



## TRABAJO DE GRADO

DIAGNÓSTICO Y DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ACUEDUCTO Y  
DIMENSIONAMIENTO DE UN TANQUE DE CONTROL EN EL MUNICIPIO DE EL  
PEÑÓN, CUNDINAMARCA

BARBOSA VARGAS, ANDRES CAMILO

PÉREZ GIL, IVAN MAURICIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C

2025

TRABAJO DE GRADO

DIAGNÓSTICO Y DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ACUEDUCTO Y  
DIMENSIONAMIENTO DE UN TANQUE DE CONTROL EN EL MUNICIPIO DE EL  
PEÑÓN, CUNDINAMARCA

BARBOSA VARGAS, ANDRES CAMILO

PÉREZ GIL, IVAN MAURICIO

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

Docente

LILIANA MARCELA ROJAS TRONCOSO

Ingeniera civil  
Msc Ingenieria Civil,

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C

2025

### **AGRADECIMIENTOS ANDRES BARBOSA**

Quiero expresar agradecimiento a mi familia y novia por su apoyo constante y comprensión durante el desarrollo de este trabajo. También reconocimiento a la Ingeniera Liliana y al Ingeniero Juan Fernando por sus tutorías. De igual manera, agradezco a la Ingeniera Socorro y al Ingeniero Polo, cuyas orientaciones externas fueron importantes para la realización de este proyecto. Además, le agradezco al Municipio de El Peñón y sobre todo a la señora Yolanda por facilitarnos la información primaria para realización de este documento.

### **AGRADECIMIENTOS IVAN PEREZ**

Agradecimiento a mi familia, profesores, mi novia y mi compañero de grado por todo lo aprendido durante toda la especialización y en este trabajo de grado.

## CONTENIDO

|                                                          | Pág. |
|----------------------------------------------------------|------|
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                    | 8    |
| 2. GENERALIDADES.....                                    | 9    |
| 2.1. Línea de Investigación.....                         | 9    |
| 2.2. Planteamiento del Problema.....                     | 9    |
| 2.2.1. Antecedentes del problema .....                   | 11   |
| 2.2.2. Pregunta de investigación .....                   | 12   |
| 2.2.3. Variables del problema .....                      | 12   |
| 2.3. Justificación .....                                 | 13   |
| 3. OBJETIVOS .....                                       | 14   |
| 3.1. Objetivo General.....                               | 14   |
| 3.2. Objetivos Específicos .....                         | 14   |
| 4. MARCOS DE REFERENCIA .....                            | 15   |
| 4.1. Marco conceptual .....                              | 15   |
| 4.2. Marco teórico.....                                  | 16   |
| 4.2.1. Proyección de la población .....                  | 16   |
| 4.2.2. Proyecciones de Caudal .....                      | 19   |
| 4.2.3. Teoría Hidráulica funcionamiento de redes.....    | 20   |
| 4.2.4. Proyección Del Caudal Quebrada Oscura .....       | 24   |
| 4.2.5. Tanque De Regulación .....                        | 25   |
| 4.3. Marco jurídico .....                                | 27   |
| 4.4. Marco geográfico.....                               | 28   |
| 4.4.1. DEMLIMITACIÓN Y LOCALIZACIÓN .....                | 29   |
| 4.4.2. ANALISIS COMPARATIVO DE CUENCAS NO CONTINUAS..... | 31   |
| 4.5. Estado del arte .....                               | 37   |
| 5. METODOLOGÍA .....                                     | 38   |
| 5.1. Fases del trabajo de grado .....                    | 38   |

|        |                                                                                 |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.1. | FASE I.....                                                                     | 39 |
| 5.1.2. | FASE II.....                                                                    | 39 |
| 5.1.3. | FASE III.....                                                                   | 43 |
| 5.2.   | Alcances y limitaciones .....                                                   | 44 |
| 6.     | RESULTADOS, ANALISIS DE RESULTADOS E IMPACTOS .....                             | 44 |
| 6.1.   | Evaluación de la oferta y la demanda.....                                       | 44 |
| 6.1.1. | Censos realizados por el DANE.....                                              | 45 |
| 6.2    | Proyección de la población .....                                                | 51 |
| 6.2.1  | Tasas de crecimiento municipal .....                                            | 51 |
| 6.2.2  | Tasas de crecimiento departamental .....                                        | 52 |
| 6.2.3  | Proyección de la población con actualización de proyecciones .....              | 52 |
| 6.2.4  | Demanda.....                                                                    | 55 |
| 6.2.5  | Caudal máximo diario y máximo horario. ....                                     | 56 |
| 6.2.   | Análisis de información de caudales, precipitaciones y cuenca morfológica ..... | 57 |
| 6.2.1. | INFORMACIÓN CLIMATOLOGICA .....                                                 | 57 |
| 6.2.2. | Análisis de información de caudales y precipitación. ....                       | 60 |
| 6.2.3. | CALCULO DE PARAMETROS MORFOLOGICOS .....                                        | 62 |
| 6.3.   | Diseño tanque de regulación .....                                               | 71 |
| 6.2.6  | Volumen mínimo de almacenamiento .....                                          | 71 |
| 6.2.7  | Tiempo de llenado.....                                                          | 72 |
| 6.2.8  | Balance de masas.....                                                           | 74 |
| 6.2.9  | Dimensionamiento tanque.....                                                    | 78 |
| 6.3.1. | Tiempo de lavado/Desagüe de la tubería .....                                    | 80 |
| 6.3.2. | Rebose.....                                                                     | 81 |
| 6.3    | Diagnostico redes de distribución .....                                         | 82 |
| 6.3.1  | Patrón de demanda.....                                                          | 82 |
| 6.3.2  | Escenarios de modelación .....                                                  | 83 |
| 6.3.3  | Modelación situación actual Escenario 1 .....                                   | 83 |
| 6.3.4  | Modelación Situación Futura -Escenario 2.....                                   | 89 |

