443	1938.488	22.6	1915.888
RTK6	1137540.715	1058357.044	2001.46	22.8	1978.66
RTK7	1137058.071	1058632.275	2040.137	22.9	2017.237
RTK8	1136979.963	1058709.392	2044	22.9	2021.1

Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. Fotografía aérea de la planta de tratamiento PTAP, el punto Base estático y el primer punto RTK#01.



Fuente: Elaboración propia

- ✓ **Plan de Vuelo:** El plan de vuelo se organizó en el mismo sentido del trazado del acueducto existente, teniendo una cuenta una franja con una cobertura de aproximadamente 50 metros a lado y lado del trazado, en tipo de faja de terreno, levantando a la izquierda y derecha del trazado de eje del trazado existente.

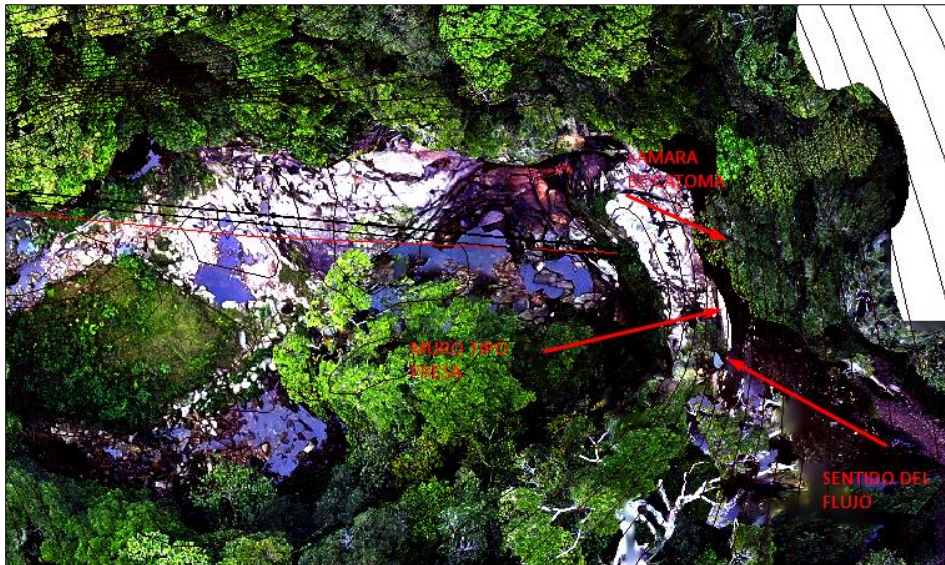
Imagen 7. Imagen didáctica de plan de vuelo por drone, que de manera remota se programa el drone



Fuente: Elaboración propia

A lo largo del plan de vuelo el dron capta fotografías áreas, con características específicas; velocidad, altura, ubicación (GPS), resolución de la cámara y correcciones por el movimiento del viento. Se tomó alrededor de 3600 ortofotos aproximadamente, considerando toda la toma en los vuelos desde la planta hasta la bocatoma. Con toda la información recolectada se realizó una foto mosaico, de tal manera que se organizaron todas las fotografías capturas con sus características técnicas para obtener un producto topográfico o plano topográfico. A partir de esto, se pueden analizar todas las dimensiones posibles tanto en planimetría y altimetría para obtener un modelo de terreno digital.

Fotografía 4. aérea de la zona de la bocatoma, vista aérea después de la digitalización del modelo digital de terreno.



Fuente: Elaboración propia

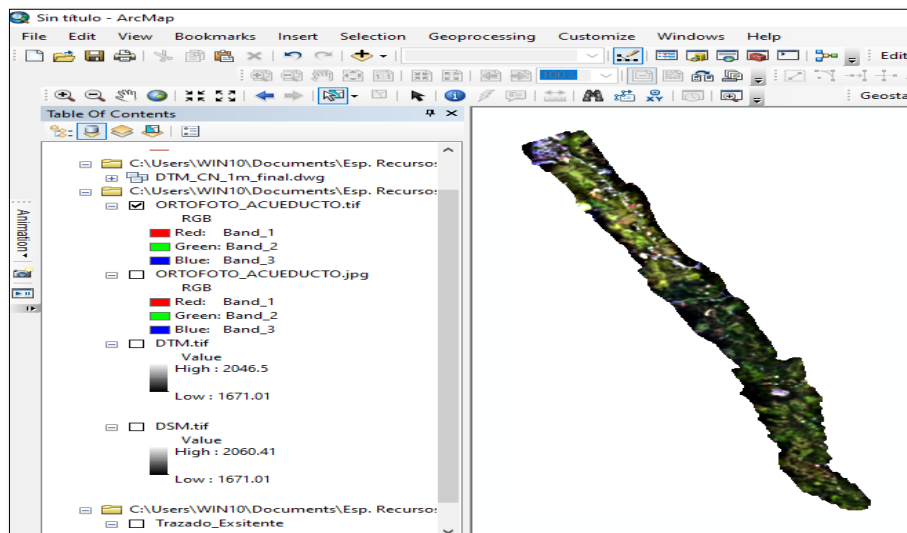
- ✓ **Modelo de Terreno Digital MDT:** Una vez obtenido el ortomosaico y de restituir las imágenes, se realiza el procesamiento de la información de tal manera que se logre obtener el modelo vertical en formato "tif", con una densidad de información plasmada en un pixel. Este contiene información sumamente importante como la elevación, logrando obtener una superficie

con gran cantidad de curvas de nivel cada 1m, lo cual indica que el proceso de la información se obtuvo un resultado de alta precisión, teniendo en cuenta que es una herramienta tecnológica totalmente nueva.

- ✓ **Producto Final:** Una vez terminado todo el proceso del levantamiento topográfico por medio de dron se obtiene la topografía desde la planta de tratamiento hasta la bocatoma, con el modelo de terreno digital deseado para identificar la planimetría y altimetría, características importantes para el diagnóstico del presente proyecto.

Aunque el modelo de terreno digital es de gran avance de la información de campo, se tuvo que hacer algunos ajustes, ya que las copas de los árboles obstruyen el modelo digital de terreno, por lo tanto se debe ajustar algunas curvas, interpolando entre las partes planas, para que de esta manera se logre obtener un perfil real del terreno, y reconocer la diferencia de nivel gracias a la gravedad, insumo sumamente importante para el diseño de acueductos.

Imagen 8. Producto final del levantamiento por dron.



Fuente: Elaboración propia

Topografía convencional

Esta actividad complementaria se realizó, ya que el resultado de la topografía por dron no contó con la precisión necesaria en la zona boscosa de la bocatoma, en la cual se hace difícil asumir o interpolar cotas. Por tal motivo se realiza la topografía convencional por estación topográfica, saliendo de los mismos puntos de control utilizados para el levantamiento por dron, para este caso se sale de los puntos RTK 7 y RTK 8.

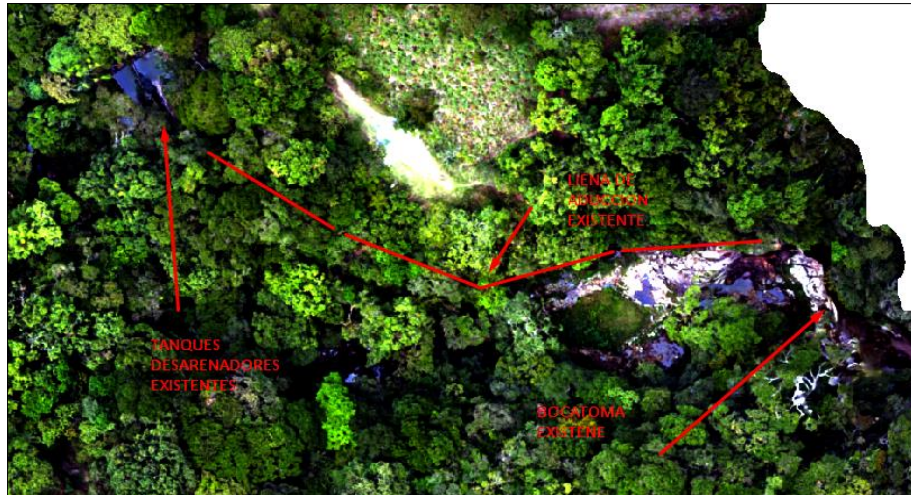
Fotografía 5. Levantamiento convencional por estación total, para la captación, línea de aducción y desarenador.



Fuente: Elaboración propia

Se realizó el levantamiento de toda la estructura de la bocatoma, línea de aducción y tanques desarenadores, todas estas se encuentran cubierta por la alta vegetación, lo cual fue difícil realizar el levantamiento por dron.

Fotografía 6. Vista área por medio del dron de la ubicación de la bocatoma, línea de aducción y tanque desarenador.



Fuente: Elaboración propia

Se realizó la topografía por estación total GTS-223 por todo el trazado de la línea de aducción desde la bocatoma, de tal manera que se pueda reconocer las condiciones de las dos líneas de aducción que salen directamente desde la cámara de captación adjunto al muro tipo presa.

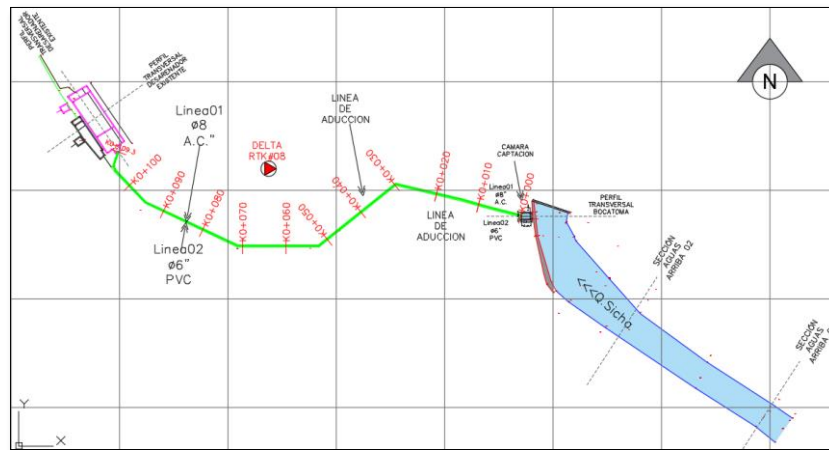
Fotografía 7. Levantamiento topográfico de la estructura de la bocatoma.



Fuente: Elaboración propia

La longitud entre los tanques desarenados es de 109.3m, en dos tramos paralelos con un diámetro de 8" (200mm) y 6" (160mm). A lo largo de los dos tramos se encontró dos accesorios; dos codos de 90° del mismo diámetro en las abs K0+030 y K0+052, en material de asbesto cemento para la tubería de 8" y PVC para la tubería de 6"

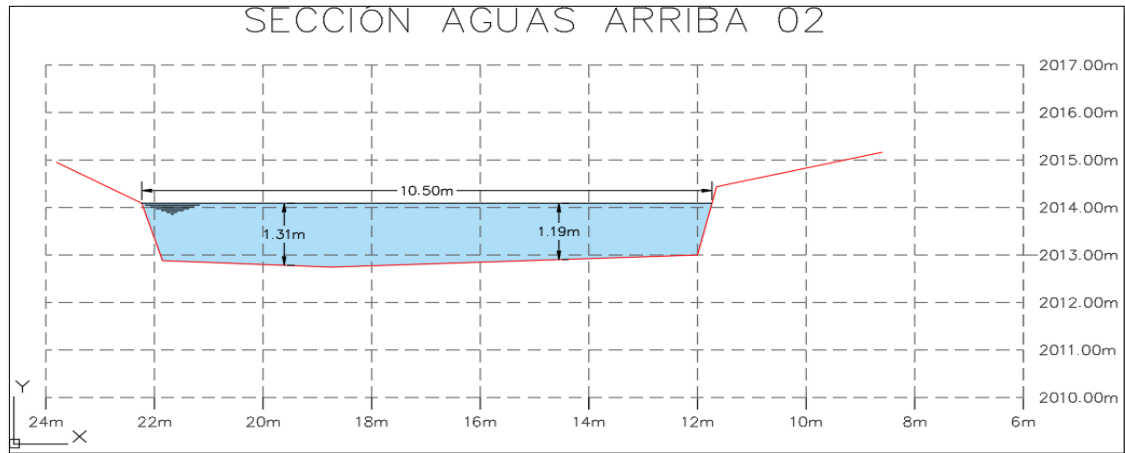
Imagen 9. Levantamiento por topografía convencional entre la Bocatoma y Tanques desarenadores.



Fuente: Elaboración propia

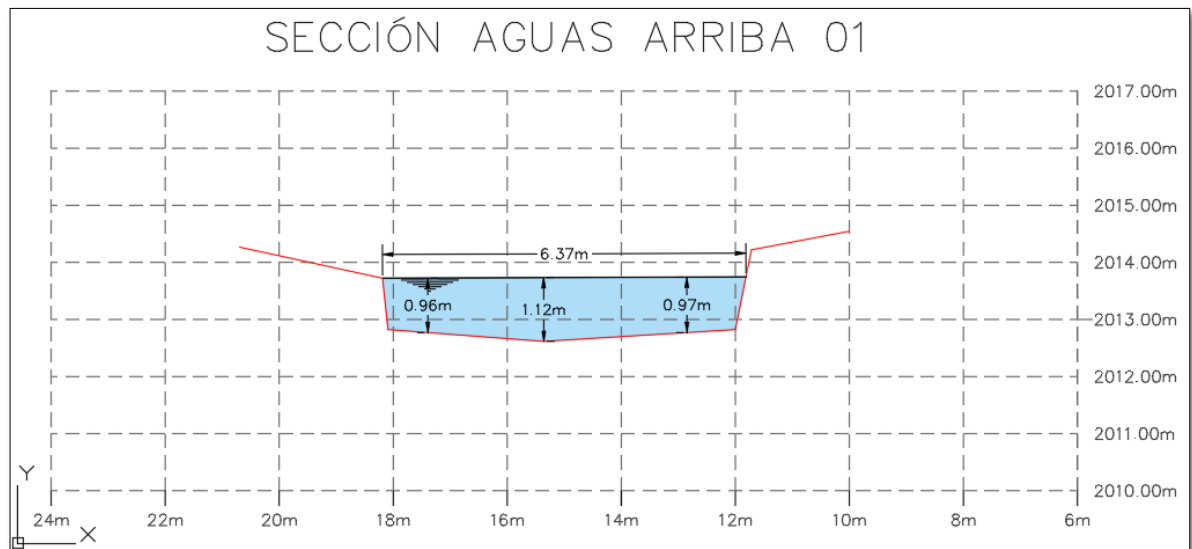
La topografía por estación total como metodología convencional, se cubrió desde la captación y unos cuantos metros aguas arriba de tal manera que tuviéramos una caracterización sobre la forma del cauce de la quebrada en secciones transversales.

Imagen 10. Sección transversal 02 aguas arriba de la captación.



Fuente: Elaboración propia

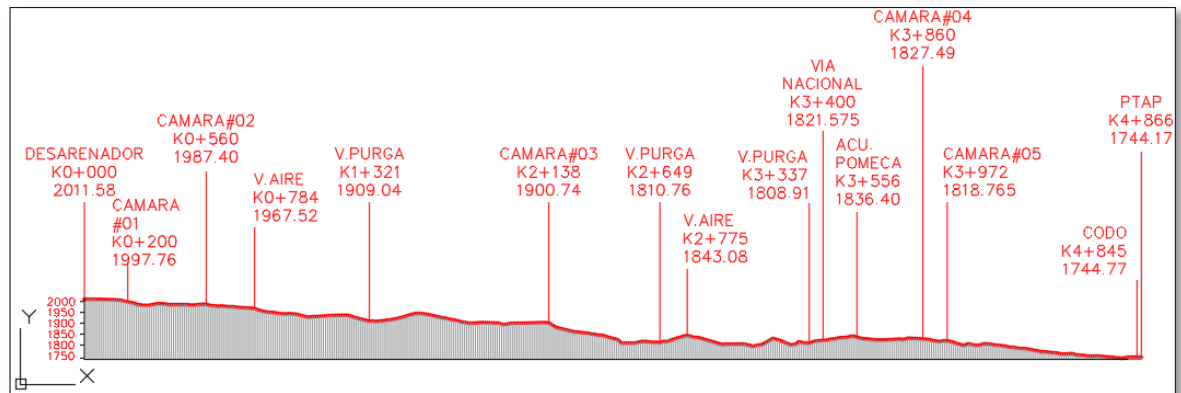
Imagen 11. Sección transversal 01 aguas arriba de la captación.



Fuente: Elaboración propia

El resultado general del estudio topográfico teniendo en cuenta que es el principal insumo de la ingeniería de detalle para proyectar un diagnóstico y posterior algunas alternativas de diseño, la topografía del acueducto existente arroja una longitud de 4866 metros entre la planta y el desarenador, y una diferencia de nivel de 267.41m.

Imagen 12. Perfil longitudinal esquemático desde desarenador hasta la planta de tratamiento.



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se evidencia la relación de accesorios y puntos importantes a lo largo de todo el trazado existe, identificando válvulas cámaras o tanques, y algunos accesorios hasta la planta de tratamiento.

Tabla 9. Lista de nodos a lo largo del trazado según topografía levantada.

ELEMENTOS LÍNEA DE ADUCCIÓN						
Línea Aducción desde cámara de captación hasta tanque desarenador						
ABS	Elemento	Cota	Línea 1		Línea 2	
			Ø	MATERIAL	Ø	MATERIAL
K0+000	Salida Cámara Captación	2012.321	8"	Asbesto Cemento	6"	PVC
K0+030	Codo 90	2011.974	8"	PVC	6"	PVC
K0+052	Codo 90	2011.799	8"	PVC	6"	PVC
K0+109.3	Entrada Desarenador	2011.706	8"	Asbesto Cemento	6"	PVC
ELEMENTOS LÍNEA DE CONDUCCIÓN						
Línea Conducción desde los tanques desarenadores hasta la planta						
ABS	Elemento	Cota	Línea 1		Línea 2	
			Ø	MATERIAL	Ø	MATERIAL

K0+000	Salida Desarenador	2011.58	8"	Asbesto Cemento	8"	PVC
K0+200	Cámara quiebre 01	1997.76	8"	Asbesto Cemento	8"	PVCPVC
K0+560	cámara quiebre 02	1987.4	8"	Asbesto Cemento	8"	PVC
K0+784	Válvula Aire	1967.52	8"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K1+312	Válvula Purga	1909.04	8"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K2+138	cámara quiebre 03	1900.74	8"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K2+649	Válvula Purga	1810.76	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K2+775	Válvula Aire	1843.08	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K3+337	Válvula Purga	1808.91	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K3+400	Vía Nacional	1821.575	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K3+556	Unión Acueducto Pómea	1836.4	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K3+860	cámara quiebre 04	1827.49	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K3+972	cámara quiebre 05	1818.765	6"	Asbesto Cemento		
K4+845	Accesorios	1744.77	6"	Asbesto Cemento		
K4+866	Planta Tratamiento Agua Potable	1744.17	6"	Asbesto Cemento		

Fuente: Elaboración propia

La información topográfica detallada se incluye en el Anexo 3.

7.3. POBLACIÓN PROYECTADA

Para el cálculo de la proyección de la población se realizó con la recolección de la información del DANE, sobre el último censo, en el periodo comprendido entre 1985 y 2017.

Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS con la última modificación la Resolución 0330 del 08 del 2017, indica que se debe proyectar mínimo a 25 años, para el desarrollo de esta proyección se proyectó en un periodo de diseño de 30 años. Teniendo en cuenta 5 años aproximadamente de estudio previos y construcción. Los siguientes datos se tomaron como línea base para la proyección.

Tabla 10. Población Base DANE 1985-2017

POBLACION BASE DANE	
AÑO	Población
1985	20206
1986	20193
1987	20232
1988	20259
1989	20250
1990	20309
1991	20305
1992	20372
1993	20411
1994	20482
1995	20581
1996	20670
1997	20749

1998	20820
1999	20876
2000	20949
2001	21012
2002	21069
2003	21125
2004	21213
2005	21242
2006	21327
2007	21440
2008	21513
2009	21624
2010	21754
2011	21811
2012	21887
2013	21983
2014	21982
2015	22108
2016	22302
2017	22265

Fuente: Elaboración propia

7.3.1. Proyección método aritmético

El método aritmético, supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. Para el año 2051 que sería un periodo de diseño de 30 años se obtuvo una población de 24757 habitantes y para 25 años en el año 2047 se obtuvo una población de 24463 habitantes para el municipio de Monquirá.

7.3.2. Proyección método geométrico

El método geométrico es útil en población que muestran una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayoría dificultades. Para el año 2051 que sería un periodo de diseño de 30 años se obtuvo una población de 24997 habitantes y para 25 años en el año 2047 se obtuvo una población de 24658 habitantes para el municipio de Moniquirá.

7.3.3. Proyección método exponencial

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 muestre apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. Para el año 2051 que sería un periodo de diseño de 30 años se obtuvo una población de 24930.90 habitantes y para 25 años en el año 2047 se obtuvo una población de 24615.42 habitantes para el municipio de Moniquirá.

7.3.4. Proyección población final

Recopilando los resultados finales de los métodos aplicados, se presentan en la Tabla 11 con el promedio de cada proyección.

Tabla 11. Resumen general de proyección de los métodos utilizados.

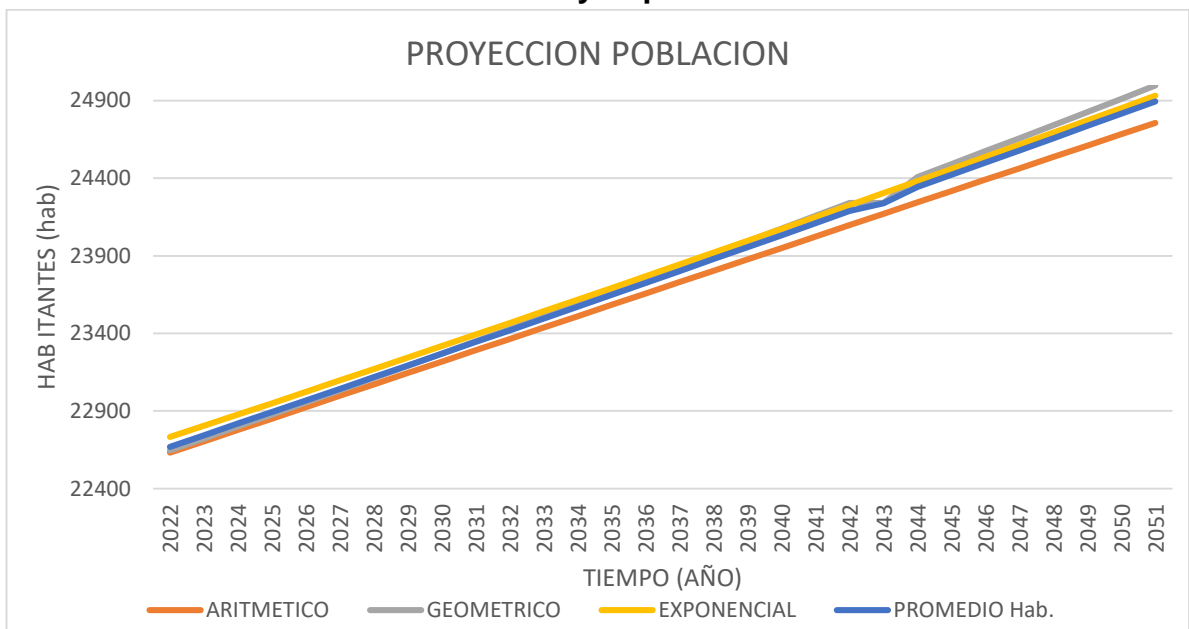
RESUMEN GENERAL DE PROYECCION DE POBLACION				
AÑO	ARITMETICO	GEOMETRICO	EXPONENCIAL	PROMEDIO Hab.
2018	22338	22341	22444	22374
2019	22412	22416	22516	22448

RESUMEN GENERAL DE PROYECCION DE POBLACION				
AÑO	ARITMETICO	GEOMETRICO	EXPONENCIAL	PROMEDIO Hab.
2020	22485	22493	22588	22522
2021	22558	22569	22660	22596
2022	22631	22646	22732	22670
2023	22705	22723	22805	22744
2024	22778	22800	22877	22818
2025	22851	22878	22950	22893
2026	22925	22956	23023	22968
2027	22998	23034	23097	23043
2028	23071	23112	23171	23118
2029	23144	23191	23244	23193
2030	23218	23270	23319	23269
2031	23291	23349	23393	23344
2032	23364	23429	23468	23420
2033	23438	23508	23542	23496
2034	23511	23589	23617	23572
2035	23584	23669	23693	23649
2036	23657	23750	23768	23725
2037	23731	23831	23844	23802
2038	23804	23912	23920	23879
2039	23877	23994	23996	23956
2040	23950	24076	24073	24033
2041	24024	24158	24150	24110
2042	24097	24240	24227	24188
2043	24170	24240	24304	24238
2044	24244	24406	24381	24344
2045	24317	24490	24459	24422
2046	24390	24574	24537	24500
2047	24463	24658	24615	24579
2048	24537	24742	24694	24658

RESUMEN GENERAL DE PROYECCION DE POBLACION				
AÑO	ARITMETICO	GEOMETRICO	EXPONENCIAL	PROMEDIO Hab.
2049	24610	24827	24773	24736
2050	24683	24912	24852	24816
2051	24757	24997	24931	24895

Fuente: Elaboración propia

Grafica 1. Proyección de población por todos los métodos; Aritmético, Geométrico y Exponencial.



Fuente: Elaboración propia

Las memorias de cálculo de la población proyectada al 2051 se incluyen en el Anexo 4.

DOTACIÓN NETA Y BRUTA

La cantidad de usuarios solicitada a la empresa de servicio públicos de Monquirá nunca fue suministrada, por tal motivo se determinó el cálculo en función de la población y la altura sobre el nivel del mar, como lo indica el reglamento técnico del

sector de agua potable y saneamiento básico RAS y en la última modificación, la resolución 0330 del 08 de junio del 2017.

El municipio de Moniquirá está a una altura promedio sobre el nivel del mar de 1669 m.s.n.m. y va a contar con una población de 24895 *hab* para el periodo horizonte de 30 años que corresponde al año 2051, por lo tanto, la dotación neta máxima corresponde a 130 L/s/día y una dotación bruta de 173.33 L/s/día, garantizando que la pérdida no exceda el 25%.

CAUDALES DE DISEÑO

Con la dotación neta máxima de 130 L/s/día y con la dotación bruta de 173.33 L/s/día, se calcula los caudales de diseño para cada uno de los componentes del sistema en función de las variaciones diarias y horarias según lo indicado en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS con la última modificación la Resolución 0330 del 08 junio del 2017.

Como la población proyectada es 24895 habitantes, mayor a 12500 habitantes para el periodo de diseño se calcula el caudal máximo diario (QMD) con un factor de mayoración no mayor a de $K1=1.2$ y $K2=1.5$.

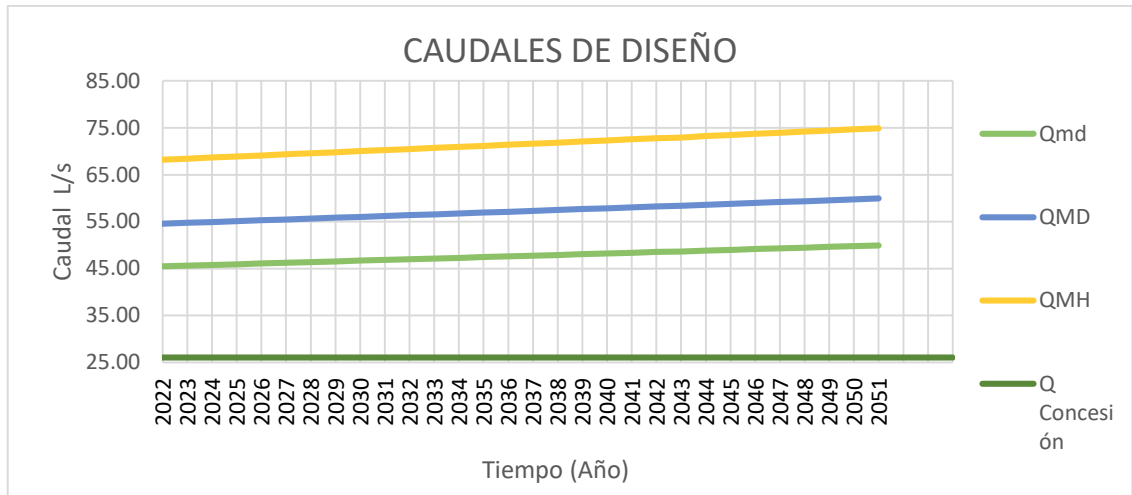
Tabla 12. Caudales de diseño Qmd, QMD, QMH según la dotación bruta calculada, se resalta los caudales para el periodo de diseño.

AÑO	PROMEDIO Hab.	Dotación Neta	Dotación Bruta	k1	k2	Qmd	QMD	QMH
2018	22374	130	173.33	1.2	1.5	44.89	53.86	67.33
2019	22448	130	173.33	1.2	1.5	45.03	54.04	67.55
2020	22522	130	173.33	1.2	1.5	45.18	54.22	67.77
2021	22596	130	173.33	1.2	1.5	45.33	54.40	68.00
2022	22670	130	173.33	1.2	1.5	45.48	54.58	68.22
2023	22744	130	173.33	1.2	1.5	45.63	54.75	68.44
2024	22818	130	173.33	1.2	1.5	45.78	54.93	68.67

AÑO	PROMEDIO Hab.	Dotación Neta	Dotación Bruta	k1	k2	Qmd	QMD	QMH
2025	22893	130	173.33	1.2	1.5	45.93	55.11	68.89
2026	22968	130	173.33	1.2	1.5	46.08	55.29	69.12
2027	23043	130	173.33	1.2	1.5	46.23	55.47	69.34
2028	23118	130	173.33	1.2	1.5	46.38	55.65	69.57
2029	23193	130	173.33	1.2	1.5	46.53	55.84	69.79
2030	23269	130	173.33	1.2	1.5	46.68	56.02	70.02
2031	23344	130	173.33	1.2	1.5	46.83	56.20	70.25
2032	23420	130	173.33	1.2	1.5	46.98	56.38	70.48
2033	23496	130	173.33	1.2	1.5	47.14	56.56	70.71
2034	23572	130	173.33	1.2	1.5	47.29	56.75	70.94
2035	23649	130	173.33	1.2	1.5	47.44	56.93	71.16
2036	23725	130	173.33	1.2	1.5	47.60	57.12	71.40
2037	23802	130	173.33	1.2	1.5	47.75	57.30	71.63
2038	23879	130	173.33	1.2	1.5	47.90	57.49	71.86
2039	23956	130	173.33	1.2	1.5	48.06	57.67	72.09
2040	24033	130	173.33	1.2	1.5	48.21	57.86	72.32
2041	24110	130	173.33	1.2	1.5	48.37	58.04	72.55
2042	24188	130	173.33	1.2	1.5	48.53	58.23	72.79
2043	24238	130	173.33	1.2	1.5	48.63	58.35	72.94
2044	24344	130	173.33	1.2	1.5	48.84	58.61	73.26
2045	24422	130	173.33	1.2	1.5	48.99	58.79	73.49
2046	24500	130	173.33	1.2	1.5	49.15	58.98	73.73
2047	24579	130	173.33	1.2	1.5	49.31	59.17	73.96
2048	24658	130	173.33	1.2	1.5	49.47	59.36	74.20
2049	24736	130	173.33	1.2	1.5	49.63	59.55	74.44
2050	24816	130	173.33	1.2	1.5	49.78	59.74	74.68
2051	24895	130	173.33	1.2	1.5	49.94	59.93	74.91

Fuente: Elaboración propia

Grafica 2. Caudales de Diseño Qmd, QMD, QMH y Q Concesión vigente.



Fuente: Elaboración propia

Los cálculos de caudales de diseño se encuentran en el Anexo 5.

7.4. BOCATOMA

La bocatoma se encuentra ubicada en la vereda Tierra de Gonzales en las coordenadas norte: 1136969.003m, este: 1058770.173m a una elevación de 201.627 msnm, este sitio de captación cuenta con características de accesos para operación y mantenimiento fáciles, el acceso se encuentra a 50 metros de un sendero, desde la distancia de la trocha hasta la captación.

Fotografía 8. Bocatoma aguas arriba del muro tipo presa.