|        |                                                        |     |
|--------|--------------------------------------------------------|-----|
| 6.3.5  | Consideración de velocidades según Modelo EPANET ..... | 91  |
| 6.3.6  | Consideraciones de diseño nueva red .....              | 94  |
| 6.4    | Diseño de la red de distribución.....                  | 95  |
| 6.3.3. | Válvulas reguladoras de presión.....                   | 100 |
| 7.     | RECOMENDACIONES (NUEVAS AREAS DE ESTUDIOS FUTUROS) ... | 102 |
| 8.     | CONCLUSIONES .....                                     | 104 |
| 9.     | BIBLIOGRAFÍA .....                                     | 106 |
| 10.    | ANEXOS .....                                           | 110 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1 Coeficiente de perdidas menores para algunos accesorios .....                  | 24  |
| Tabla 2 Registros DANE Municipio El Peñón .....                                        | 45  |
| Tabla 3 Censos SISBEN 2006 - 2010 Municipio el Peñón .....                             | 48  |
| Tabla 4 Proyecciones PMAA 2021 .....                                                   | 48  |
| Tabla 5 Errores de estimación .....                                                    | 51  |
| Tabla 6 Tasas de crecimiento de la población .....                                     | 51  |
| Tabla 7 Crecimiento departamental .....                                                | 52  |
| Tabla 8 Proyección Rural .....                                                         | 52  |
| Tabla 9 Proyección Urbana .....                                                        | 53  |
| Tabla 10 Proyección total .....                                                        | 54  |
| Tabla 11 Dotación neta .....                                                           | 55  |
| Tabla 12 Proyección de Caudal .....                                                    | 56  |
| Tabla 13 Estaciones climatológicas .....                                               | 58  |
| Tabla 14 Estaciones climatológicas de estudio .....                                    | 60  |
| Tabla 15 Análisis criterios morfológicos cuencas de estudio .....                      | 62  |
| Tabla 16 Datos de caudal estación 2306733 Bo. Acued. La Palma .....                    | 63  |
| Tabla 17 Resultados caudales proyectados - El Peñón .....                              | 63  |
| Tabla 18 Datos ordenados datos de caudal proyectados El Peñón .....                    | 68  |
| Tabla 19 Volúmenes a considerar para el almacenamiento de agua .....                   | 72  |
| Tabla 20. Estimación de caudales según tiempo de llenado para 24 horas .....           | 73  |
| Tabla 21. Estimación de caudales según tiempo de llenado para 8 horas .....            | 73  |
| Tabla 22. Balance de masas para un tanque de 69 m <sup>3</sup> .....                   | 75  |
| Tabla 23. Balance de masas para un tanque de 185m <sup>3</sup> .....                   | 76  |
| Tabla 24. Balance de masas para un tanque de 115m <sup>3</sup> situación critica ..... | 77  |
| Tabla 25. Evaluación de tiempos de lavado, tanque proyectado .....                     | 81  |
| Tabla 26. Diámetro de rebose para tanque proyectado .....                              | 81  |
| Tabla 27 Presiones en los nodos .....                                                  | 86  |
| Tabla 28 Presiones en los nodos .....                                                  | 89  |
| Tabla 29 Velocidades mínima y máxima .....                                             | 91  |
| Tabla 30 Velocidades del sistema .....                                                 | 92  |
| Tabla 30 Cumplimiento de presión red nueva .....                                       | 98  |
| Tabla 31 Ubicación de válvulas reguladoras de presión .....                            | 100 |

## INDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración 1 Localización municipio de “EL Peñón” Cundinamarca.....             | 29  |
| Ilustración 2 Limites con el municipio de "El Peñón" – Cundinamarca .....        | 30  |
| Ilustración 3 Mapa de coberturas El Peñón y La Palma .....                       | 31  |
| Ilustración 4 Tipo de cobertura cuenca El Peñón.....                             | 32  |
| Ilustración 5 Tipo de cobertura cuenca La Palma .....                            | 33  |
| Ilustración 6 Zonificación hidrográfica de Colombia .....                        | 35  |
| Ilustración 7 Zonificación hidrográfica de Colombia – Área Magdalena - Cauca ... | 36  |
| Ilustración 8 Fases trabajo de grado .....                                       | 38  |
| Ilustración 9 Plano de redes de alcantarillado actual .....                      | 41  |
| Ilustración 10 cuencas estudio Municipio el Peñón y La Palma.....                | 58  |
| Ilustración 11 Mediciones de precipitación OMM.....                              | 59  |
| Ilustración 12 Caudales de llenado de agua cruda .....                           | 74  |
| Ilustración 13 Curva de diámetro vs Caudal .....                                 | 79  |
| Ilustración 14 Diseño tanque de regulación .....                                 | 80  |
| Ilustración 15 Curva de consumo diario .....                                     | 83  |
| Ilustración 16 Diámetros y cotas de la red .....                                 | 84  |
| Ilustración 17 Ubicación de válvulas .....                                       | 85  |
| Ilustración 18 Puntos de sobrepresión.....                                       | 88  |
| Ilustración 19 Diseño red de distribución .....                                  | 95  |
| Ilustración 20 Sobrepresiones red de distribución .....                          | 96  |
| Ilustración 21 Puntos de rompimiento de enmallado .....                          | 97  |
| Ilustración 22 Presiones ajustadas .....                                         | 98  |
| Ilustración 23 Cumplimiento de presiones .....                                   | 98  |
| Ilustración 24 Diseño final de la red de distribución .....                      | 99  |
| Ilustración 25 Caja de válvulas .....                                            | 101 |

## INDICE DE GRAFICOS

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafica 1 Censo población Municipio el Peñón .....                                                           | 46 |
| Grafica 2 Proyección poblacional Municipio el Peñón 2005-2019; 2018 - 2035 ....                              | 47 |
| Grafica 4 Censo SISBEN 2006-2010 Municipio el Peñón.....                                                     | 48 |
| Grafica 5 Proyecciones UTS, CONTELEAC, PMAA 2021 .....                                                       | 50 |
| Grafica 6 Comparativo de proyecciones poblacionales .....                                                    | 53 |
| Grafica 7 comportamiento proyectado del caudal medio diario y los caudales<br>máximos diario y horario ..... | 57 |
| Grafica 8 Análisis de cajas y bigotes (boxplots) estación La Palma precipitación total<br>mensual .....      | 61 |
| Grafica 9 Análisis de cajas y bigotes (boxplots) estación El Peñón precipitación total<br>mensual .....      | 61 |
| Grafica 10 Caudales proyectados estación El Peñón .....                                                      | 67 |
| Grafica 11 Curva de duración de caudales .....                                                               | 69 |

## INDICE DE FORMULAS

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Formula 1 Método Aritmético .....                                  | 17 |
| Formula 2 Método Geométrico .....                                  | 18 |
| Formula 3 Método Exponencial .....                                 | 18 |
| Formula 4 Dotación bruta .....                                     | 19 |
| Formula 5 Caudal medio diario .....                                | 20 |
| Formula 6 Caudal máximo diario .....                               | 20 |
| Formula 7 Caudal máximo horario .....                              | 20 |
| Formula 8 Ecuación de Bernoulli .....                              | 21 |
| Formula 9 Pérdida de cargas por fricción .....                     | 21 |
| Formula 10 Numero de Reynols .....                                 | 22 |
| Formula 11 Coeficiente de fricción .....                           | 23 |
| Formula 12 Coeficiente Colebrook-white .....                       | 23 |
| Formula 13 Formula de perdidas por accesorios .....                | 23 |
| Formula 13 Volumen de regulación .....                             | 25 |
| Formula 14 Ecuación de Torricelli .....                            | 26 |
| Formula 15 Solución Teorema de Torricelli .....                    | 26 |
| Formula 16 Condición de diseño para un dispositivo de rebose ..... | 27 |
| Formula 17 Radio máximo .....                                      | 59 |

## GLOSARIO

**ACCESORIOS.** Elementos componentes de un sistema de tuberías, diferentes de las tuberías en sí, tales como uniones, codos, tées etc.

**ACOMETIDA.** Derivación de la red local que llega hasta el registro de corte del inmueble. Permite al usuario abastecerse del servicio público y debe ser pagada por él. En edificios de propiedad horizontal, la acometida llega hasta el registro de corte general.

**ACUEDUCTO.** Conjunto de obras, equipos y materiales utilizados para la captación, aducción, conducción, tratamiento y distribución del agua potable para consumo humano.

**ACUÍFERO.** Formación geológica o grupo de formaciones que contiene agua y que permite su movimiento a través de sus poros bajo la acción de la aceleración de la gravedad o de diferencias de presión.

**AFLUENTE.** Agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio o a algún proceso de tratamiento

**AGUA CRUDA.** Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

**AGUA PARA CONSUMO HUMANO.** Es aquella que se utiliza en bebida directa y preparación de alimentos para consumo.

**AGUA POTABLE.** Aquella que por reunir los requisitos organolépticos (olor, sabor y percepción visual), físicos, químicos y microbiológicos, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

**USUARIO.** Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario de un inmueble en donde éste se presta, o como receptor directo del servicio, equiparándose este último con el término consumidor.

**ACUEDUCTO.** Llamado también servicio público domiciliario de agua potable. Es la distribución municipal de agua apta para el consumo humano, incluida su

conexión y medición, como también la captación de agua y su procesamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y transporte

**CAPTACIÓN.** Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, *Glosario de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, Bogotá, Colombia, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/glosariodelosserviciosdeacueductoalcantarilladoyaseo.pdf>*

## RESUMEN

El presente trabajo de grado realiza un diagnóstico, diseño de la red de distribución de acueducto y el dimensionamiento de un tanque de reversa para el municipio de “El Peñón”, Cundinamarca, el cual se dividió en tres (3) fases: recopilación de información, diagnóstico y diseño de sistemas de acueducto y tanque de respaldo y por ultimo análisis y resultados.

El sistema de acueducto de El Peñón se abastece de la quebrada oscura, la cual en épocas de sequías se evidencia un bajo caudal el cual no es suficiente para la operación del sistema presentando cortos abastecimiento del mismo, de igual forma en épocas de sequías se observan sobrepresiones afectando a la población.

Mediante el análisis de la información recolectada se pudo observar que el sistema actual de acueducto se compone a la fecha de materiales tales como Gress, presentando problemas con las presiones, rupturas, fisuras, corrosión y daños, de igual forma para analizar los datos actuales se usaron programas tales como EPANET.

Teniendo en cuenta el área de estudio se realizó un análisis morfológico e hidrológico mediante el programa ARCGIS PRO el cual permitido determinar diferentes parámetros para la obtención de caudal de diseño se identificaron, así como el análisis de los datos de las estaciones de precipitación y caudal de la zona de estudio.

Gracias a lo anterior se pude determinar varias opciones tales como, cambio de materiales y diámetros de tuberías, instalación de válvulas reguladoras de presión, permitiendo mantener la presión dentro los rangos establecidos por la normatividad.

## **ABSTRACT**

This thesis diagnoses and designs the water distribution network and sizing of a backup tank for the municipality of El Peñón, Cundinamarca. The project was divided into three (3) phases: data collection, diagnosis and design of the water supply and backup tank systems, and finally, analysis and results.

El Peñón's water supply system is supplied by the Quebrada (Dark Creek). During droughts, low flow rates are insufficient for the system's operation, resulting in shortages. Similarly, during droughts, overpressures are observed, affecting the population.

Through the analysis of the collected information, it was observed that the current water supply system is composed of materials such as Gress, which presents problems with pressures, ruptures, fissures, corrosion, and damage. Programs such as EPANET were used to analyze the current data. Considering the study area, a morphological and hydrological analysis was performed using ARCGIS PRO software. This allowed for the identification of various parameters for obtaining the design flow rate, as well as the analysis of data from the precipitation and flow stations in the study area.

This allowed for the identification of several options, such as changing pipe materials and diameters and installing pressure-regulating valves, allowing pressure to be maintained within the ranges established by regulations.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las redes de acueducto constituyen un componente fundamental para la distribución eficiente de agua potable a las comunidades, siendo su correcto funcionamiento determinante en la calidad del servicio prestado. No obstante, dichas infraestructuras suelen presentar problemas como deterioro, pérdidas de presión o fugas, los cuales pueden estar asociados a su antigüedad, deficiencias en el diseño, falta de mantenimiento o disminución en la eficiencia hidráulica con el paso del tiempo.

En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo realizar el diagnóstico y diseño del sistema de tuberías del acueducto en el casco urbano del municipio de El Peñón, Cundinamarca, excluyendo los centros poblados. Adicionalmente, se busca garantizar la operación del sistema durante un periodo máximo de 24 horas en condiciones de emergencia, mejorando su desempeño y asegurando una distribución adecuada del recurso hídrico, tanto en términos de caudal como de presión.

El problema central que se pretende abordar es la complejidad en la distribución del agua en el municipio, donde se evidencian pérdidas significativas de caudal en épocas de sequía y sobrepresiones en temporadas de lluvia, lo cual ocasiona daños en la infraestructura. Esta situación no solo afecta a los usuarios del servicio, sino que también genera desperdicio de agua potable, un recurso cuya conservación cobra cada vez mayor importancia en el contexto nacional actual.

El proyecto se enfocará en evaluar las condiciones actuales de la red de tuberías, identificando zonas críticas que requieran intervención. Posteriormente, se plantearán soluciones de diseño orientadas a resolver las deficiencias detectadas, con el propósito de optimizar el funcionamiento del sistema, mejorar la eficiencia en la distribución y fomentar una gestión más responsable del recurso hídrico.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1. Línea de Investigación

El presente proyecto de grado se enfocará por la línea de investigación Gestión y tecnología para la sustentabilidad de las comunidades enfocado en elaborar el diagnóstico de la red existente de acueducto en el área urbana y parte de la vereda Centro y Guanacas en el municipio de “El Peñón”, Cundinamarca, además del dimensionamiento hidráulico de un tanque de almacenamiento de agua cruda que permita el uso del recurso por mínimo 24 horas en épocas de sequía e inundaciones, esperando resultados positivos aplicando desde la parte hidráulica, mediante el uso del software EPANET Y programas SIG.

### 2.2. Planteamiento del Problema

La ONU (Organización de las Naciones Unidas) reconoció el acceso al agua como un derecho humano a través de la observación No. 15 “Derecho al agua”, en interpretación de los derechos económicos y culturales, así mismo desde un enfoque más territorial se observa que en el documento “Gobernanza del agua en Cundinamarca para garantizar un derecho”, resalta que el departamento de Cundinamarca se ha convertido en la entidad territorial, en invertir la mayor parte de recursos financieros en los Planes Departamentales de Agua potable y saneamiento, para mejorar la calidad de agua potable en sus municipios<sup>[2]</sup>.

Cundinamarca cuenta con 117 municipios con una población aproximada de 10 millones de habitantes en los cuales se incluye su capital Bogotá D.C, de los cuales casi el 90% de la población vive en la parte urbana mientras que los demás en su parte rural. Como evidencia el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE aproximadamente el 12,2% de la población de Cundinamarca cuenta con necesidad insatisfechas, entre ellas el consumo al agua potable, como un derecho humano fundamental

El municipio de El Peñón, ubicado en el departamento de Cundinamarca, cuenta con una fuente principal de abastecimiento para su casco urbano, la quebrada Oscura. El sistema de distribución es operado por la oficina de Servicios Públicos, y aunque se registra una cobertura del 100% en el área urbana según la Contraloría de Cundinamarca, esta cobertura no garantiza un servicio eficiente ni continuo.

---

[2] “Gobernanza del agua en Cundinamarca para garantizar un derecho,” *Revista Republicana*, [En línea]. Disponible: <https://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/revistarepublicana/article/view/20/19>. [Accedido: 09-may-2025].