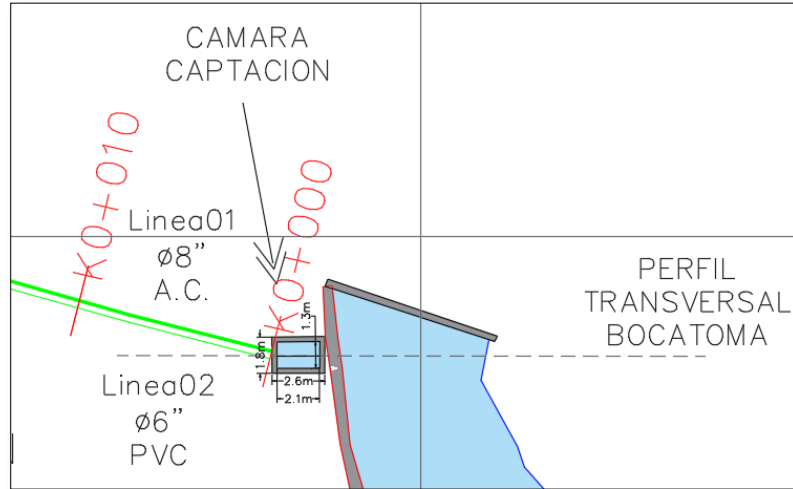


Fuente: Elaboración propia

La obra de captación existente es segura en tiempo de estiaje, o de sequía, según la información de la comunidad en ningún momento se ha sufrido por falta de agua, el flujo es constante, sin embargo, el acueducto cuenta con un aporte estimado de 26.05 del río Pómecca, según la resolución 4263 mencionado anteriormente.

El tipo de captación es de tipo presa con una rejilla vertical que capta el fluido y lo conduce a una cámara de captación previo a la canalización en dos líneas de tubería; línea 01 aguas abajo derecha en un diámetro interno de 8" (200mm) en material de asbesto cemento y la línea 02 aguas abajo izquierdo en un diámetro de 6" (160mm) en material de PVC, como se indica en la siguiente imagen tomada del levantamiento topográfico.

Imagen 13. Planta tomada de la topografía del área de la bocatoma existe



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 9. Vertedero hacia la cámara de captación.

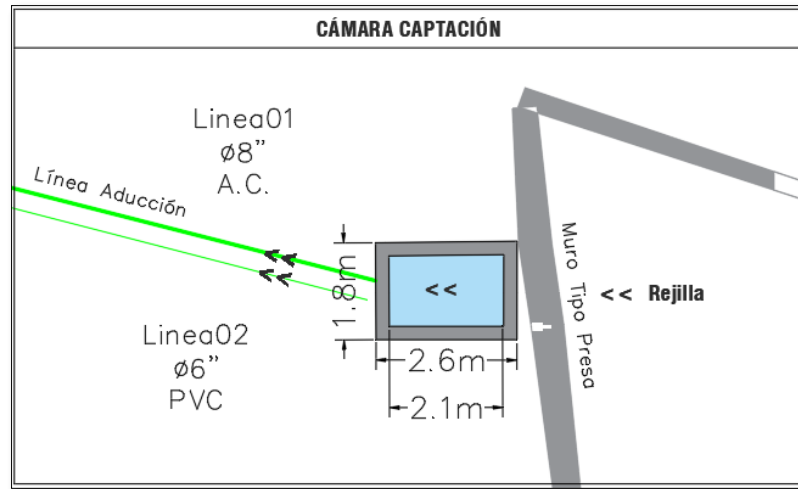


Fuente: Elaboración propia

La cámara de captación está dimensionada de la siguiente manera; tiene una longitud de 2.60 m x 1.80 m de ancho. El dimensionamiento del muro tipo presa que retiene el líquido para conducirlo por una rejilla con dimensiones de un ancho de

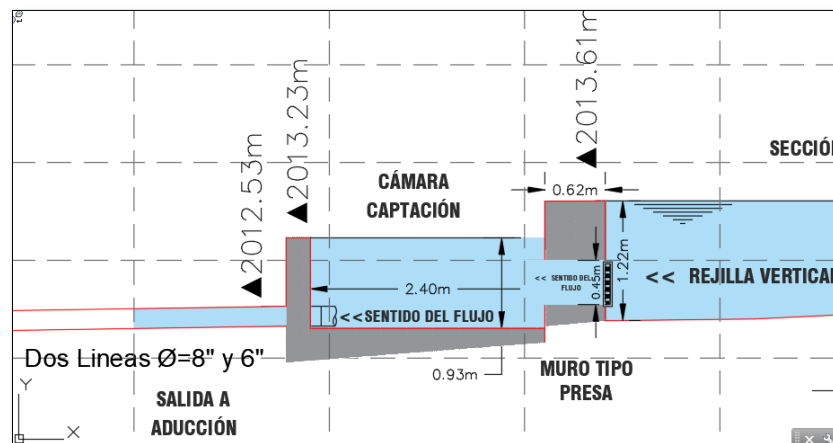
1.09m y una altura de 0.46m, los barrotes tienen una separación de 0.04 m (1") en varilla lisa de diámetro de 1" (n#8).

Imagen 14. Vista en planta de la bocatoma, cámara de captación



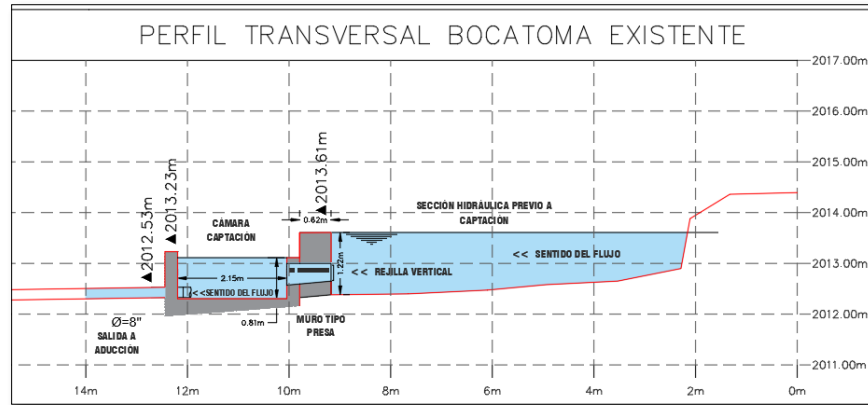
Fuente: Elaboración propia

Imagen 15. Sección transversal de la estructura de la bocatoma, cámara de captación y presa.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 16. Sección transversal de la bocatoma existente.



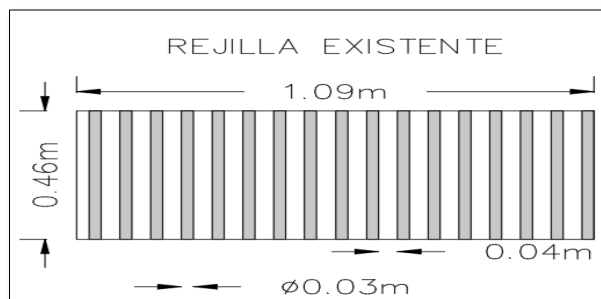
Fuente: Elaboración propia

La presa y la rejilla vertical de la bocatoma es un sistema de captación mixta, por las condiciones que tiene el cauce, y por las características de la estructura se analizará la bocatoma como bocatoma lateral.

DIMENSIONES DE REJILLA EXISTENTE

La rejilla existente en la estructura de captación se encontró dimensionada de la siguiente manera, longitud 1.09 m ancho 0.46m, diámetro de barrotes de 0.03m separados aproximadamente de 0.04 m como se indica en el siguiente gráfico.

Imagen 17. Dimensiones de rejilla de captación existente.



Fuente: Elaboración propia

Cálculo del área neta:

$$A_{neta} = \frac{a}{a + b} BL_r$$

Donde:

a: Separación de barrotes (m)

b: Espesor de barrotes (m)

B: Ancho (m)

Lr: Largo (m)

A: Área Neta (m²)

A neta = 0.287 m²

Calculo a través de la rejilla

$$Q = KA_{neta}V_b$$

Donde:

A neta: Área Neta (m²)

V b: Velocidad entre barrotes (m/s)

K: Constante flujo paralelo.

Q: Caudal a través de la rejilla.

Q = 0.0516 m³/s

Tabla 13. Semejanza y análisis de diagnóstico según los resultados de la tabla de condiciones hidráulicas de la captación.

RELACIÓN DE CAUDALES		
Q Existente	Q Concesión*2 2021	Q 2*QMD (2051)
l/s	l/s	l/s
51.57	49.2	119.86

Fuente: Elaboración propia

La rejilla existente está en la capacidad de tener un caudal de 2.37 l/s más que el concesionado, pero no soportará la demanda en un periodo de 30 años en donde debe garantizar un caudal de 119.86 l/s, que corresponde a dos veces el QMD, según parámetros de La resolución 0330 de 2017.

CONDICIONES ENCONTRADAS POR INSPECCIÓN VISUAL DE LA BOCATOMA

- Las condiciones estructurales de la captación visualmente se puede evidenciar algunas fisuras en el muro tipo presa.
- La estructura de la bocatoma no se evidencia afectaciones estructurales por crecientes o derrumbes.
- Las condiciones topográficas, y la morfología de la sección de cauce muestra que la ubicación de la actual bocatoma es aceptable, ya que aguas abajo se tiene una gran diferencia tipo cascada, que no será bueno por la gran energía con que el fluido llega.
- Aguas arriba se podría tener una mejor calidad de agua, pero por las condiciones de alta vegetación no se pudo identificar.

Fotografía 10. Vista aérea de la ubicación de la Bocatoma, tomado por Vuelo mediante drone.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo anterior, se propone realizar un diseño nuevo de la rejilla de captación y cámara de derivación de la bocatoma de tal manera que en épocas de crecientes no se obstruya ni la rejilla ni la cámara de captación. Los cálculos de la capacidad hidráulica de la bocatoma se encuentran en el Anexo 6.

7.5. LÍNEA DE ADUCCIÓN

La línea de aducción es la tubería que transporta el agua cruda desde la cámara de la bocatoma hasta la entrada del desarenador. El acueducto del municipio tiene dos líneas de aducción, la primera se encuentra al costado derecho aguas abajo con diámetro de 8 pulgadas en asbesto cemento y la segunda en paralelo tiene un diámetro de 6 pulgadas en PVC, en ambos casos se tiene una longitud de 109 metros lineales, cada línea de aducción llega a un desarenador independiente.

Para el cálculo de la capacidad hidráulica de las líneas de aducción se realizó mediante la metodología de Darcy-Weisback.

$$hf = f \frac{L}{d} \frac{u^2}{2g}$$

Donde:

hf: Perdidas de fricción (m)

f: Factor de fricción

L: Longitud de la tubería (m)

u: Velocidad (m/s)

d: Diámetro interno de la tubería

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

De la topografía realizada, se conoce la diferencia de elevación (cota) + la lámina de agua de bocatoma y desarenador. Así se realizó el cálculo de la tubería simple mediante la iteración igualando la energía disponible con la diferencia de la elevación + lámina de agua, obteniendo los siguientes resultados para cada una de las líneas como se observa en la Tabla 14 siguiente tabla.

Tabla 14. Datos hidráulicos de la línea de aducción existente.

Características hidráulicas de la línea de aducción		
Parámetros	Línea 1	Línea 2
Diámetro interno (m)	0.160	0.200
Tipo de Material	PVC	Asbesto-cemento
Rugosidad absoluta material ks (m)	1.50E-06	3.00E-05
Sumatoria coeficientes de perdidas menores (km)	4.6	4.6
Viscosidad cinemática del agua (m ² /s)	0.00000141	0.00000141
Longitud (m)	109.00	109.0
Velocidad (m/s)	1.26	1.4
Caudal Q (m ³ /s)	0.025	0.0
Caudal Q (L/s)	25.32	42.63

Fuente: Elaboración propia

La capacidad hidráulica total que ingresa al acueducto es de 67.95 l/s y está por encima del caudal concesionado por la corporación de 24.60 l/s para el año 2021 y de 26.05 l/s proyectada para el 2030. Del mismo modo, de acuerdo con la proyección de caudales realizados en el presente trabajo está por encima de la demanda proyectada de 59.93 l/s para el año 2051.

De lo observado en campo, la tubería de aducción (línea 1) de asbesto cemento presenta varias fugas ocasionadas por el desgaste de la tubería, malas conexiones y daños por caída de materiales de la montaña asociados a derrumbes, pérdidas que ocasionan una reducción de la capacidad hidráulica de hasta un 25%.

Fotografía 11. Estado de la línea de aducción la línea 1



Fuente: Elaboración propia

En la Fotográfica 11 se observan las fugas localizadas en la tubería con las respectivas reparaciones parciales mediante cauchos de neumáticos.

Adicionalmente, como se observa en la fotografía las tuberías de aducción se encuentran en un 50 % de su longitud expuesta a la intemperie, lo cual genera riesgo

de daño y suspensión del servicio temporal.

Fotografía 12. Tubería expuesta a la intemperie. Izquierda fotografía de la salida de la captación hacia la planta – Derecha tubería de llegada al tanque desarenador



Fuente: Elaboración propia

A partir de lo anterior, se propone realizar el diseño de una sola tubería de aducción con la capacidad hidráulica requerida para la demanda proyectada para 2051 para esta fuente hídrica de 44.93 l/s. Las memorias de cálculo se encuentran en el Anexo 7.

7.6. DESARENADOR

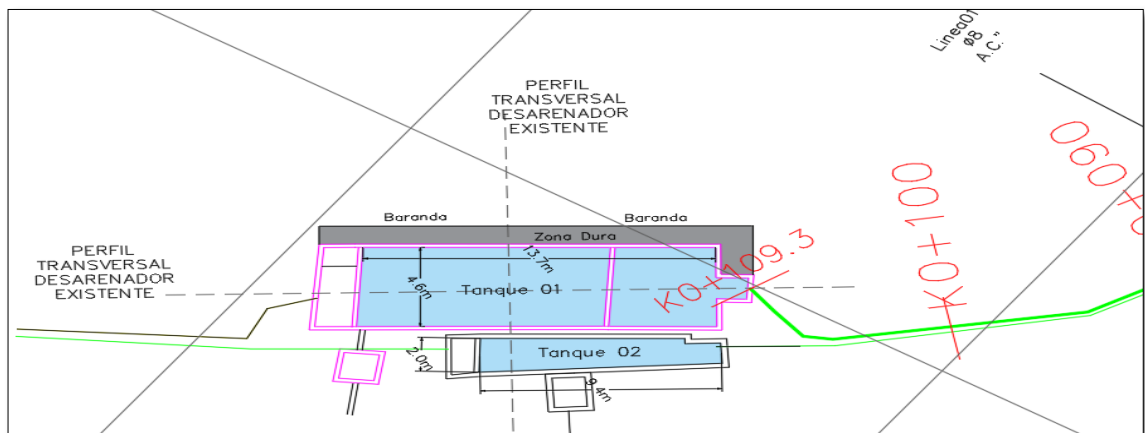
Análisis de capacidad desarenador

Las estructuras existentes del tanque 01 y 02 hacen parte del acueducto están construidos en concreto armado, a simple vista no se evidencia alguna patología

que pueda afectar la estructura en concreto y su buen funcionamiento operativo.

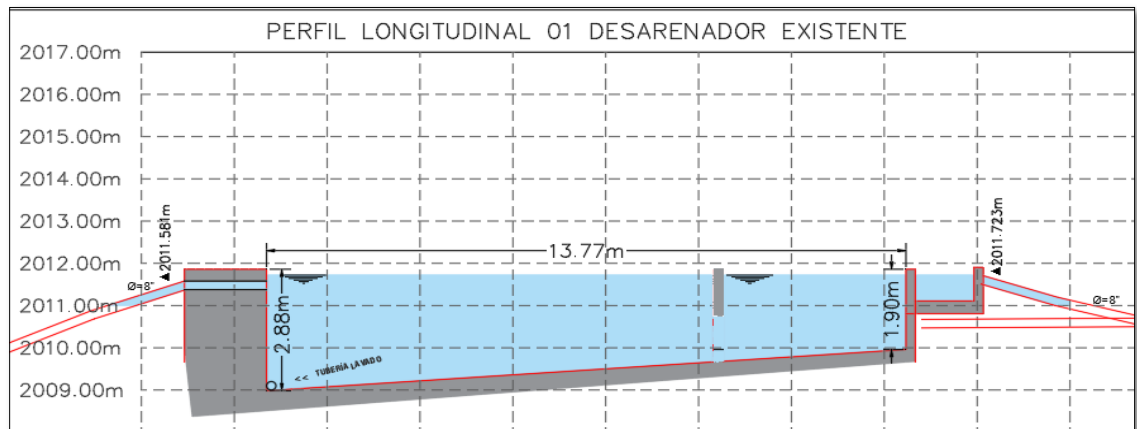
La capacidad de cada uno de ellos es la siguiente; el tanque 01 tiene una longitud de 13.7 m, un ancho de 4.6m y una altura libre de 1.90 m, para un volumen de 119.738 m³, el tanque dos tiene un largo de 9.4m, un ancho de 2.0m y una profundidad de 1.89 para un volumen de 35.5 m³, para una capacidad total del sistema en los desarenadores de 155.27m³ que en la actualidad suplen la demanda.

Imagen 18. Planta tanque desarenador existente.



Fuente: Elaboración propia

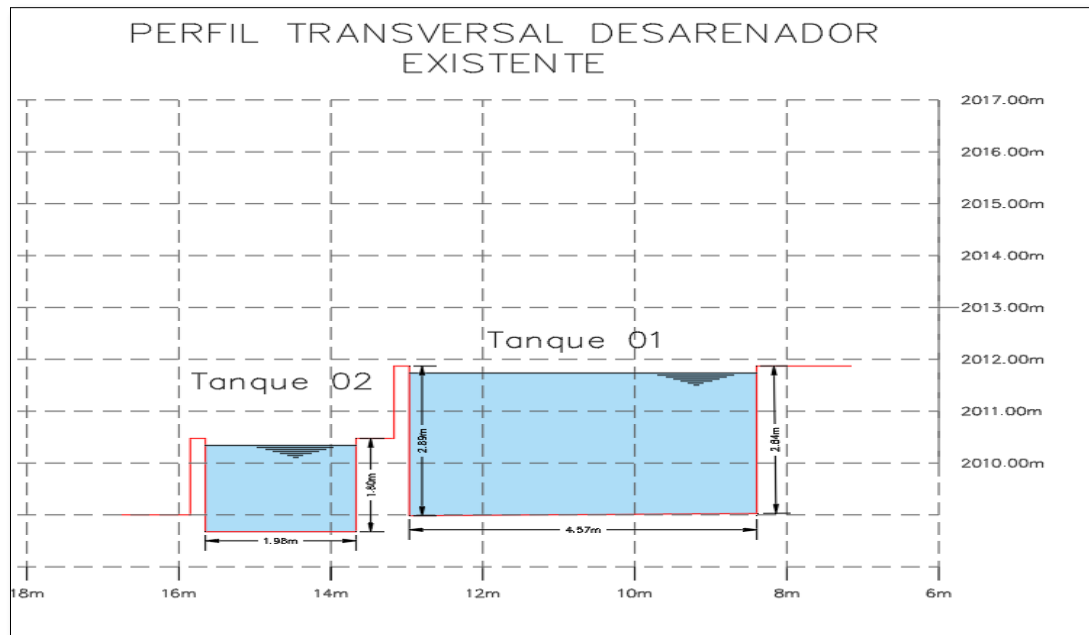
Imagen 19. Perfil del tanque desarenador 01



Fuente: Elaboración propia

Para el análisis hidráulico se tendrá en cuenta el tanque desarenador 01 de acuerdo con el resultado, si cumple el de mayor capacidad cumple, el pequeño también, ya que el dato de entrada para en análisis de capacidad hidráulica es el mismo.

Imagen 20. Corte transversal para el tanque 01 y tanque 02.



Fuente: Elaboración propia

Para realizar el cálculo de la capacidad actual del desarenador, se utilizó la metodología para la verificación de diseño que está basado en la educación de Stokes.

La velocidad de asentamiento vertical debe calcularse en función de la temperatura del agua y el peso específico de la partícula. El diámetro de la partícula a remover corresponde a una arena de aproximadamente 0.05 mm.

La velocidad de asentamiento vertical puede ser estimada utilizando la siguiente ecuación:

$$V = \frac{g * (\rho_s - \rho) * d^2}{18 * \mu}$$

Donde:

V= velocidad de sedimentación de la partícula (cm/s)

G = aceleración de la gravedad (981 cm/s²)

Ps = peso específico del fluido agua 1.00

u = viscosidad cinemática del fluido (cm²/s)

A partir del análisis de demanda realizado y suponiendo unas pérdidas en aducción y en la planta de tratamiento del 5%, se determinó el caudal de diseño del desarenador de 89.90 L/s. El diámetro de la partícula a remover corresponde a una partícula de arena (0.05m).

Se pudo comprobar que el desarenador actual cumple con todos los parámetros hidráulicos requeridos para su correcto funcionamiento. La relación largo ancho (4/1) se encuentra dentro del rango recomendado por la Resolución 0330. La estructura funciona correctamente ya que el área superficial del desarenador (36.95m²) es suficiente para que las partículas se sedimenten (para el caudal 89.90 L/s y la velocidad de sedimentación de la partícula 0.767 cm/s). Se determinó una capacidad del desarenador de 89.90 L/s, la cual es muy por encima del caudal concesionado actual de 25.06 L/s y el proyectado para el año 2051 con un caudal de 59.93 L/s.

A continuación, se calcula los componentes hidráulicos para diagnosticar técnicamente las condiciones del desarenador y analizar si cumple con la normatividad vigente.

Tabla 15. Datos de entrada para cálculo de capacidad hidráulica.

Datos de la capacidad hidráulica del desarenador	
Población Periodo de Diseño (Hab)	24895
Año Horizonte	2051
Periodo de Diseño (años)	30
Elevación (msnm)	1699
Clima	Clima Frío ó Templado
Dotación neta máxima (L/hab/día)	130
Pérdidas netas máximas admisibles (%)	25%
Dotación bruta (L/hab/día)	173.33
Caudal medio diario (Qmd) (l/s)	49.94
k1	1.2
Caudal máx. Diario (QMD) (l/s)	59.93
k2	1.5
Caudal máx. Horario (QMH) (l/s)	74.91
Perdidas en la aducción (%)	5.00%
Necesidades de la planta (%)	5.00%
Capacidad Hidráulica Módulo (L/s)	89.90
Número de Módulos	2
Remoción de Partículas de Diámetro (d)(mm)	0.1
Porcentaje de Remoción (%)	75
Temperatura (°C)	14
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.01172
Grado del Desarenador (n)	3
Relación Longitud : Ancho (L:B)	
Longitud (L)/Ancho (B)	3.0
Caudal Diseño Cada Módulo (L/s)	89.90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Análisis de la capacidad del desarenador

Análisis Capacidad Desarenador	
Diámetro Partícula (d) (cm)	0.01

Aceleración de la Gravedad (g) (cm/s ²)	981
Peso Específico de la Partícula Arenas (ps)	2.65
Peso Específico del Fluido Agua (ρ)	1
Viscosidad Cinemática del Fluido (cm ² /s)	0.01172
Velocidad de Sedimentación (Vs) (cm/s)	0.767
θ/t	1.66
Profundidad Útil de Sedimentación (H) (cm)	500
Tiempo Sedimentación (t) (s)	652
Período Retención Hidráulico (θ) (s)	1082
Período Retención Hidráulico (θ) (h)	0.30
Volumen del Tanque (V) (m ³)	97.24
Área Superficial del Tanque (As) (m ²)	19.45
Ancho del Tanque (B) (m)	2.56
Longitud del Tanque (L) (m)	7.61
Carga Hidráulica Superficial (q) (m ³ /m ² -s)	0.004622158
Carga Hidráulica Superficial (q) (m ³ /m ² -d)	399.35
Velocidad Sedimentación Cond. Teóricas (Vo) (m/s)	0.462
Diámetro Menor en Condiciones Teóricas (do) (cm)	0.00776
Diámetro Menor en Condiciones Teóricas (do) (mm)	0.08
Velocidad Horizontal (Vh)(cm/s)	0.704
Velocidad Horizontal Máxima (Vh máx)(cm/s)	15.35
K	0.04
F	0.03
Velocidad Re suspensión Máxima (Vr) (cm/s)	13.14
Comprobación Funcionamiento	
(Relación L/B) 3/1 < L/B > 5/1	OK
Vh < 20 Vs	OK
Vh/Vs <= 20	OK
Vh < Vr	OK
Periodo de Retención Hidráulico - 0.5 hr < θ < 4.0 hr	NO CUMPLE
Carga Hidráulica superficial - 15 m ³ /m ² d <= q <= 80 m ³ /m ² d	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

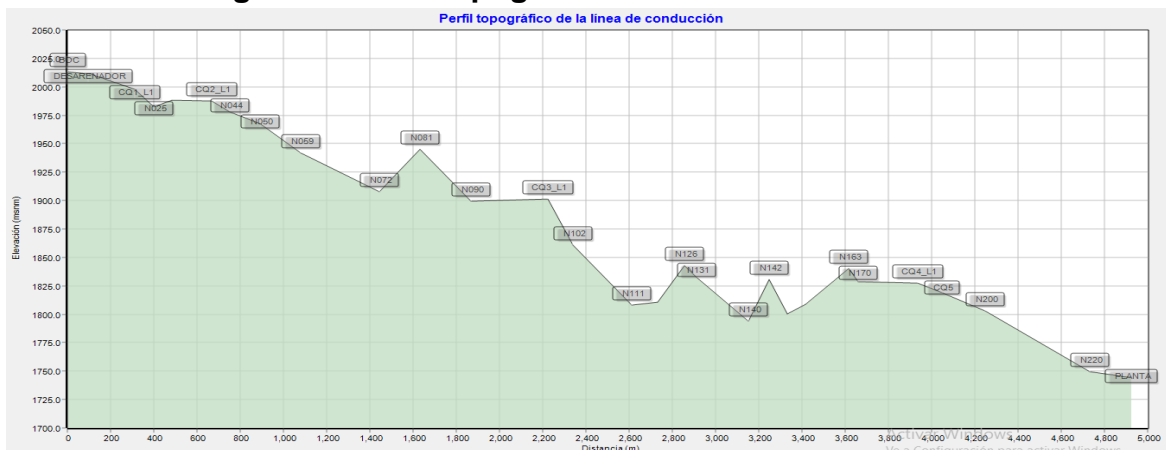
En conclusión, se establece que los desarenadores existentes no cumplen con los algunos parámetros que por la norma técnica se deben realizar. La carga hidráulica para superficial debe estar en el rango de $15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d} \leq q \leq 80 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ según los cálculos, esta es de **$399.95 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$** , sucede lo mismo con el periodo de retención hidráulico el cual debe estar en un rango de $0.5 \text{ hr} < \theta < 4.0 \text{ hr}$ y se encuentra en **0.30 horas** .

Las memorias de cálculo se incluyen en el Anexo 8.

7.7. LÍNEA DE CONDUCCION.

La línea de conducción del acueducto de Moniquirá tiene una longitud de 4,866 metros desde el desarenador hasta la planta de tratamiento. Actualmente existe dos líneas de conducción paralelas en material de PVC y asbesto cemento, con diferentes diámetros, durante su recorrido tiene 5 cámaras de quiebre de presión, tres válvulas de purga, dos de aire, y un sector con dos uniones donde ingresa un caudal de 15 l/s del acueducto del norte de la fuente hídrica río Pómea.

Imagen 21. Perfil topográfico de la línea de conducción



Fuente: Elaboración propia mediante epanet

En la Imagen 21 se observa el perfil topográfico de la línea de conducción, las cámaras de quiebre de presión y la planta de tratamiento. En la red se tiene una diferencia topográfica entre el desarenador (2011.581 msnm) y la planta de tratamiento (1744.173 msnm) de 267 metros, altura que para un sistema de acueducto por gravedad es muy importante debido a que se puede tener un buen sistema sin necesidades de bombeo.

Actualmente el acueducto tiene muchos problemas técnicos en la red de conducción. A continuación, se destacan los más relevantes:

- Fugas y reparaciones: La mayoría de las fugas obedecen en gran parte a la tubería de asbesto cemento que tiene un deterioro alto por los años de servicio, aproximadamente más de 40. Esto, genera daños continuos lo que genera que el servicio en algunas ocasiones se vea interrumpido debido a la severidad del daño. Adicionalmente ha generado una problemática social con los dueños de los predios y fincas aledañas, ya que manifiestan que sus tierras se han visto afectadas por dichos inconvenientes. El acueducto ha optado por ir reemplazando esta tubería a medida que en los daños tubería en PVCPVC, en las Fotografías 13, 14 y 15 se evidencia lo mencionado.

Fotografía 13. Evidencia de fugas en la red de conducción.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 14. Daños y reparaciones en la red de asbestocemento.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 15. Renovación de tubería de A.C. a tubería de PVC, por parte de la empresa prestadora del servicio.



Fuente: Elaboración propia

- Conflicto social: La comunidad ha presentado en reiteradas ocasiones demandas a la superintendencia de servicios públicos por rebose de agua en cámaras de quiebre de presión, porque ha generado afectaciones a predios, casas, semovientes, incluso desplazamientos en masa del terreno. Por otro

lado, la extensión de habitantes hacia la zona rural cerca del casco urbano, han construido sus casas o patio muy cerca o prácticamente encima de la línea de conducción, lo cual genera un riesgo a la comunidad y solicitan en reiteradas ocasiones sea replanteada esta red, en las Fotografías 16 y 17 se evidencia lo mencionado.

Fotografía 16. Acompañamiento a la empresa de servicios atendiendo al conflicto social



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 17. Ubicación de algunos predios en conflicto por el trazado sobre fincas y terrenos privados.



Fuente: Elaboración propia

- Excesos de caudal: La línea de conducción en un primer tramo tiene dos tuberías paralelas de 8 y 6 pulgadas. Adicionalmente en un punto conocido como alto bello, se aporta a la red un caudal de 15 l/s proveniente del acueducto del norte. En el segundo tramo tiene una tubería de 6 pulgadas desde la cámara de quiebre 4 hasta la planta de tratamiento, razón por la cual en épocas de invierno las cámaras de quiebre 4 y 5 tienden a rebosarse generando afectaciones y desperdicios de agua, en las siguientes fotografías se evidencia lo mencionado.

Fotografía 18. Registro fotográfico de la cámara quiebre número 4 con un rebose y desperdicio de agua considerable.



Fuente: Elaboración propia

- Operación y mantenimiento: Debido a los constantes daños y poca revisión de la línea de conducción, el acueducto ante alguna contingencia debe operar de forma manual las válvulas de purga, para reparar daños, evitar desperdicios, controlar el cierre para manejo de caudal. Es decir, tienen pocos elementos de control hidráulicos que permitan de alguna manera tener una rápida reacción ante algún evento mientras el operario hace presencia. Se observó que desde el desarenador las líneas de conducción tiene poco mantenimiento, ya que las válvulas de purga, aire, cámaras de quiebre, presentan bastante maleza, musgo, no tienen cajas de protección generando

un deterioro rápido de los elementos. En cuanto a las tuberías, la presencia de maleza de alto porte que abunda en ciertos tramos no permite realizar una inspección visual. En otras secciones se encuentran tramos expuestos a la intemperie que puede generar riesgo de ruptura por algún semoviente o persona, y a la fecha no han tomado ninguna acción correctiva, en las siguientes fotografías se evidencia lo mencionado.

Fotografía 19. Registro de estado estructural de algunas cámaras y su comportamiento hidráulico.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 20. Registro de la tubería a la intemperie de la red de conducción



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 21. Registro de maleza, musgo en la cámaras de quiebre



Fuente: Elaboración propia

Simulación hidráulica línea de conducción existente

Se utilizó el software EPANET para realizar la modelación de la línea de conducción existente, este software de diseño hidráulico contempla las ecuaciones y fórmulas de la hidráulica permitiendo así observar el comportamiento de las redes a presión.

Parámetro para el diseño:

Fórmulas utilizadas de pérdidas: Darcy-Weisback, Colebrook-White

Rugosidad absoluta: 0.0015 mm, para tubería PVC

Rugosidad absoluta: 0.030 mm, para tubería de asbesto cemento

Velocidad máxima: 2.1 m/s

Velocidad mínima: 0.5 m/s

Caudal operativo: 46 l/s

Los valores de rugosidad con los que se trabajaron son tomados del manual técnico unión platino de Pavco Mexichem y para el asbesto cemento con tablas de autores.