La red de distribución enfrenta limitaciones técnicas importantes tales como deficiencias hidráulicas, derivadas de múltiples factores: el uso de materiales antiguos como tuberías de asbesto-cemento en algunos tramos, una topografía con pendientes que alcanzan el 10%, la ausencia de dispositivos de control de presión, y un diseño que no responde a las condiciones actuales de consumo ni a la proyección futura de la población. Estas condiciones generan fluctuaciones de presión, particularmente en zonas cercanas a la PTAP, donde generalmente se presentan caídas de presión durante el arranque del sistema, otro factor que influye en el funcionamiento del sistema es su respuesta a eventos climáticos extremos, en épocas de sequía las fuentes de agua disminuyen su caudal presentando fallas de distribución, posible desgaste, roturas por presión especialmente si hay cambios bruscos en el flujo del sistemas, así como la generación de racionamientos e incluso cortes de agua totales del servicio, mientras que en épocas de lluvia se presentan varios problemas los cuales afectan la calidad del agua como el servicio a la comunidad interrupciones del sistema ocasionando daños en las líneas de distribución, sobrepresiones por factores hidráulicos, mecánicos y estructurales lo que provocan rupturas en la red.

La combinación de estos factores no solo deteriora la calidad del servicio, sino que incrementa el desperdicio de agua potable, un recurso estratégico cuya gestión eficiente es esencial bajo el contexto actual de variabilidad climática y presión sobre las fuentes hídricas.

Por lo antes mencionado el sistema actual no es capaz de sostener condiciones hidráulicas adecuadas (caudal y presión) durante todo el año, lo que pone en riesgo la continuidad y confiabilidad del servicio. La falta de infraestructura de regulación, como válvulas de control de presión o tanques de regulación intermedio, agrava este escenario.

Ante esta problemática, se plantea medida prioritaria realizar el diagnóstico hidráulico integral de la red urbana y parte de la vereda Guanacas, este estudio permitirá identificar deficiencias (en materiales y presión) en el diseño actual, presiones inadecuadas, posibles fugas y/o deterioro, partiendo de este análisis se formulara seguido de una propuesta de diseño optimizado que contemple la regulación de presiones mediante válvulas reguladoras de presión y modernización de sectores críticos, garantizando una distribución más equitativa que permita garantizar el suministro de agua en épocas de sequía y lluvias, mejorando el comportamiento hidráulico en los puntos críticos y garantizar un suministro más equilibrado. Una medida adicional que se considera necesaria es la incorporación

de un tanque de regulación de agua cruda, dimensionado para cubrir al menos 24 horas de abastecimiento, esta estructura permitirá regular el suministro ante variaciones bruscas en la oferta hídrica lo cual permitiría mantener la operación del sistema en condiciones de emergencia, especialmente en periodos de escasez prolongadas y sequías. La contribución de estos mecanismos permitirá fortalecer la resiliencia del sistema de acueducto frente a cambios climáticos y problemas antrópicos que se presenten en el municipio, específicamente en las zonas de estudio.

La intervención propuesta incluye el uso de herramientas como EPANET para la simulación hidráulica y software SIG para el análisis topográfico y espacial del sistema, lo cual permitirá fundamentar técnicamente cada decisión de rediseño. Así, este proyecto busca mejorar la gestión del recurso hídrico urbano, optimizar la infraestructura existente y sentar las bases para futuras inversiones en el sistema de acueducto de El Peñón.

### **2.2.1. Antecedentes del problema**

A nivel nacional, la gestión del recurso hídrico ha enfrentado desafíos significativos debido a fenómenos climáticos extremos. Entre 2010 y 2011, el fenómeno de La Niña provocó intensas lluvias que afectaron la infraestructura de acueductos en diversas regiones del país. En respuesta, el Plan Departamental de Agua (PDA) de Cundinamarca aprobó recursos por \$5.000 millones en 2010 y \$20.000 millones en 2011 para atender emergencias relacionadas con agua y saneamiento [3]

En el ámbito regional, la Gobernación de Cundinamarca ha planteado estrategias orientadas al fortalecimiento de los sistemas de agua potable, priorizando los municipios con mayores deficiencias técnicas. En el informe de gestión 2020–2023, se resalta la necesidad de modernizar y optimizar las redes de distribución existentes, con el propósito de garantizar la sostenibilidad operativa del servicio, reducir pérdidas y lograr cobertura universal, especialmente en localidades con infraestructura obsoleta o limitada, como es el caso del municipio de El Peñón

A nivel local, diversos diagnósticos han evidenciado fallas estructurales y operativas en el sistema de acueducto de El Peñón. Según el informe emitido por la CAR Cundinamarca, se han registrado pérdidas de presión, fugas constantes y eventos de sobrepresión durante las temporadas de lluvia. Estas deficiencias son atribuibles

---

[3] Gobernación de Cundinamarca. *Plan Departamental de Agua – Informe Congreso MINAMBIENTE 2011*. [En línea]. Disponible en: [https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Informe\\_Congreso\\_MINAMBIENTE\\_2011.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Informe_Congreso_MINAMBIENTE_2011.pdf)

al deterioro progresivo de las redes, a la presencia de tramos en asbesto-cemento, y a un diseño que no responde a las condiciones hidráulicas reales ni a la topografía del municipio [4]. Asimismo, en época de sequía, se reportan caídas considerables de caudal que afectan directamente la continuidad del servicio y aumentan la vulnerabilidad del sistema frente a eventos críticos.

### 2.2.2. Pregunta de investigación

¿Cómo se puede garantizar que el sistema de acueducto del municipio de “El Peñón” garantice una distribución eficiente de agua potable durante las épocas de lluvia y sequía para la parte urbana del municipio?

### 2.2.3. Variables del problema

Para abordar el diseño del sistema de acueducto en su área urbana en el municipio de “El Peñón”, es importante definir las variables clave que influyen en su funcionamiento y eficiencia. Las cuales son las siguientes:

1. **Presión del agua en la red de distribución:** Variación de la presión en diferentes puntos del sistema, especialmente en las zonas críticas. Influye directamente en la capacidad de la red para mantener un flujo constante y evitar rupturas.
2. **Caudal de agua disponible:** Cantidad de agua disponible en la fuente de abastecimiento (Bocatoma), que puede verse afectada por factores estacionales (como temporadas secas y lluviosas).
3. **Demanda de agua:** Cantidad de agua requerida por los habitantes del municipio, que puede variar según la época del año y el crecimiento poblacional.
4. **Pendiente del terreno:** El municipio de El Peñón presenta un pendiente promedio del 10%, lo cual afecta la distribución de agua y genera problemas de presión en áreas específicas.
5. **Capacidad de almacenamiento:** Disponibilidad de almacenamiento de agua en la red y tanque de almacenamiento (Si lo hay), lo que incluye la capacidad para asegurar el suministro en épocas de baja disponibilidad de caudal.