El caudal operativo de la empresa de servicios públicos es de 46 l/s, este caudal es aportado por dos fuentes hídricas, la quebrada La Sicha del cual abastece de 31 l/s en sus dos tuberías y el río Pómeca de 15 l/s, en la visita de campo y planta de tratamiento se pudo observar que el macro medidor digital marca valores aproximados de 47.80 y 47.26 l/s.

Fotografía 22. Macro medido a la entrada de la planta, con un registro de 47.8 L/s aproximadamente.



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se detalla los diámetros, material de tubería de cada una de las líneas paralelas de la conducción, es importante tener en cuenta que en todo el trayecto las líneas son paralelas y están a la misma elevación o cota topográfica.

Tabla 17. Elemento y accesorios en la red de conducción.

ELEMENTOS LINEA DE CONDUCCIÓN						
Línea Conducción desde los tanques desarenadores hasta la planta						
ABS	Elemento	Cota	Línea 1		Línea 2	
			Ø	Material	Ø	Material
K0+00 0	Salida Desarenador	2011.58	8"	Asbesto Cemento	8"	PVC
K0+20 0	Cámara quiebre 01	1997.76	8"	Asbesto Cemento	8"	PVC
K0+56 0	cámara quiebre 02	1987.4	8"	Asbesto Cemento	8"	PVC
K0+78 4	Válvula Aire	1967.52	8"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K1+31 2	Válvula Purga	1909.04	8"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K2+13 8	cámara quiebre 03	1900.74	8"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K2+64 9	Válvula Purga	1810.76	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K2+77 5	Válvula Aire	1843.08	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K3+33 7	Válvula Purga	1808.91	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K3+40 0	Vía Nacional	1821.57 5	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K3+55 6	Unión Acueducto Pómecca	1836.4	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento

ELEMENTOS LINEA DE CONDUCCIÓN						
Línea Conducción desde los tanques desarenadores hasta la planta						
ABS	Elemento	Cota	Línea 1		Línea 2	
			Ø	Material	Ø	Material
K3+86 0	cámara quiebre 04	1827.49	6"	Asbesto Cemento	6"	Asbesto Cemento
K3+97 2	cámara quiebre 05	1818.76 5	6"	Asbesto Cemento		
K4+84 5	Accesorios	1744.77	6"	Asbesto Cemento		
K4+86 6	Planta Tratamiento Agua Potable	1744.17	6"	Asbesto Cemento		

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se mencionan las características técnicas de las tuberías para incluir en la simulación:

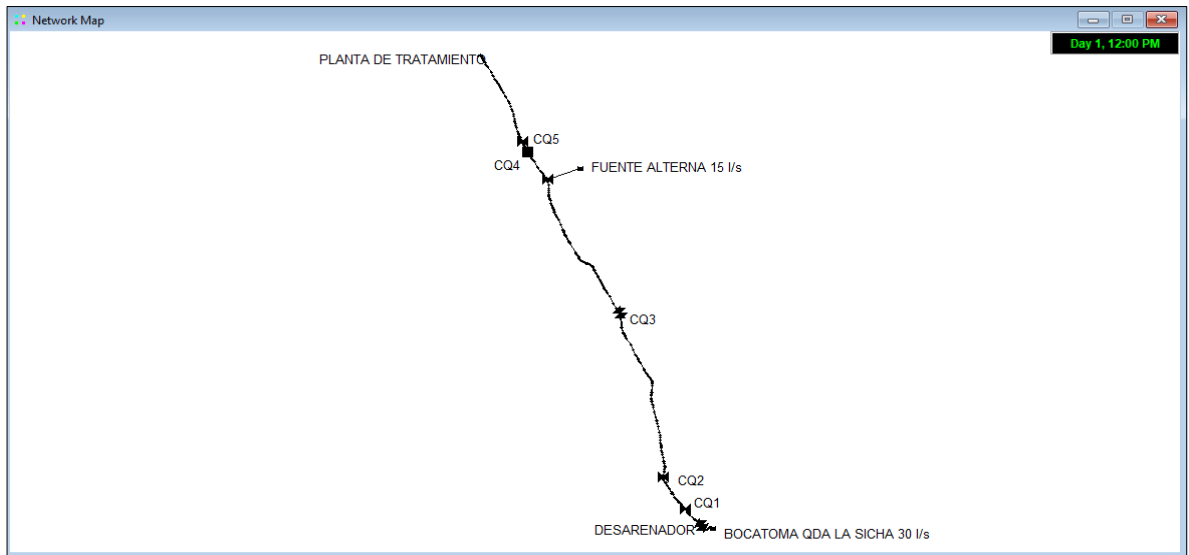
Tabla 18. Características técnicas de la tubería

TIPO DE TUBERÍA	DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	DIAMETRO EXTERIOR (mm)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	RDE
PVC	8	219.08	208.37	41
Asbesto cemento	8	220	200	R-160
Asbesto cemento	6	167	150	R-160

Fuente: Elaboración Propia.

Mediante el programa Epcad complemento de Epanet, se cargan los datos de entrada de nodos, líneas, y se complementa con la información de diámetro, demanda base, rugosidad, cámaras de quiebre y reservorios, finalmente se procede a realizar la simulación de la situación actual de las líneas de conducción.

Imagen 22. Modelación hidráulica de la línea de conducción por software EPANET

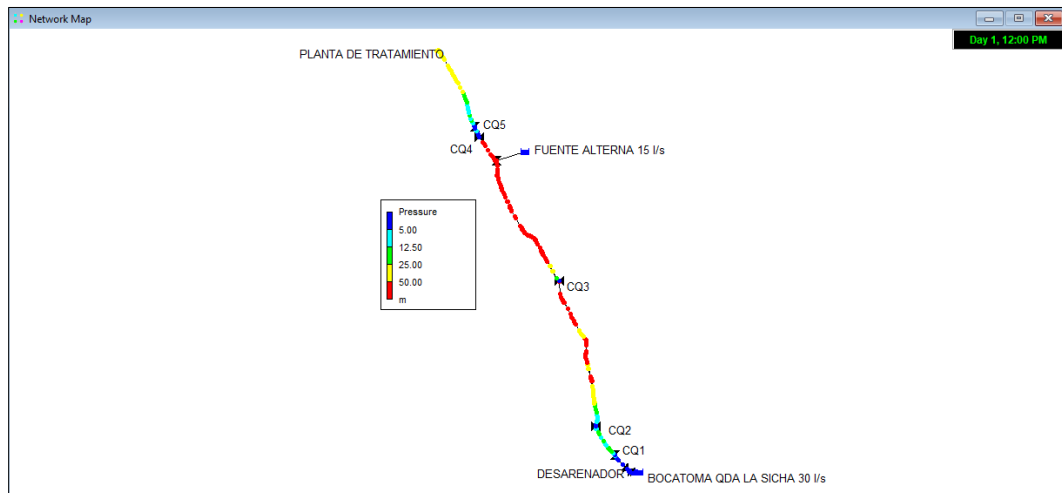


Fuente: Elaboración Propia mediante el programa Epanet.

Una vez cargada toda la información necesaria en Epanet se realiza la simulación hidráulica de la línea de conducción existente obteniendo los siguientes resultados:

Presiones en la red

Imagen 23. Resultado de la línea de conducción con la presión en cada uno de los nudos sobre el trazado.



Fuente: Elaboración Propia mediante el programa Epanet.

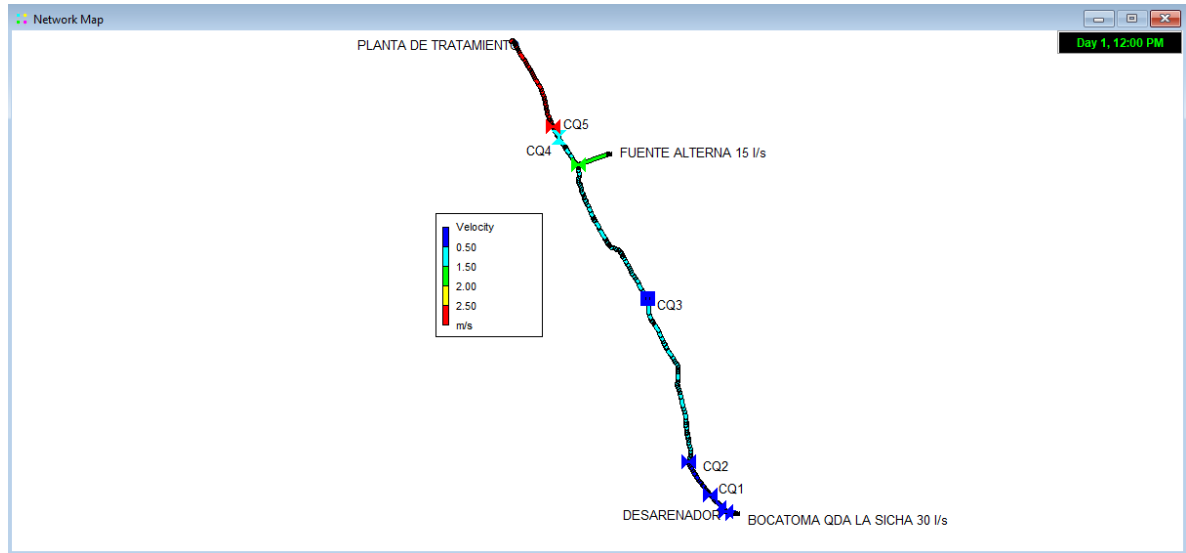
Como se observa de la Imagen 23 en el tramo de 1722 metros lineales de la cámara de quiebre 3 y 4 se encuentran presiones dinámicas por encima de 50 mca esto debido principalmente a la fuerte topografía de la zona. La cámara de quiebre 3 se encuentra ubicada a una elevación de 1900 msnm y los comparado con los puntos más bajos tenemos deltas topográficos del orden de 90,106 y 92 msnm, presiones estáticas del orden 128, 150 y 131 psi, y en este tramo el punto elevado crítico alto bello con una elevación de 1840.563 msnm donde el agua debe llegar con la suficiente energía. Situación similar se observa en el tramo de 1578 metros lineales entre la cámara 2 y 3. Estos valores representan el 68% del total de la línea de conducción con presiones elevadas lugares donde se observan el mayor número de reparaciones del sistema.

La presión dinámica de la red en todos sus puntos está por encima de 5 mca para los puntos más altos y/o críticos de la red, lo cual garantiza el correcto funcionamiento como lo indica la resolución 0330 de 2017

Estas presiones altas sumado al deterioro sufrido por el tiempo de operación de más de 40 años de las tuberías son las que están generando fugas, daños, ruptura por presión en la red ocasionando la suspensión del servicio y afectando significativamente a los propietarios de predios. Por consiguiente, se propone rediseñar la red de tal forma que se logre en lo posible reducir las altas presiones en estos puntos de los dos tramos.

Velocidades

Imagen 24. Resultado de la simulación hidráulica de la línea de conducción existente, velocidades en la tubería.



Fuente: Elaboración Propia mediante el programa Epanet.

La simulación existente para las condiciones dadas de diámetros, rugosidad y demanda dio como resultados velocidades para la tubería de 8 pulgadas y 6" en paralelo de 0.49 m/s y 0.88 m/s, respectivamente para la condición de caudal dada. Estos valores son inferiores a lo permitido por la resolución 0330 de 2017, se puede deducir hidráulicamente que para aumentar la velocidad en la red manteniendo los diámetros existentes y rugosidades se debe aumentar el caudal, situación que puede darse, ya que la capacidad hidráulica de la bocatoma, aducción y desarenador es del orden de 51 l/s a los 31l/s referidos en la simulación. Por otro lado donde se una el acueducto del norte las velocidades en las tuberías aumentan debido al aumento de caudal aportado por la otra fuente hídrica hasta la cámara de quiebre 4 donde sale una sola tubería de 6 pulgadas que genera una aumento considerable en la perdidas por fricción y la velocidad superior a 2.5 m/s, así mismo esta reducción de diámetro contribuye a una acumulación de caudal que ha generado en la cámara de quiebre 5 rebose constante generando demandas en la superintendencia de servicios domiciliarios, daños a predios y demás riesgos asociados a este problema.

De acuerdo con lo observado anteriormente el sistema tiene deficiencias en diseño hidráulico, diámetros pequeños, presiones muy elevadas en casi el 68% de la red de conducción, materiales de tuberías muy viejas, doble tubería paralela que ocasiona dos problemas en paralelo, falta de elementos de control hidráulico como válvulas controladoras de nivel con flotador para evitar desperdicios de agua y contribuir con el uso eficiente y ahorro de agua. Estos motivos llevan a proponer el rediseño de una nueva red de conducción que contenga un caudal proyectado de acuerdo a la demanda de la población, con una sola tubería, adicionar más cámaras de quiebre y válvulas de purga como de aire que contribuya al buen funcionamiento del acueducto del municipio de Moniquirá

La simulación hidráulica de la situación actual se incluye en el Anexo 9.

8. PROPUESTA DE MEJORAS

8.1. DISEÑO BOCATOMA

Se propone diseñar una bocatoma tipo lateral para la captación de 44.93 l/s correspondiente al caudal requerido para una población proyectada al año 2051 menos el caudal suministrado por la fuente alterna de captación río Pómeca correspondiente a 15 l/s. La bocatoma contara con un dique menor de 4 metros de ancho con el fin de asegurar el direccionamiento del agua hacia el costado derecho aguas abajo principalmente en épocas de caudales bajos, esto se da ya que el ancho del rio tiene aproximadamente 21 metros. Así mismo contará con un muro lateral de protección y una cámara de derivación.

Caudal a captar

De acuerdo con la resolución 0330 del 2017 el caudal de diseño para una captación de fuente superficial es de hasta 2 veces QMD. De este modo y teniendo en cuenta el caudal suministrado por la fuente externa rio Pómeca, se procederá a realizar el diseño con el siguiente caudal.

Caudal QMD proyectado a 30 años: 59.93 l/s

Caudal fuente externa Rio Pómeca Qfe: 15 l/s

Caudal requerido por la fuente quebrada Sicha:

$$QMD - Qfe = 59.93 \text{ l/s} - 15 \text{ l/s} = 44.93 \text{ l/s}$$

Caudal de diseño= $2 * 44.93 \text{ l/s} = 89.86 \text{ l/s}$

Diseño de la rejilla

Para el diseño de la rejilla se tuvieron en cuenta el tamaño del material que se desea retener, el tipo de rejilla y la forma de limpieza.

Especificaciones de la rejilla

Se seleccionó un tipo de reja común de varilla redonda de 1" de diámetro, separadas libremente entre si 1"; se retiene material de diámetro mayor de 1", como se observa en las siguientes tablas.

Tabla 19. Tipos de Rejillas.

TIPOS DE REJAS	
TIPO	ESPACIAMIENTO LIBRE
Rejas Gruesas	4 a 10 cm. (1 1/2" - 4")
Rejas comunes	2 a 4 cm. (3/4" - 1 1/2")
Rejas Finas	1 a 2 cm. (3/8" - 3/4")

Fuente: Acueductos Teoría y Diseño, Freddy Hernán Corcho y José Ignacio Duque

Tabla 20. Dimensionamiento de las varillas.

DIMENSIONAMIENTO DE LAS VARILLAS		
Tipo	Ancho de la reja en dirección normal de flujo	
	En milímetros	En pulgadas
Rejas Gruesas	10 X 50 mm.	(3/8" X 2")
	10 X 60 mm.	(3/8" X 2 1/2")
	13 X 40 mm.	(1/2" X 1 1/2")
	13 X 50 mm.	(1/2" X 2")
Reja Comunes	8 X 50 mm.	(5/16" X 2")
	10 X 40 mm.	(3/8" X 1 1/2")
	10 X 50 mm.	(3/8" X 2")
Rejas Finas	6 X 40 mm.	(1/4" X 1 1/2")
	8 X 40 mm.	(5/16" X 1 1/2")
	10 X 40 mm.	(3/8" X 1 1/2")

Fuente: Acueductos Teoría y Diseño, Freddy Hernán Corcho y José Ignacio Duque

El ángulo de inclinación respecto a la horizontal será de 60° a fin de obtener una limpieza mecánica por acción del agua.