---

[4] CAR Cundinamarca. *Informe de seguimiento al recurso hídrico – Subzona Río Negro, 2022*. [En línea]. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/6104e145ba238.pdf>

6. **Diámetro y materiales de las tuberías:** Tamaño y tipo de material de las tuberías, ya que afectan la eficiencia en la distribución y pueden ser un factor de riesgo en las rupturas o fugas de la red.
7. **Frecuencia de fallas y rupturas:** Número y localización de fallas y rupturas en la red de distribución, especialmente durante temporadas de lluvia que aumentan la sobrepresión en la red.
8. **Pérdidas de agua en la red:** Cantidad de agua que se pierde debido a fugas, roturas y conexiones ilegales, lo que reduce la eficiencia del sistema y afecta el suministro continuo.
9. **Variabilidad estacional del caudal:** Cambios en el caudal disponibles debido a la variabilidad climática, incluyendo sequías y temporadas de lluvias, que afectan la disponibilidad y distribución de agua.
10. **Calidad del agua en la red de distribución:** Parámetros de calidad que deben mantenerse a lo largo de la red de distribución para cumplir con los estándares de agua potable en las zonas de consumo.

Estas variables permiten analizar y proponer soluciones efectivas en el diagnóstico y diseño del sistema de acueducto del municipio de “El Peñón”.

### 2.3. Justificación

El presente proyecto reviste gran importancia, ya que busca identificar las condiciones actuales de la red de acueducto del municipio de El Peñón, Cundinamarca, con el fin de diagnosticar las principales deficiencias relacionadas con la presión, el caudal, el tipo de materiales y otros aspectos técnicos que puedan estar afectando su eficiencia. A través de esta evaluación se pretende proponer alternativas de mejora que contribuyan al uso sostenible del recurso hídrico y al fortalecimiento del sistema de distribución para beneficio de la comunidad.

Esta investigación es relevante debido a que, aborda el diseño de las redes de acueducto del municipio de “El Peñón”, esto surge por la necesidad de mejorar la eficiencia en la distribución de agua potable y reducir las pérdidas, especialmente durante periodos de lluvias intensas y sequías. La infraestructura actual tiene problemas de sobrepresión, pérdidas de caudal y daño de tuberías, lo cual afecta tanto la calidad del servicio como la conservación del recurso hídrico. Estos problemas, comunes en sistemas de acueducto antiguos (como en la mayoría de los municipios aledaños a la región y en general de Cundinamarca), generan impactos negativos que afectan a los usuarios y limitan el desarrollo de la comunidad, además de contribuir a la degradación ambiental.

Actualmente, la planta de tratamiento de El Peñón cuenta con una capacidad aproximada de 2.1 lps con capacidad de tratar máximo 7 litros, mientras que la concesión otorgada por la CAR para el uso de agua potable es de alrededor de 1.1 lps, todo esto según el diagnóstico técnico presentado en el PMAA de 2011<sup>[5]</sup> Esta limitación en la concesión, combinada con la capacidad de tratamiento, evidencia un desafío en la gestión del recurso hídrico, lo cual resalta la necesidad de soluciones que optimicen el uso del agua y reduzcan las pérdidas en el sistema.

Desde un enfoque técnico, el diseño de sistemas de acueducto es un área de interés crucial en el estudio hídrico que afectan el acceso al agua en muchas regiones.

Estudios previos sobre análisis hidráulicos en redes de distribución han demostrado ser efectivos para diagnosticar y resolver problemas de caudal y presión en sistemas similares. Por ello, este proyecto se basa en metodologías probadas que permitirán evaluar y rediseñar la red de distribución, minimizando las pérdidas y garantizando un suministro adecuado en cada punto del sistema.

Este proyecto no solo busca abordar los problemas específicos de la red de acueducto de “El Peñón”, sino también contribuir al conocimiento técnico en la distribución de agua en áreas rurales o semiurbanas. Los resultados tienen el potencial de generar beneficios tanto a nivel local como en comunidades aledañas con problemas similares, tales como los centros poblados de Guayabal de Toledo y Talauta, o municipios vecinos como Topaipí y Villagómez. De esta manera, el proyecto podría servir como un modelo replicable para otras localidades que enfrentan desafíos similares en la gestión del recurso hídrico.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Diseñar el sistema de acueducto del municipio de “El Peñón”, Cundinamarca, mediante el diagnóstico y ajuste de las redes de distribución de agua potable, apoyado con un tanque de regulación con el fin de asegurar un suministro continuo y eficiente al menos por 24 horas, con el fin de mejorar la calidad de servicio y reducir las pérdidas en zonas críticas.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

---

<sup>[5]</sup> AJUSTE, ACTUALIZACIÓN, TERMINACIÓN O FORMULACIÓN DE PLANES MAESTROS DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO Y ALcantarillado en zonas urbanas y centros nucleados del departamento de Cundinamarca. SUBZONA 4ª,

- Diagnosticar el estado actual de las redes de acueducto, identificando puntos críticos con deficiencias de presión y comparando el caudal actual con el proyectado para un período de retorno de 25 años, con el fin de determinar posibles deficiencias en el suministro.
- Proponer un diseño del sistema de distribución de agua potable que incorpore un tanque de almacenamiento de agua cruda de respaldo, considerando la proyección del caudal futuro y las restricciones de la concesión otorgada por la CAR, con el fin de asegurar un suministro continuo durante 24 horas en eventos de emergencia
- Establecer simulaciones y cálculos hidráulicos del sistema de distribución que cumplan con los estaderos mínimos de caudal y presión en las zonas críticas.

#### **4. MARCOS DE REFERENCIA**

##### **4.1. Marco conceptual**

El diseño de sistemas de acueducto implica el conocimiento y aplicación de conceptos clave relacionados con el comportamiento hidráulico de redes, la planificación del recurso hídrico y la infraestructura asociada. En este proyecto, orientado al mejoramiento del sistema de abastecimiento en el casco urbano del municipio de El Peñón, Cundinamarca, se destacan los siguientes conceptos fundamentales:

- **Red de distribución de agua potable**

Corresponde al conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos encargados de conducir el agua desde los puntos de almacenamiento o tratamiento hasta los usuarios. Estas redes deben garantizar presiones y caudales adecuados en cada punto del sistema, cumpliendo con los criterios establecidos en la normatividad nacional, como el RAS 2000 y la Resolución 0330 de 2017. Su diseño debe considerar aspectos como pérdidas de carga, cobertura, materiales y condiciones topográficas del terreno.

- **Tanque de almacenamiento**

Los tanques de almacenamiento tienen como función principal garantizar la continuidad del servicio ante variaciones de demanda o interrupciones temporales en el suministro. Su diseño se basa en criterios hidráulicos y operativos, tomando en cuenta volúmenes de regulación, turnos de operación, consumos proyectados y disponibilidad del recurso. En sistemas por gravedad, su ubicación estratégica y cota juegan un papel determinante para el funcionamiento adecuado del sistema.

- **Oferta hídrica superficial**

Se refiere al volumen de agua disponible en cuerpos hídricos como ríos o quebradas, considerando su comportamiento estacional y características hidrológicas. El análisis de oferta hídrica permite conocer la capacidad del sistema para abastecer la demanda prevista, especialmente durante eventos de baja disponibilidad. La estimación de estos caudales requiere el uso de información hidrológica histórica y herramientas de análisis espacial como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

- **Demanda hídrica y dotación**

La demanda hídrica es la cantidad de agua requerida por una población o sistema para cubrir sus necesidades, calculada en función del número de habitantes, sus actividades y una dotación asignada (litros por habitante por día). Esta dotación varía según la altitud, tipo de población (urbana o rural) y uso (residencial, comercial, institucional, entre otros), según lo establecido por la normativa vigente.

## **4.2. Marco teórico**

### **4.2.1. Proyección de la población**

Para realizar los trabajos desarrollados es fundamental saber cuál sería los conceptos del diseño hidráulico, adaptación ante variabilidad hidrológica y modernización de agua potable, con eso podemos definirlos en:

- **Sistemas de Distribución de Agua Potable:** Garantizar entre de agua en cantidad y calidad adecuada.
- **Variabilidad hidrogeológica:** Variabilidad climática que incrementa la necesidad de sistemas resilientes en especial en lluvias y sequías:
- **Material de tuberías:** Las tuberías de asbesto cemento o Gres tienden a

dañarse con el tiempo, afecta calidad del servicio.

Con base en los censos realizados entre los años 1985 y 2018, y considerando los datos obtenidos por el presente trabajo de grado para el año 2024, se aplicarán distintos métodos de proyección poblacional con el objetivo de estimar el crecimiento demográfico de forma precisa y acorde al comportamiento observado en las últimas décadas

Utilizando los métodos aritmético, exponencial y geográfico en el cual el método aritmético suponiendo un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración, donde su fórmula establece [6]

#### 4.2.1.1. Método Aritmético

Formula 1 Método Aritmético

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \times (T_f - T_{uc})$$

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{(T_f - T_{uc})} \quad r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1$$

Fuente: Chow, *Open-Channel Hydraulics*, International Student Edition. New York: McGraw-Hill, 1959, p. 159

Donde:

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

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

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

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE

Tci= Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf= Año al cual se quiere proyectar la información.

---

[6] Chow, *Open-Channel Hydraulics*, International Student Edition. New York: McGraw-Hill, 1959, p. 159

#### 4.2.1.2. Método Geométrico

Formula 2 Método Geométrico

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{(T_f - T_{uc})} \quad r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{ei}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ei})}} - 1$$

Fuente: Chow, *Open-Channel Hydraulics*, International Student Edition. New York: McGraw-Hill, 1959, p. 159

Donde  $r$  se define como la tasa de crecimiento anual y las demás variables se determinan como en el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

#### 4.2.1.3. Método Exponencial [7]

Formula 3 Método Exponencial

$$P_f = P_{ci} * e^{k(T_f - T_{ci})} \quad k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Fuente: F. Corcho Romero and J. I. Duque Serna, *Acueductos: Teoría y Diseño*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín, 2010, p. 13

Inicialmente se calculan las tasas de crecimiento de la población ( $k$ ) para cada par de datos censales conocidos. Las ecuaciones empleadas para desarrollar este método son las siguientes:

Donde:

$k$ : Tasa de crecimiento de la población

$P_{cp}$ : Población censo posterior

$P_{ca}$ : Población censo anterior

$T_{cp}$ : Año censo posterior

---

[7] F. Corcho Romero and J. I. Duque Serna, *Acueductos: Teoría y Diseño*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín, 2010, p. 13

Tca: Año censo anterior

Ln: Logaritmo natural o neperiano

Con las tasas de crecimiento, anteriormente presentadas, se realizan los análisis de proyección para un periodo de 25 años, Art. 40 – Resolución 0330 de 2017, definiendo que los presentes estudios se proyectan desde el año 2027 como el año 0 del análisis.

#### 4.2.2. Proyecciones de Caudal

##### 4.2.2.1. Dotación Bruta

La dotación bruta para el diseño de cada uno de los componentes que conforman un sistema de acueducto se calcula conforme a la siguiente ecuación [8]:

Formula 4 Dotación bruta

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%Perdidas}$$

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto*, República de Colombia, 2017, p. 37.

##### 4.2.2.2. Caudales de diseño

La cantidad de agua demandada por los usuarios del sistema no es constante en el tiempo debido a las características sociales, culturales y económicas de los habitantes. Por lo tanto, el sistema de abastecimiento se encontrará sometido a diferentes niveles de consumos [9].

- **Caudal medio diario ( $Q_{md}$ ):** corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año. Es el caudal medio calculado para la población

[8] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto*, República de Colombia, 2017, p. 37.

[9] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto*, República de Colombia, 2017, p. 39.

proyectada teniendo en cuenta la dotación bruta asignada y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

Formula 5 Caudal medio diario

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

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto*, República de Colombia, 2017, p. 39.

- **Caudal máximo diario ( $Q_{MD}$ ):** corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se obtiene multiplicando el caudal medio diario por un factor de mayoración conocido como coeficiente de consumo máximo diario ( $k_1$ ). El caudal máximo diario se calcula mediante la siguiente ecuación:

Formula 6 Caudal máximo diario

$$Q_{MD} = Q_{md} \cdot K_1$$

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto*, República de Colombia, 2017, p. 39.

- **Caudal máximo horario ( $Q_{MH}$ ):** 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 un factor de mayoración conocido como coeficiente de consumo máximo horario ( $k_2$ ). El caudal máximo horario se calcula mediante la siguiente ecuación<sup>10</sup>:

Formula 7 Caudal máximo horario

$$Q_{MH} = Q_{MD} \cdot K_2 \text{Fuente}$$

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto*, República de Colombia, 2017, p. 39.

#### 4.2.3. Teoría Hidráulica funcionamiento de redes

<sup>10</sup> Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto*, República de Colombia, 2017, p. 39.

El análisis del flujo en tuberías es un aspecto fundamental en el diseño de sistemas hidráulicos, entre los fundamentos más importantes está el teorema de Bernoulli, el cual establece que para un fluido incompresible, sin viscosidad y flujo estacionario, la suma de la energía por presión, velocidad y altura permanece constante en un tramo de corriente, expresando en la siguiente ecuación <sup>11</sup>:

Formula 8 Ecuación de Bernoulli

$$E = P + \frac{1}{2}\rho v^2 + pgh$$

Fuente: Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, 3rd ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2014, pp. 185-190.

Donde:

*P*: Presión

$\rho$ : Densidad

*v*: Velocidad

*h*: altura

En el contexto de tuberías cerradas, la aplicación del Teorema de Bernoulli permite predecir variaciones en la presión y velocidad del fluido a lo largo del sistema, lo cual es fundamental en el diseño de redes de distribución de agua, sistemas de bombeo y drenaje <sup>[12]</sup>. No obstante, en condiciones reales, los fluidos presentan pérdidas de energía causadas por la fricción con las paredes internas de las tuberías, así como por accesorios como codos, válvulas y reducciones, para el cálculo de pérdidas por fricción se recurrió a la fórmula de Darcy-Weisbach <sup>[13]</sup>:

Formula 9 Perdida de cargas por fricción

$$h_f = f \left( \frac{L}{D} \right) * \frac{v^2}{2g}$$

Fuente: S. P. Venkatesh, "Pressure Loss Calculation in Pipe Flow," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 120, no. 4, pp. 453–460, 2021.

---

[11] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, 3rd ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2014, pp. 185-190.

[12] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, 3rd ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2014, pp. 185-190

[13] S. P. Venkatesh, "Pressure Loss Calculation in Pipe Flow," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 120, no. 4, pp. 453–460, 2021.

En donde:

hf: Pérdidas por fricción expresadas en m

f: Factor de fricción

L: Longitud de la tubería en m

D: Diámetro interno de la tubería en m

v: Velocidad en m/s

g: Aceleración de la gravedad

El Número de Reynolds se calcula mediante la siguiente expresión <sup>[14]</sup>:

Formula 10 Numero de Reynols

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Fuente: M. L. Munson, D. F. Young, y T. H. Okiishi, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 8th ed., Hoboken, NJ: Wiley, 2016.