Tabla 21. Tipo de limpieza de la rejilla

Tipo de limpieza	Ángulo con la horizontal
Limpieza manual	$\theta = 30^\circ$ a 45° con la horizontal
Limpieza mecánica	$\theta = 45^\circ$ a 90° con la horizontal

Fuente: Acueductos Teoría y Diseño, Freddy Hernán Corcho y José Ignacio Duque.

Entrada de agua por la rejilla

El vertedero lateral de la captación se diseñó como vertedero frontal de cresta delgada y se verificó con una de las expresiones utilizadas para vertedero lateral.

El vertedero se diseñó con la expresión de Francis, útil para vertedero frontal de cresta delgada.⁵⁰

$$Q = 1.84 * L_e * H^{3/2}$$

Dónde:

Q: Caudal a captar en m³/s

Le: Longitud efectiva del vertedero, en m

H: Carga sobre la cresta del vertedero, en m

Se puede asumir que no hay carga de velocidad pues la bocatoma es lateral y la velocidad del agua en la fuente en este sentido se puede considerar prácticamente

⁵⁰ Corcho, Freddy; Duque José. Acueductos teoría y diseño. 1993, Medellín. Pág. 45

nula.

Pérdidas en la rejilla

Se utilizará la fórmula de Kihmmmer⁵¹.

$$h = B * \left(\frac{W}{b}\right)^{4/3} * h_v * \text{sen}\theta$$

Dónde:

h: Pérdidas de carga en m.

B: Factor de forma (1.79 para varilla circular; 2.42 para varilla rectangular).

W: Espesor de la barra, en m.

h_v: Carga de velocidad en m. $h_v = V^2/2g$.

θ: Ángulo de la varilla con la horizontal.

b: Profundidad de la varilla.

La velocidad de aproximación se toma de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 22. Tamaño de las varillas

Tamaño de las varillas	Limpieza	
	Manual	Mecánica
Ancho (cm)	Manual	Mecánica
Profundidad (cm)	0.5 - 1.5	0.5 – 1.5
Espaciamiento entre rejillas (cm)	2.5 – 7.5	2.5 – 7.5
Velocidad de aproximación (m/s)	0.3 – 0.6	0.6 – 1.0
Pérdidas de carga, h1 valor máximo (cm)	15	15

Fuente: Acueductos Teoría y Diseño, Freddy Hernán Corcho y José Ignacio Duque.

⁵¹ Corcho, Freddy; Duque José. Acueductos teoría y diseño. 1993, Medellín. Pág. 46

$$h_v = \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_v = \frac{\left(0.6 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.01835 m$$

$$h = 1.79 * \left(\frac{0.0254 m}{0.0254 m}\right)^{4/3} * 0.01835 m * \text{sen } 60^\circ$$

$$h = 0.0285$$

Al prever la obstrucción de la rejilla por arrastre y acumulación de material flotante y en suspensión, las pérdidas se deben afectar por un factor de seguridad de 2 a 3 veces. Al seleccionar un factor de 3 se obtiene una pérdida de 8.5 cm.

Caudal sobre el dique

$$Q = Q_{\text{medio}} - Q_{\text{diseño}}$$

$$Q = 0.200 \frac{m^3}{s} - 0.08986 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 0.11014 \frac{m^3}{s}$$

Carga sobre el dique

Por medio de la expresión de Francis para vertedero de pared delgada y flujo libre se calcula la altura de nivel de agua que pasa sobre el dique:

$$Q = 1.84 * L_e * H^{3/2}$$

$$H = \left[\frac{Q}{1.84 * L_e} \right]^{2/3}$$

$$H = \left[\frac{0.11014 \text{ m}^3/\text{s}}{1.84 * 4} \right]^{2/3}$$

$$H = 0.060726 \text{ m} \cong 6, \text{ cm}$$

Si se asume una altura del dique sobre el vertedero de entrada a la cámara de derivación de 0.40 m, la altura total del agua sobre el vertedero será de 0.46 m.

Con esta altura de carga de $H = 0.46 \text{ m}$ se tiene que el nivel de agua dentro de la caja de derivación es; $46 - 8.5 = 37.5 \text{ cm}$ por encima de la cresta del vertedero; por lo tanto, el vertedero trabajará sumergido y se utilizará la fórmula de Villamonte⁵²

$$Q = Q_1 * (1 - S^n)^{0.385}$$

Dónde: Q: Caudal que se requiere captar (sumergido o ahogado)
 Q1: Caudal captado si el vertedero fuera libre (no sumergido)
 S: Sumergencia
 n: Exponente en la formula como vertedero libre

Como el caudal a captar es 89.96 L/s, se calcula el caudal Q1 que entraría si el flujo fuese libre.

$$S = \frac{H - \text{Perdidas}}{H}$$

⁵² Corcho, Freddy; Duque José. Acueductos teoría y diseño. 1993, Medellín. Pág. 46

$$S = \frac{0.46 \text{ m} - 0.085 \text{ m}}{0.46 \text{ m}} = 0.81$$

De la expresión de Villamonte se tiene:

$$Q_1 = \frac{Q}{(1 - S^n)^{0.385}}$$

$$Q_1 = \frac{0.8986 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(1 - 0.81^{1.5})^{0.385}} = 0.1499 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

De la expresión de Francis⁵³ para vertedero de pared delgada y flujo libre se tiene que:

$$Q = 1.84 * L_e * H^{3/2}$$

$$L_e = \frac{Q}{1.84 * H^{3/2}}$$

$$L_e = \frac{0.1499 \text{ m}^3/\text{s}}{1.84 * (0.46 \text{ m})^{3/2}} = 0.261 \text{ m} \approx 0.28$$

$$\text{Numero de espacios} = \frac{L_e}{\text{Diametro de la varilla}}$$

$$\text{Numero de espacios} = \frac{0.28 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} = 11.02 \cong 11 \text{ espacios}$$

$$\text{No de varillas} = \text{No de espacios} - 1$$

⁵³ Corcho, Freddy; Duque José. Acueductos teoría y diseño. 1993, Medellín. Pág. 47

$$\text{No de varillas} = 11 - 1 = 10 \text{ varillas}$$

Verificación de la longitud de varilla mediante la expresión de vertedero lateral.

La expresión $Q = 1.86 * L_e^{0.9} * H^{1.6}$ (Formula de Engels⁵⁴) es recomendable para casos de flujo subcrítico,

Dónde: Q: Caudal Captado en m³/s.
 Le: Longitud efectiva en m.
 H: Carga sobre la cresta en m.

Si la caída fuera libre el caudal que pasaría es de 0.1499 m³/s, entonces se puede estimar la longitud efectiva con la fórmula de Engels:

$$L_e = \left(\frac{Q}{1.86 * H^{1.6}} \right)^{1/0.9}$$

$$L_e = \left(\frac{0.1499 \text{ m}^3/\text{s}}{1.86 * (0.46 \text{ m})^{1.6}} \right)^{1/0.9} = 0.279 \text{ m}$$

Se observa que la diferencia entre L_e calculadas es pequeña, de este modo se adopta el primer cálculo, además de considerar la velocidad de entrada a la rejilla prácticamente nula.

La longitud total de la rejilla será:

⁵⁴ Corcho, Freddy; Duque José. Acueductos teoría y diseño. 1993, Medellín. Pág. 48

$$L_{Rejilla} = (10 * 0.0254m) + (11 * 0.0254m)$$

$$L_{Rejilla} = 0.53m$$

Dimensiones del dique.

Como la altura del dique-muro de acuerdo a la topografía es de 1.20 m y que restado a la altura sobre el vertedero de 0.40m obtenemos una altura del dique por debajo del vertedero de entrada a la cámara de derivación de 0.80m.

Diseño de la cámara de derivación.

La cámara de derivación tendrá como dimensiones internas en planta de 1.40m X 1.80m a fin de permitir la facilidad del mantenimiento.

Diseño del vertedero interno.

La cámara de derivación estará dividida en dos compartimentos separados por un vertedero interno; el compartimento anterior al vertedero se empleará como pre-decantador y es donde se ubicará la tubería de limpieza de la cámara; en el compartimento posterior se ubicará la tubería de aducción.

El vertedero se ubicará en todo el largo de la cámara por lo que la longitud de la cresta será de 1.40 m. Por la expresión de Francis se calcula la carga sobre el vertedero interno:

$$H = \left[\frac{Q}{1.84 * L_e} \right]^{2/3}$$

$$H = \left[\frac{0.08986 \text{ m}^3/\text{s}}{1.84 * 1.40\text{m}} \right]^{2/3}$$

$$H = 0.106 \text{ m} \cong 11 \text{ cm}$$

Luego, la altura del vertedero interno de la cámara de derivación con referencia a la base de la rejilla o vertedero de entrada, será: el nivel de agua dentro de la cámara menos la altura del nivel de agua sobre el vertedero hallado.

$$h = 0.375 \text{ m} - 0.11 \text{ m}$$

$$h = 0.265 \text{ m} = 26.5 \text{ cm}$$

Dimensiones finales de la cámara

Las dimensiones de la cámara de derivación se ajustan al espacio disponible en la obra de toma y teniendo en cuenta que el área debe ser apropiada para ingresar a la cámara a realizar la respectiva limpieza; entonces las medidas de la cámara de derivación de la bocatoma quedarán así:

Tabla 23. Dimensionamiento interno de la cámara de derivación.

DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE DERIVACIÓN	
Longitud	1.40 m

Ancho de la base	1.60 m
Ancho superior	1.20 m
Altura	2.50 m

Fuente: Elaboración Propia

La cámara de derivación contará internamente con un vertedero que cumple la función de pre-desarenador, pues el agua que ingresa a la cámara pasa por encima de este y los sedimentos quedan en el primer compartimiento que cuenta con una tubería para su evacuación. Las dimensiones de este serán:

Tabla 24. Dimensionamiento del vertedor interno

DIMENSIONES DEL VERTEDERO INTERNO	
Longitud	1.40 m
Altura	0.91 m
Espesor	0.10 m

Fuente: Elaboración Propia

8.2. DISEÑO DE LA LÍNEA DE ADUCCIÓN.

Para el diseño de la línea de aducción propuesta se realizó el cálculo de una tubería simple, conociendo las características topográficas de la bocatoma y desarenador como elevaciones, longitud y características físicas del agua y la tubería PVC a utilizar.

Tabla 25. Datos iniciales para el cálculo hidráulico de la línea de aducción.

Parámetros de diseño	
Tipo de Material	PVC

Rugosidad absoluta material ks (m)	1.50E-06
Sumatoria coeficientes de perdidas menores (km)	4.6
Viscosidad cinemática del agua (m ² /s)	0.00000141
Longitud (m)	109.00
Caudal de diseño Q (m ³ /s)	0.04493
Caudal de diseño Q (l/s)	44.93

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra la lista seleccionada de diámetros comerciales disponibles proporcionados por el manual técnico de Pavco.

Tabla 26. Listado de diámetros de tubería en el mercado.

Listado de Diámetros comerciales.			
Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	RDE
4	114.3	108.72	41
6	168.28	160.04	41
8	219.08	208.37	41
10	273.05	259.73	41
12	323.85	308.05	41

Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño de la tubería de aducción se utilizó la metodología de Darcy-Weisback

$$hf = f \frac{L}{d} \frac{u^2}{2g}$$

Donde:

hf: Perdidas de fricción (m)
f: Factor de fricción
L: Longitud de la tubería (m)
u: Velocidad (m/s)
d: Diámetro interno de la tubería
g: aceleración de la gravedad (m/s²)

De esta manera se realizó la comprobación de diseño para la variable diámetro, desde el más pequeño de 4" al más grande, observando los caudales máximos que puede transportar la tubería y comparándolos con el caudal de diseño requerido para el proyecto. Resultando así que la tubería de 8 pulgadas con diámetro interior de 208.37 mm bajo estas características puede transportar un caudal máximo de 48.13 l/s lo cual es mayor al caudal de diseño de 44.93 l/s.

Finalmente, la línea de aducción se diseña con una tubería PVC de 8" RDE 41 con una longitud de 109 metros y 4 codos de 90° del mismo diámetro y material.

Se recomienda en aquellos sectores de la aducción que se encuentan expuesta a daños y rupturas realizar un encofrado de protección en concreto de 3000 psi, con malla para pañete y acero de refuerzo. Las memorias de cálculo se incluyen en el Anexo 7.

8.3. DESARENADOR

Como alternativa de diseño se propone detallar los cálculo hidráulicos para un tanque con la demanda para el año 2051, de una población de 24895 habitantes, y tenga los mínimos requisitos en función de la normatividad vigente, la resolución 0330 del 2017.

Tabla 27. Cálculo hidráulico de desarenador propuesto

Datos de Entrada para Cálculo hidráulico	
Población Periodo de Diseño (Hab)	24895
Año Horizonte	2051
Periodo de Diseño (años)	30
Elevación (msnm)	1699
Clima	Clima Frío o Templado
Dotación neta máxima (l/hab/día)	130
Pérdidas netas máximas admisibles (%)	25%
Dotación bruta (l/hab/día)	173.33
Caudal medio diario (Qmd) (l/s)	49.94
k1	1.2
Caudal max. Diario (QMD) (l/s)	59.93
k2	1.5
Caudal max. Horario (QMH) (l/s)	74.91
Perdidas en la aducción (%)	5.00%
Necesidades de la planta (%)	5.00%
Capacidad Hidráulica Módulo (l/s)	89.90
Número de Módulos	2
Remoción de Partículas de Diámetro (d)(mm)	0.1
Porcentaje de Remoción (%)	87.5
Temperatura (°C)	15
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.01146
Grado del Desarenador (n)	1
Relación Longitud : Ancho (L:B)	
Longitud (L)/Ancho (B)	3.0
Caudal Diseño Cada Módulo (L/s)	89.90

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28. Diseño hidráulico del tanque desarenador nuevo

Análisis hidráulico del Desarenador	
Diámetro Partícula (d) (cm)	0.01
Aceleración de la Gravedad (g) (cm/s ²)	981
Peso Específico de la Partícula Arenas (ρ_s)	2.65
Peso Específico del Fluido Agua (ρ)	1
Viscosidad Cinemática del Fluido (cm ² /s)	0.01146
Velocidad de Sedimentación (Vs) (cm/s)	0.785
θ/t	8.9
Profundidad Útil de Sedimentación (H) (cm)	450
Tiempo Sedimentación (t) (s)	573
Período Retención Hidráulico (θ) (s)	5104
Período Retención Hidráulico (θ) (h)	1.42
Volumen del Tanque (V) (m ³)	305.88
Área Superficial del Tanque (As) (m ²)	67.97
Ancho del Tanque (B) (m)	4.76
Longitud del Tanque (L) (m)	14.28
Carga Hidráulica Superficial (q) (m ³ /m ² -s)	0.00088167
Carga Hidráulica Superficial (q) (m ³ /m ² -d)	76.18
Velocidad Sedimentación Cond. Teóricas (Vo) (m/s)	0.088
Diámetro Menor en Condiciones Teóricas (do) (cm)	0.00335
Diámetro Menor en Condiciones Teóricas (do) (mm)	0.03
Velocidad Horizontal (Vh)(cm/s)	0.280
Velocidad Horizontal Máxima (Vh)(cm/s)	15.69
k	0.04
f	0.03
Velocidad Re suspensión Máxima (Vr) (cm/s)	13.14
Comprobación Funcionamiento	

(Relación L/B) $3/1 < L/B < 5/1$	OK
$V_h < 20 V_s$	OK
$V_h/V_s \leq 20$	OK
$V_h < V_r$	OK
Periodo de Retención Hidráulico - $0.5 \text{ hr} < \theta < 4.0 \text{ hr}$	OK
Carga Hidráulica superficial - $15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d} \leq q \leq 80 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$	OK

Fuente: Elaboración Propia

El tanque desarenador diseñado tendrá dimensiones de 4.76 m (B) y 14.28 m (L) y una profundidad de 4.50m, el cual cumple con la relación de 3/1, como lo indica la RAS, cumple con la carga hidráulica superficial 76.18 ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{-d}$), el cual debe estar en un rango de $15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d} \leq q \leq 80 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

El periodo de retorno hidráulico debe estar en el rango de $0.5 \text{ hr} < \theta < 4.0 \text{ hr}$ para el diseño se calculó 1.42 horas si cumple.

Las memorias de cálculo se incluyen en el Anexo 8.

8.4. DISEÑO Y MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE CONDUCCIÓN

La red de conducción será diseñada teniendo como parámetro el QMD para la población proyecta al año 2051, teniendo en cuenta que existe otra fuente hídrica que aporta 15 l/s al sistema.

Se utilizó el software EPANET para realizar la modelación hidráulica de la línea de conducción con los siguientes parámetros:

Fórmulas utilizadas de pérdidas: Darcy-Weisback, Colebrook-White

Rugosidad absoluta: 0.0015 mm, para tubería PVC

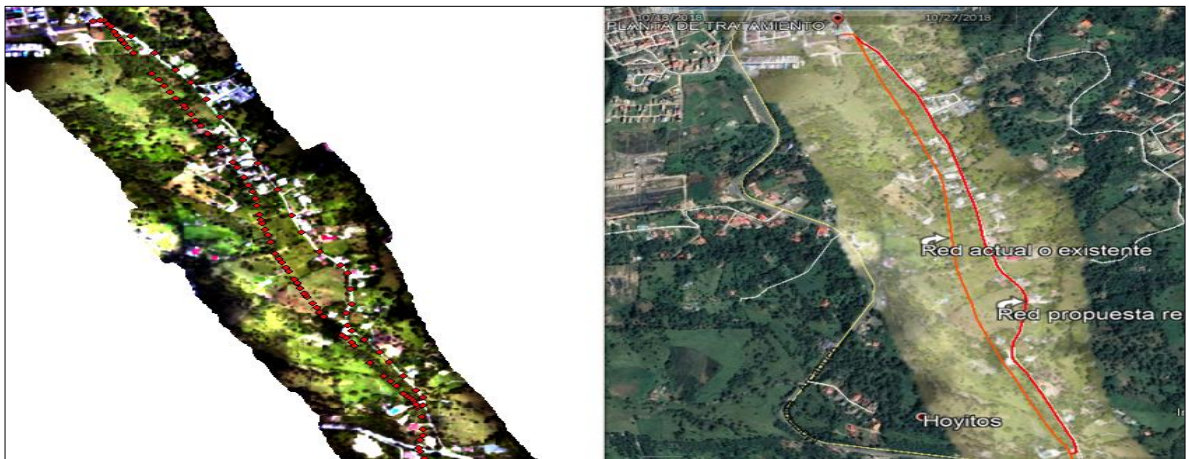
Velocidad máxima: 2.1 m/s

Velocidad mínima: 0.5 m/s

Caudal de diseño: 59.93 l/s

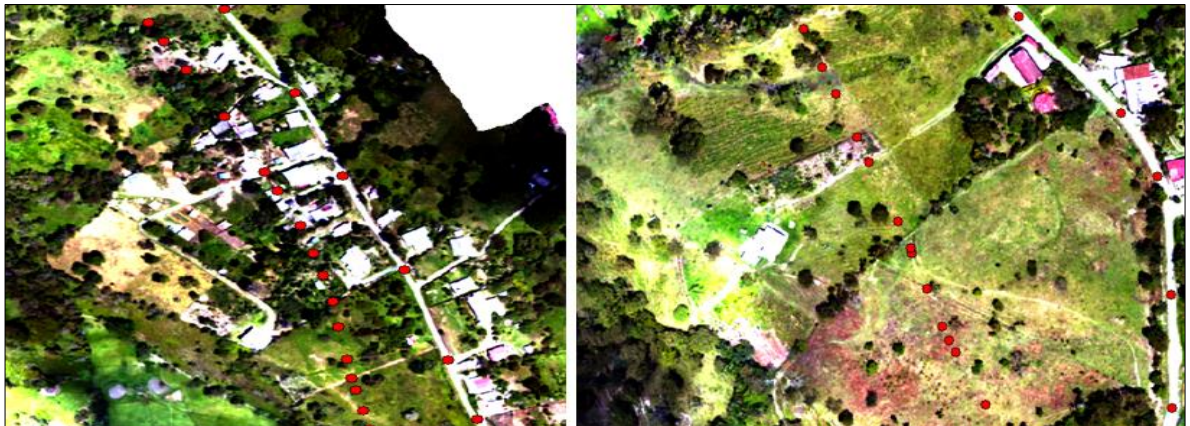
Para el análisis de la red se realizó un replanteo de la línea de conducción en la abscisa K3+556 justo donde se une la red que viene del acueducto regional del norte. Esto se debe a que la expansión de viviendas en el perímetro urbano y la construcción cerca a la red de conducción y en algunos otros casos sobre ella, adicional en la cámara de quiebre 5, el rebose constante de agua ocasionó derrumbes y movimientos en masa del terreno afectando considerablemente el predio como los aledaños, por tal motivo se planteó modificar la red por la vía veredal que va paralela a la red existente.

Fotografía 23. Replanteo de la red de conducción



Fuente: Elaboración propia mediante epanet

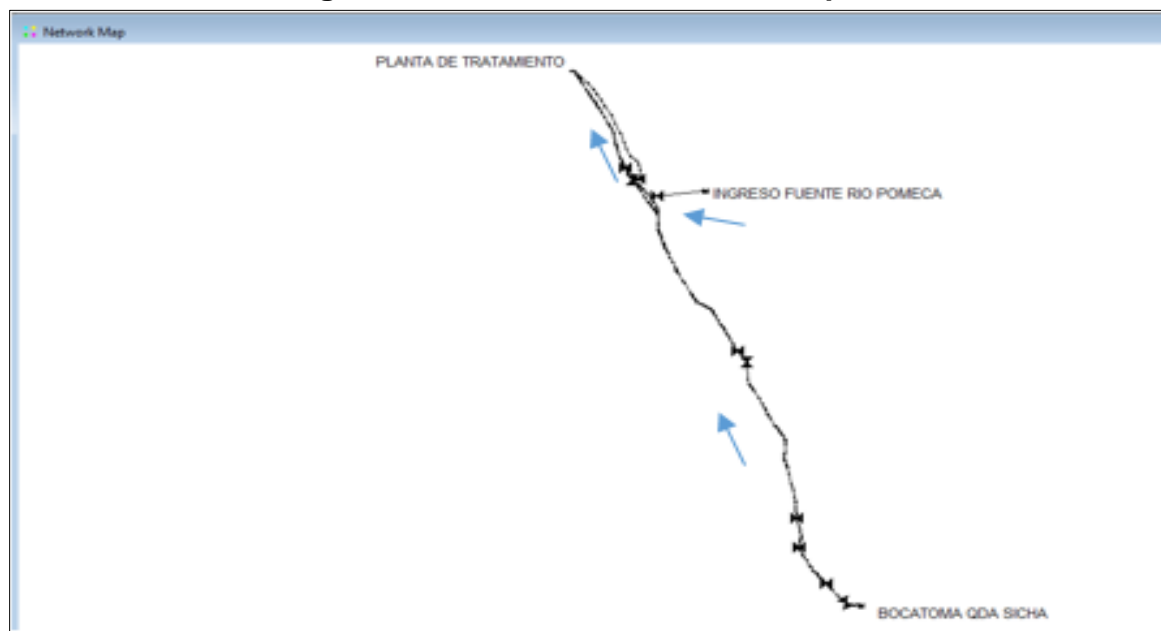
Fotografía 24. Conflicto social con el acueducto, afectaciones a predios y casas



Fuente: Elaboración propia mediante epanet

Mediante el programa epacad se cargan todos los datos de nodos y líneas y se agregan manualmente los reservorios, válvulas reguladoras de presión y demás elementos requeridos para la simulación, como se observa a continuación:

Imagen 25. Elementos de la red en Epanet

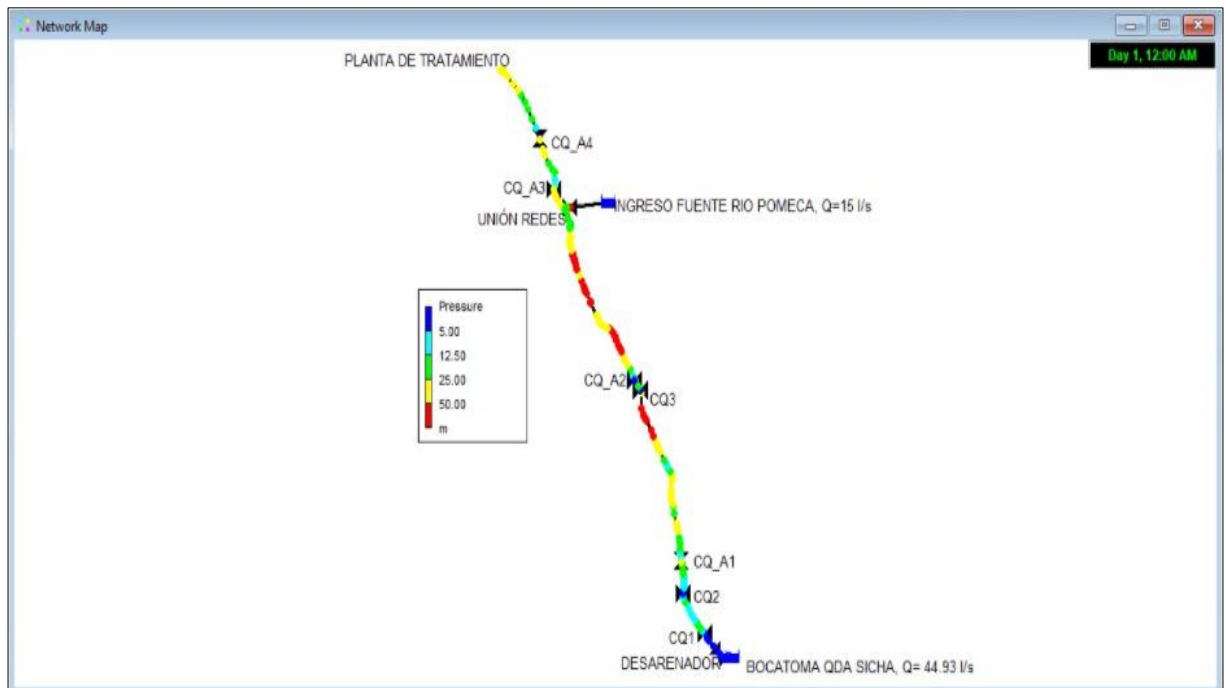


Fuente: Elaboración propia mediante epanet

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a realizar la simulación hidráulica para la red de conducción del acueducto de Moniquirá para la población proyectada al 2051.

Presiones en la red

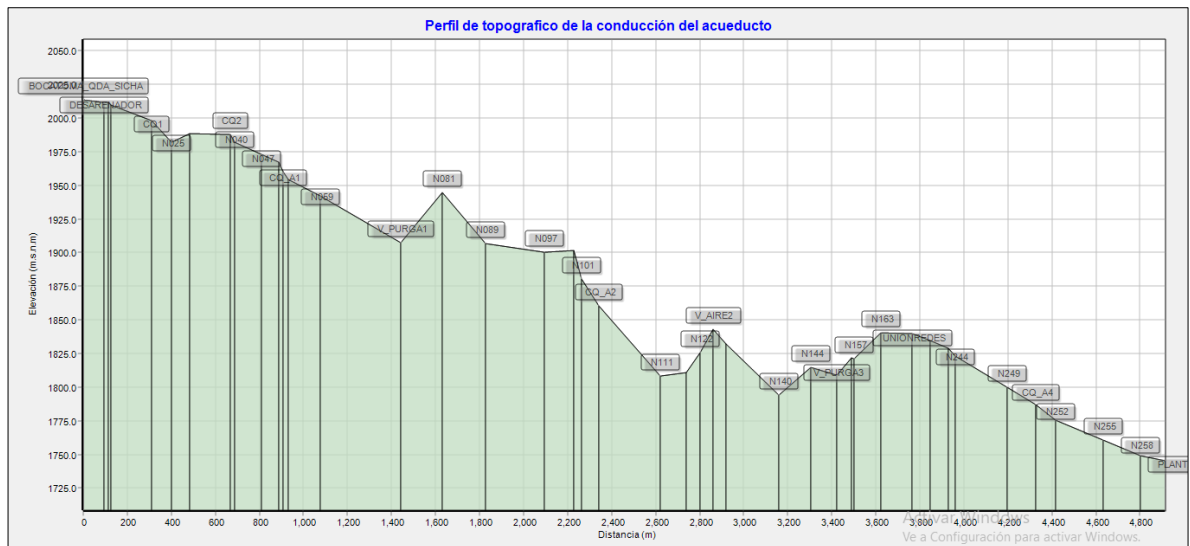
Imagen 26. Resultados de la simulación hidráulica del acueducto, presiones en la red



Fuente: Elaboración propia mediante epanet

De la imagen anterior se observa que la presión dinámica de la red tiene valores de por encima de 5 mca para los puntos más altos y/o críticos de la red, lo cual garantiza el correcto funcionamiento como lo indica la Resolución 0330 de 2017. Existen algunos tramos con presiones dinámicas por encima de 50 mca, esto se debe a que la topografía de la red tiene drenajes naturales profundos, de tal manera que no se puede incluir una cámara de quiebre de presión, ya que nos limita en el punto crítico topográfico conocido como Alto Bello, por otra parte en la planta de tratamiento tenemos una presión dinámica de 36.19 mca

Imagen 27. Perfil de elevaciones con elementos del sistema de acueducto



Fuente: Elaboración propia mediante epanet

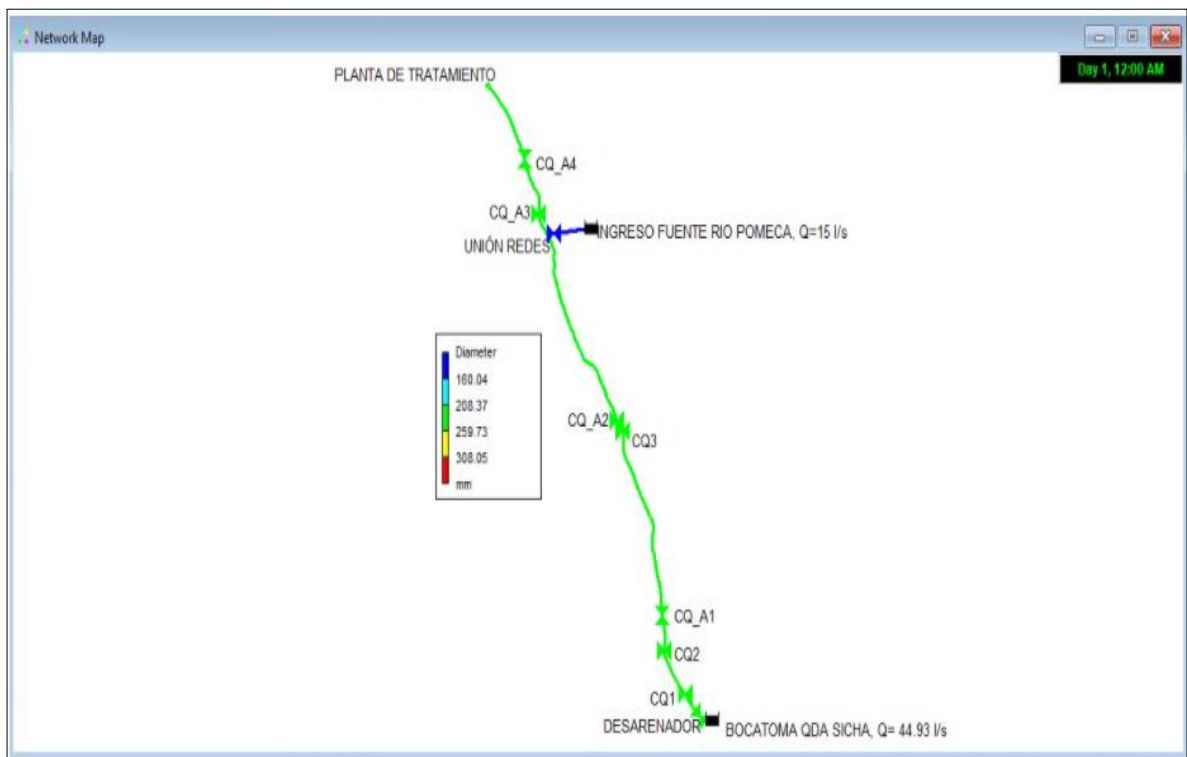
Como se observa en la imagen anterior el perfil topográfico se incluyeron las cámaras de quiebre CQ_A1, CQ_A2, CQ_A3, CQ_A4, con elevaciones de 1960.447, 1872, 1828.925, 1787.306 m.s.n.m respectivamente, esto con el fin de disminuir las presiones dinámicas y estáticas de la red. Estas cámaras de quiebre de presión deben tener una válvula con flotador control de nivel para evitar desperdicio de agua ya que esta cierra hidráulicamente y el flujo va retornando de cámara en cámara hasta rebosarse por el vertedero de excesos en el desarenador y retornar a la fuente hídrica quebrada La Sicha y así contribuir con el ahorro y uso eficiente de agua.