En donde:

Re: Número de Reynolds

$\rho$ : Densidad del agua en kg/m<sup>3</sup>

v: Velocidad en m/s

D: Diámetro interno en m

$\mu$ : Viscosidad dinámica en kg/m.s

Los tipos de flujo en función del Número de Reynolds son:

✓ Re < 2.100 Flujo Laminar

✓ 2.100 <= Re < 4.000 Flujo de Transición

✓ Re >= 4000 Flujo Turbulento

---

[14] M. L. Munson, D. F. Young, y T. H. Okiishi, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 8th ed., Hoboken, NJ: Wiley, 2016.

Para flujo laminar, el factor de fricción que emplea la fórmula de Darcy Weisbach se calcula mediante la siguiente expresión (Poiseuille) [15]:

Formula 11 Coeficiente de fricción

$$f = \frac{64}{Re}$$

Fuente: E. F. Brater, H. W. King, J. E. Lindell, and C. Y. Wei, *Handbook of Hydraulics for the Solution of Hydraulic Engineering Problems*, 7th ed. Boston, MA: McGraw-Hill, 1996, pp. 6.1-6.2.

Para flujo de transición y flujo turbulento, el factor de fricción se determina mediante la expresión implícita de Colebrook-White [16]:

Formula 12 Coeficiente Colebrook-white

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,5}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Fuente: *Hidráulica de tuberías: Abastecimiento de agua, redes y riegos*, 4ª ed., Bogotá, Colombia: Alfaomega Colombiana, 2019, p. 148

Sin embargo, las pérdidas menores pueden interpretarse como debidas al incremento de la turbulencia que se produce en los cambios de dirección, codos, accesorios, etc. El valor de la pérdida será el producto del coeficiente de cada accesorio por la altura dinámica en la tubería, esto es:

Formula 13 Formula de pérdidas por accesorios

$$h_L = \sum \frac{K v^2}{2g}$$

Fuente: *Hidráulica de tuberías: Abastecimiento de agua, redes y riegos*, 4ª ed., Bogotá, Colombia: Alfaomega Colombiana, 2019, p. 148

En donde:

$h_L$ : Pérdidas menores o locales expresadas en m

$\sum K$ : Sumatoria de los coeficientes de pérdida asociados a codos, válvulas, etc.

---

[15] E. F. Brater, H. W. King, J. E. Lindell, and C. Y. Wei, *Handbook of Hydraulics for the Solution of Hydraulic Engineering Problems*, 7th ed. Boston, MA: McGraw-Hill, 1996, pp. 6.1-6.2.

[16] *Hidráulica de tuberías: Abastecimiento de agua, redes y riegos*, 4ª ed., Bogotá, Colombia: Alfaomega Colombiana, 2019, p. 148

v: Velocidad en términos de m/s

g: Aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Para efectos de estimar la magnitud de las pérdidas locales o menores se tendrán en cuenta las siguientes magnitudes del coeficiente K en función del tipo de elemento o accesorio <sup>[17]</sup>:

Tabla 1 Coeficiente de perdidas menores para algunos accesorios

| <i>ACCESORIO</i>                    | <i>COEF. PERDIDAS</i> |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Válvula de Globo, todo abierta      | 10,0                  |
| Válvula de Angulo, todo abierta     | 5,0                   |
| Válv. Retenc. Clapeta, todo abierta | 2,5                   |
| Válvula compuerta, todo abierta     | 0,2                   |
| Codo de radio pequeño               | 0,9                   |
| Codo de radio mediano               | 0,8                   |
| Codo de radio grande                | 0,6                   |
| Codo a 45 grados                    | 0,4                   |
| Codo de Retorno (180°)              | 2,2                   |
| Té Estándar – flujo recto           | 0,6                   |
| Té Estándar – flujo desviado        | 1,8                   |
| Entrada brusca                      | 0,5                   |
| Salida brusca                       | 1,0                   |

Fuente: *Hidráulica en tuberías y accesorios (Válvulas industriales): Pérdidas, casos reales de aplicación y selección de bombas centrífugas*, 4a ed. Guayaquil, Ecuador: Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE), 2020, p. 51.

#### 4.2.4. Proyección Del Caudal Quebrada Oscura

Para la proyección del caudal de la quebrada oscura se tuvo en cuenta una serie de pasos teniendo en cuenta, datos hidrológicos, climáticos y normativos, determinando caudales de diseño, mínimos, medios y máximos para poder definir la capacidad del tanque de regulación, así como establecer el periodo de diseño el cual tomamos una proyección de 25 años proyectados para el 2050. Para esto de

[17] N. S. Chuquín Vasco, J. P. Chuquín Vasco, y D. A. Chuquín Vasco, *Hidráulica en tuberías y accesorios (Válvulas industriales): Pérdidas, casos reales de aplicación y selección de bombas centrífugas*, 4a ed. Guayaquil, Ecuador: Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE), 2020, p. 51.

realizo la recolección de información de estaciones no registradoras de datos de precipitación para este caso precipitaciones totales mensuales tomadas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM, Organización Meteorológica Mundial OMM para la selección de las estaciones en la zona de estudio, delimitación y caracterización de la cuenca mediante programas SIG, para este caso QGIS y ARCGIS PRO, determinando parámetros para su análisis, teniendo en cuenta las condiciones se realizó una proyección de caudales para poder determinar el caudal ambiental y proseguir con el tanque de regulación.

#### **4.2.5. Tanque De Regulación**

Para sistemas hidráulicos, el volumen de regulación es fundamental para poder controlar variaciones de caudal que se presenten a lo largo del tiempo, esto con el fin de las redes hidráulicas o la PTAP con el fin de poder mejorar caudales pico del sistema, mejorar la eficiencia y evitar desbordamiento en etapas críticas de operación<sup>18</sup>.

Con lo anterior, se busca que el volumen de regulación se calculó a partir de:

Formula 14 Volumen de regulación

$$V = Q_r * t$$

Fuente: Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño, Construcción y Operación de Tanques de Regulación para Abastecimiento de Agua Potable*, Ciudad de México, México, diciembre 2007, p. 10.

Donde:

V: volumen de regulación (m<sup>3</sup>)

Q: Caudal de entrada de regulación (depende del balance de masas)

T: Tiempo óptimo de salida

##### **4.2.5.1. Borde libre**

Para asegurar una buena ventilación entre las tuberías y controlar el movimiento del agua generado por un sismo, se deja un espacio mínimo de 20 centímetros, conocido como borde libre. Este se ubica entre la parte de abajo de la tapa del tanque y el nivel máximo que alcanza el agua almacenada.

##### **4.2.5.2. Tiempo de lavado y vaciado de tanque**

---

[<sup>18</sup>]Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño, Construcción y Operación de Tanques de Regulación para Abastecimiento de Agua Potable*, Ciudad de México, México, diciembre 2007, p. 10.

El vaciado de tanques es un proceso fundamental en el diseño hidráulico, especialmente para sistemas de almacenamiento y regulación de fluidos. El caudal de desagüe del tanque depende del diámetro de la tubería de descarga, su área transversal y la altura de la lámina de agua dentro del tanque. Según la normativa vigente, el tiempo máximo permitido para vaciar completamente el tanque es de 8 horas. Por esta razón, para cada tanque se eligió una tubería de lavado con un diámetro adecuado que permitiera cumplir con ese límite de tiempo, garantizando al mismo tiempo un rango de operación eficiente.