Se deben incluir algunas válvulas de purga en los nodos N140, N111 para permitir el lavado de tubería y válvulas de aire doble propósito o trifuncionales en el nodo N081 con el fin de permitir la admisión y expulsión de aire para evitar daños en la tubería y pérdida de caudal por acumulación de aire. Del mismo modo, las válvulas existentes deben ser reemplazadas por unas nuevas.

Diámetros y velocidades

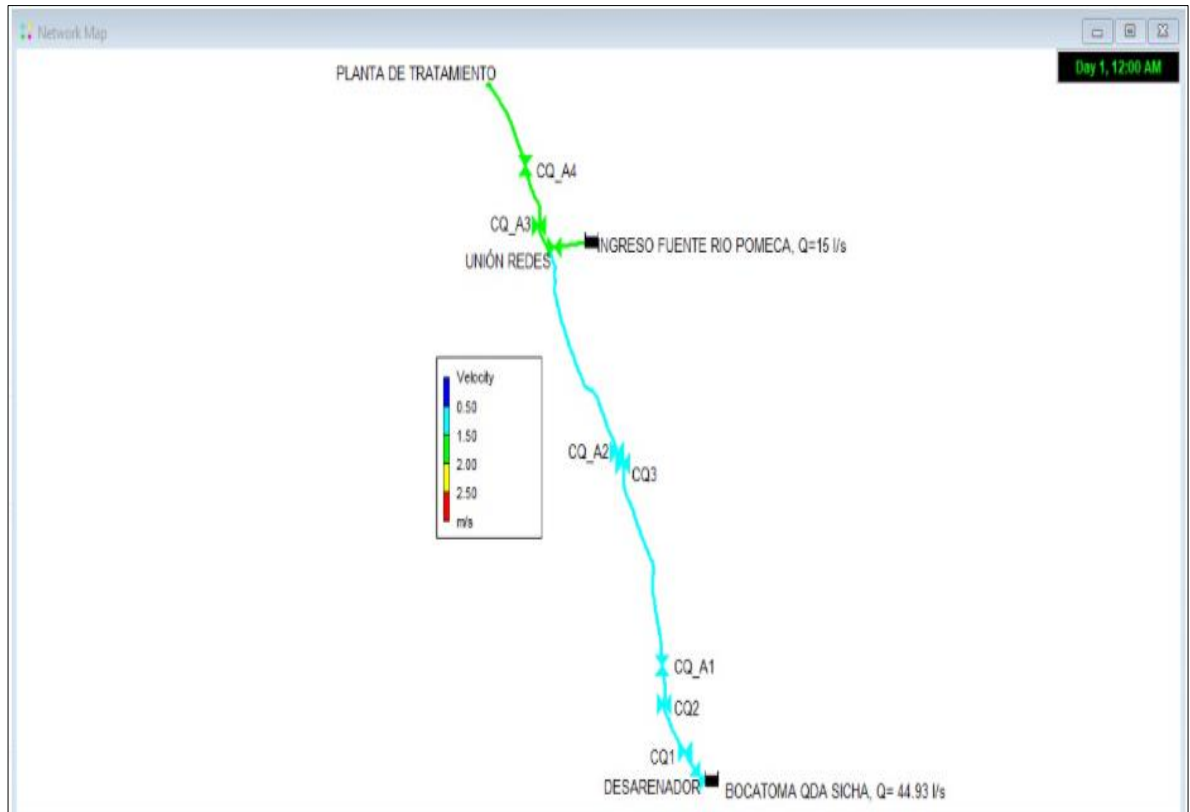
Una vez realizada la simulación con éxito, se observa en las imágenes 28 y 29 que los diámetros de diseño de la red son de 208.37mm lo que corresponde a la tubería de PVC de 8 pulgadas rde 41, para transportar el caudal de diseño proyectado a la población año 2051, esta tubería transporta un caudal de 44.93 l/s a una velocidad de 1.32 m/s desde el desarenador hasta la unión de redes o ingreso de la red del acueducto del norte. Este aporta un caudal de 15 l/s y para el tramo desde la unión de redes hasta la planta de tratamiento transporta el caudal de 59.93 l/s a una velocidad de 1.76 m/s para la misma referencia de tubería. El ingreso de la red del acueducto del norte llega en tubería de 4 pulgadas y aumenta a 6 pulgadas metros antes del punto de conexión.

Imagen 28. Resultados de la simulación hidráulica del acueducto, diámetros seleccionados para la red



Fuente: Elaboración propia mediante epanet

Imagen 29. Resultado de la simulación hidráulica del acueducto, velocidades en la red de tubería



Fuente: Elaboración propia mediante epanet

La simulación hidráulica de la situación propuesta se incluye en el Anexo 9.

9. CONCLUSIONES

Mediante el levantamiento topográfico se obtuvo la geometría de la red existente desde las obras de captación, línea de aducción, desarenador y línea de conducción, obteniendo varios resultados técnicos, como una diferencia de alturas de 267.41 metros entre la planta de tratamiento y el desarenador, una longitud entre las obras de captación y la planta de 4866 metros. Igualmente a lo largo del trazado se encontró 5 cámaras de quiebre, y una "Tee" donde llega el acueducto del norte con fuente de abastecimiento del río Pómecca, este aporta un caudal de 15 l/s.

Así mismo, podemos concluir que la estructura de la bocatoma está en la capacidad de captar un caudal de 51.57 l/s, y se encuentra sobredimensionada al momento de comparar el caudal máximo permitido por la concesión de aguas, el cual es de 26.05 l/s. Sin embargo, si se analiza a futuro, esta estructura no está en la capacidad de suplir la demanda en el año 2051, el cual se proyectó a 119.86 l/s, el cual es el doble de caudal máximo diario (QMD).

Ahora bien, el desarenador estructuralmente se encuentra en buenas condiciones; cuenta con una ubicación ideal, a 109 metros de la captación, y en ambientes estables, lejos de la quebrada que pueda poner en riesgo por alguna avenida torrencial. La capacidad hidráulica analizada del desarenador existente está en 89.90 l/s, este valor es suficiente para cubrir la demanda para un periodo de diseño de 30 años con un caudal máximo diario de (QMD) 59.93 l/s. Sin embargo, hidráulicamente cuenta con deficiencias como la carga hidráulica superficial (399.95 m³/m²d) y el periodo de retención hidráulico (0.40 hr). Cabe anotar que estos parámetros hidráulicos según la normatividad vigente, deben estar en los rangos de 15 m³/m² d \leq q \leq 80 m³/m² d para la carga hidráulica superficial y un intervalo de 0.5 hr < θ < 4.0 hr para el período de retención hidráulico respectivamente.

Como alternativa de diseño el desarenador, se propone un desarenador similar a las dimensiones encontrada (L/B), con una relación de 3/1. Deberá tener una altura libre de 4.5m, de tal manera que cumpla con el período de retención hidráulico, carga hidráulica superficial y una velocidad horizontal menor, como establece la normatividad vigente y el cual sea suficiente hidráulicamente para el periodo de diseño establecido en el año 2051.

Se encontraron pérdidas de caudal hasta de un 25% en la red de aducción existente, por consiguiente, se diseñó una sola red de aducción en tubería PVC en diámetro de 8" RDE 41.

Se pudo determinar que el acueducto tiene pérdida de caudal en la cámara de quiebre número 5 de la red existente, debido a la reducción del diámetro de dos líneas con 6" a una sola tubería de 6" que sale hacia la planta de tratamiento, motivos por los cuales ha generado conflicto social entre propietarios y vecinos con el municipio y la empresa prestadora del servicio.

Las altas presiones en la red de conducción existente y el desgaste progresivo de la tubería de asbesto cemento ocasiona daños constantes en la red, por tal motivo fue necesario incluir 4 cámaras de quiebre de presión ubicadas en diferentes lugares, logrando reducir del 68% a 20% las presiones altas del total en la red.

Con el replanteo de la red de conducción en 1316 metros, se logra evitar más problemas sociales y tener un mayor control de la red hidráulica aumentando el diámetro en la propuesta de mejora a 6" a 8" RDE 41 en toda su extensión.

Con el diseño nuevo de la red de conducción se cambiaron las dos redes de tubería por una sola obteniendo diámetros de 8" y velocidades en los rangos permisibles entre 0.5 y 2.0 m/s, materiales de excelente calidad como es la tubería PVC, mejorando notablemente las condiciones hidráulicas del sistema.

Se requiere válvulas controladoras de nivel con flotador en todas las cámaras de quiebre, válvulas de aire en los puntos más altos y en los bajos válvulas de purga o lavado con sus respectivas cajas de protección en concreto reforzado.

Gracias a este estudio se contribuye a la reducción de problemas sociales, operativos, ambientales y ahorro de agua para la población proyectada al 2051 beneficiada del acueducto.

Es importante que el municipio y la empresa prestadora del servicio público aniden esfuerzos para completar los estudios hidrológicos, estructurales, geotécnicos ambientales, sociales y demás que requiera para hacer realidad el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL Jamer Johan, Beltrán Adriana Lorena. Análisis de la demanda y la red de distribución de agua en el municipio de Aracataca, Colombia. Trabajo de Grado Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil 2014.

ALARCON Jairo Guillermo, Díaz, Lizeth Lucero. Estudio Hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Nunchía, Casanare. Trabajo de grado especialización de recursos Hídricos. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. 2018.

Alcaldía de Moniquirá. Información del municipio. Internet: <http://www.moniquira-boyaca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Alcaldía de Moniquirá. Actualización del plan de saneamiento y manejo de vertimientos municipio de Moniquirá. 2019. Internet: <http://www.moniquira-boyaca.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/Actualizaci%C3%B3n%20Plan%20de%20Saneamiento%20y%20Manejo%20de%20Vertimientos%20en%20Moniquir%C3%A1.pdf>

AMAYA, Carlos Fernando, García, Juan Alberto y Suaza, Uriel Alonso. Los acueductos como medio para potencializar el desarrollo en las comunidades rurales en Colombia. Trabajo de grado especialista en gerencia de proyectos. Itagüí – Colombia. Corporación universitaria minuto de Dios. 2017.

BASUALDO, Sabino, "Cámaras rompe presión". Internet: (<https://es.slideshare.net/Evargs1992/cmaras-rompe-pesin#:~:text=FUNDAMENTO%20TE%3%93RICO%202.1%20C%3%A1mara>

%20Rompe,tipos%3B%20para%20la%20L%C3%ADnea%20de)

BERMUDEZ Daniel Esteban. Martínez Alexandra Evaluación hidrológica e hidráulica de la quebrada la chorrera para la verificación de los niveles máximo y mínimos en la captación del centro poblado La Magdalena, Municipio de Quebrada-Cundinamarca. Trabajo de grado especialización en recursos hídricos. Bogotá D.C. Universidad católica de Colombia. Programa de Ingeniería Civil 2016.

CARRAZANA, Verónica. “Obras de conducción”. Internet: <https://tariquia.academia.edu/VeronicaCarrazanaGallardo>

CAICEDO Diego Alexander, Garcés, José Ignacio. Diagnostico técnico del acueducto urbano del municipio de Quipile Cundinamarca. Trabajo de Grado Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. 2016.

Charlando con el alcalde de Moniquirá: Avanza el plan maestro de acueducto de Moniquirá. En: BoyacáRadio.com. Boyacá. 09, marzo, 2015.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 142 de 1994. (11, julio, 1994). Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá, D.C., 1994. no. 41433.

CORCHO, Freddy y Duque José. Acueductos teoría y diseño. Medellín, Universidad de Medellín, 1993, p42

Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, TÍTULO B. Sistemas de acueducto. – 2 ed. Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2010. 480 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución No. 0330 (08, junio, 2017). Por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS. Bogotá, D. C. El Ministerio, 2017.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1127 de 2007. Por la cual se modifica la Resolución No. 1166 de 2006. Bogotá. 2007.

CUBILLOS Luis Alberto, Naranjo Jhordan Alexis. Diseño hidráulico de obras civiles para la captación y tratamiento de agua cruda del sistema de acueducto centro poblado La Magdalena Municipio de Quebradanegra, Cundinamarca. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. 2018.

DANE. “Censo nacional de población y vivienda”. 2018. Internet: <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#/>

Dirección técnica de gestión de acueducto y alcantarillado. Informe de riesgo de las empresas del sector eléctrico. En: Evaluación integral de prestadores empresa de servicios públicos de Monquirá S.A E.S.P., E.S.P.M. S.A E.S.P. diciembre de 2015 Bogotá D. C.

GOBERNACIÓN DE BOYACÁ. Dinámicas de ocupación de suelo con relación a los asentamientos humanos. Tunja. 2018.

LOPEZ COALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

MENDEZ Sebastián, Triana Alexander. Análisis del estado actual del acueducto del corregimiento de Tobia Cundinamarca y sus recomendaciones técnicas para su mejoramiento. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Universidad Católica

de Colombia. Facultad de ingeniería civil. 2019.

MOLINA, Harol Santiago. Ortiz, Sergio Stevens. Diagnóstico y propuesta de optimización para la captación del sistema de acueducto del municipio El Retorno, Guaviare. Trabajo de grado especialización recursos hídricos. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. 2020.

MONTERO, Juan Sebastián. Estado del arte de los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa en el ahorro de agua potable en viviendas. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá D. C. Universidad Santo Tomás. Facultad de ingeniería civil, 2006.

Organización mundial de la salud. “informe 2015 del PCM sobre el acceso a agua potable y saneamiento: datos esenciales”. internet: [HTTPS://WWW.WHO.INT/WATER_SANITATION_HEALTH/MONITORING/JMP-2015-KEY-FACTS/ES/](https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/)

PARRADO, German Alonso y Sandoval, Misael Eduardo. Optimización del diseño hidráulico del acueducto veredal del alto del ramo de municipio de Chipaque - Cundinamarca. Trabajo de grado ingeniero civil. Bogotá D. C. Corporación universitaria minuto de Dios. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería civil. 2018.

PÉREZ, Rafael Eduardo, ROBAYO, José Luis Análisis de la captación y aprovechamiento de agua lluvia para utilización en el campus de la universidad católica de Colombia (Bogotá), de acuerdo a las características de sus sedes. Trabajo de grado especialista de recursos hídricos, Bogotá – Colombia. Universidad Católica de Colombia 2016.

RAMIREZ, Christian. Guía técnica acueducto y alcantarillado. Trabajo de grado

ingeniero civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería departamento de ingeniería civil. 2016.

RINCON, Winddy y Córdoba, William Alberto. Determinación de los factores de mayoración para el consumo de agua potable en el municipio de Sibaté con respecto a los definidos en la Resolución número 0330 del 8 de junio de 2017. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá D. C.: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2017.

SANDOVAL, Misael Eduardo y Parrado, German Alonso. Optimización del diseño hidráulico del acueducto veredal del alto del ramo de municipio de Chipaque - Cundinamarca. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá D. C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2008.

SOTO, María Carolina. Metodología para diseñar un sistema de acueducto con bajas poblaciones. Caso de estudio corregimiento Las Palmas. Trabajo de grado ingeniera civil. Cartagena. Universidad tecnológica de Bolívar. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería civil. 2012.

UNITED States Environmental Protection Agency, "Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems". Internet: (<https://www.epa.gov/water-research/epanet>).

VARELA, Iván Camilo. Diagnóstico, evaluación y propuesta de mejora del sistema de acueducto del municipio de Apulo (Cundinamarca), Trabajo de grado ingeniero civil. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería departamento de ingeniería civil, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Resolución Concesión de Aguas

Anexo 2. Radicado solicitud de información

Anexo 3. Topografía

Anexo 4. Proyección de la Población

Anexo 5. Caudales de Diseño

Anexo 6. Diagnostico Bocatoma

Anexo 7. Memoria de cálculo Línea de Aducción

Anexo 8. Memorias de cálculo Desarenador

Anexo 9. Simulación líneas de conducción