Este proceso se rige principalmente por la Ley de Torricelli, la cual describe cómo un fluido se descarga a través de un orificio bajo la influencia de la gravedad. Esta ley establece que la velocidad de salida ( $v$ ) de un fluido es proporcional a la raíz cuadrada de la altura ( $h$ ) del fluido sobre el orificio, como se expresa en la siguiente ecuación<sup>19</sup>:

Formula 15 Ecuación de Torricelli

$$Q = A * \sqrt{2gh}$$

Fuente: *Notas de clase para un curso de ecuaciones diferenciales*, Fondo Editorial EIA, 2019, ISBN 978-958-52367-4-5.

Donde:

Q: Caudal de salida (m<sup>3</sup>/s),

G: Aceleración gravitacional (9.81 m/s<sup>2</sup>),

h: Altura de la lámina de agua sobre el punto de salida (m).

A: Área de salida

Integrando esta relación para calcular el tiempo total ( $T_t$ ) necesario para vaciar un tanque [<sup>20</sup>], se obtiene:

Formula 16 Solución Teorema de Torricelli

$$T = \frac{2 \cdot A \cdot \sqrt{h}}{C_d a \cdot \sqrt{2g}}$$

Fuente: *Notas de clase para un curso de ecuaciones diferenciales*, Fondo Editorial EIA, 2019, ISBN 978-958-52367-4-5.

---

[<sup>19</sup>] *Notas de clase para un curso de ecuaciones diferenciales*, Fondo Editorial EIA, 2019, ISBN 978-958-52367-4-5

[<sup>20</sup>] G. J. Castaño Chica, *Notas de clase para un curso de ecuaciones diferenciales*, Fondo Editorial EIA, 2019, ISBN 978-958-52367-4-5.

Donde:

T =Tiempo de lavado (s)

A= Área superficial del tanque (m<sup>2</sup>)

h=Altura de la columna de agua sobre el desagüe (m)

Cd= Coeficiente de descarga de

a= Área de la tubería de lavado (m<sup>2</sup>)

L=Longitud del orificio (m)

D=Diámetro del orificio de salida (m)

#### 4.2.5.3. Rebose

El procedimiento para determinar el diámetro de la tubería de rebose se basa en dos criterios fundamentales. El primero establece que la capacidad de evacuación del sistema debe ser superior al caudal de ingreso al módulo, garantizando así que no se generen acumulaciones. El segundo criterio exige que la lámina de agua máxima sobre la tubería de rebose mantenga una distancia mínima de 10 cm respecto a la cara inferior de la tapa del tanque, con el fin de evitar la aparición de presiones hidrostáticas no deseadas en la cubierta. Con base en lo anterior, se calcula el caudal de rebose utilizando la siguiente expresión, correspondiente a la capacidad de evacuación de un orificio <sup>[21]</sup>:

Formula 17 Condición de diseño para un dispositivo de rebose

$$Q_{rebose} = C_d * A * \sqrt{2 * g * h} \geq \frac{Q_{MD}}{2}$$

Fuente: Chow, *Open-Channel Hydraulics*, International Student Edition. New York: McGraw-Hill, 1959, p. 159

Donde:

Qrebose =Caudal del rebose (l/s)

A= Área del orificio (m<sup>2</sup>)

h=Altura máxima de lámina de agua (m)

Cd= Coeficiente de descarga = 0.61

### 4.3. Marco jurídico

---

<sup>21</sup> Chow, *Open-Channel Hydraulics*, International Student Edition. New York: McGraw-Hill, 1959, p. 159

- **Ley 142 de 1994:** Regula los servicios públicos domiciliarios, incluyendo el acueducto, y establece la responsabilidad de las entidades territoriales para gestionar estos servicios de forma eficiente.
- **Ley 373 de 1997:** Establece normas para el uso eficiente y ahorro del agua en todo el país, promoviendo programas que reduzcan el desperdicio y mejoren la gestión de este recurso.
- **Decreto 1575 de 2007 y Resolución 2115 de 2007:** Regulan el Sistema de Protección y Control de Calidad del Agua Potable, fijando estándares de calidad para garantizar que el agua sea segura para el consumo humano.
- **RAS-2000:** El Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico proporciona criterios técnicos para el diseño y mantenimiento de infraestructuras de acueducto, esenciales para garantizar la sostenibilidad y eficiencia del sistema.
- **Normas Técnicas de la EAAB:** Las normas de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) establecen especificaciones para el diseño, materiales y mantenimiento de redes de acueducto, incluyendo el diseño de tanques, selección de válvulas y reposición de tuberías.
- **Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de El Peñón:** Define las directrices locales para el desarrollo urbano y la gestión de recursos naturales, estableciendo la importancia de preservar las fuentes hídricas como la quebrada Oscura y alineando el proyecto con las necesidades de crecimiento poblacional.

#### 4.4. Marco geográfico

##### Análisis morfológico “El Peñón” Cundinamarca.

Ilustración 1 Localización municipio de “EL Peñón” Cundinamarca



Fuente: Pagina web Gobernación de Cundinamarca – Mapas de Cundinamarca

#### 4.4.1. DEMLIMITACIÓN Y LOCALIZACIÓN

La cuenca hidrográfica del Río Negro hace parte de la hoya hidrográfica del Río Magdalena, se ubica al norte del Departamento de Cundinamarca, cubre una extensión de 4235,24 Km<sup>2</sup> el 22.7% de la jurisdicción de la CAR [22], entre los cuales se encuentra el municipio se encuentra “El Peñón”. Fisiográficamente es constituido por valles y montañas de la cordillera oriental formador por vegas y abanicos a lo largo del rio negro y montañas de laderas coluviales formando una topografía variable.

El Municipio de El Peñón limita por:

**Por el Norte:** El municipio de Topaipí.

[22] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), "Curvas de duración de caudales: metodología y aplicación en cuencas no instrumentadas", 2018. [Enlace: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac67c2184f22.pdf>]

**Por el Sur:** El municipio de Pacho.

**Por el Occidente:** Los municipios de Vergara y Nimaima.

**Por el Oriente:** Los municipios de La Peña y La Palma.

Ilustración 2 Limites con el municipio de "El Peñón" – Cundinamarca



Fuente: Pagina web Gobernación de Cundinamarca – Mapas de Cundinamarca

- **Régimen de lluvias**

El municipio de “El Peñón”, presenta un régimen bimodal con una precipitación anual entre 1.700 a 2.400 m.m. de sur a norte, con una ocurrencia de dos (2) épocas mayores de lluvia, marzo, abril; mayo, octubre y noviembre, con ocurrencias de menores lluvias entre enero, febrero y julio, agosto.

- **Suelo**

Se presentan sedimentos épico continentales, lutitas negras calizas y areniscas, asentado en rocas sedimentarias del mesozoico con manifestaciones de presencia de esmeraldas.

Desde el punto de vista agrologico el 98% de su área corresponde a las clases VI y VII con limitaciones para cultivos y 2% pertenecientes a la clase IV.

El uso predominante del suelo es agrícola, pecuario.

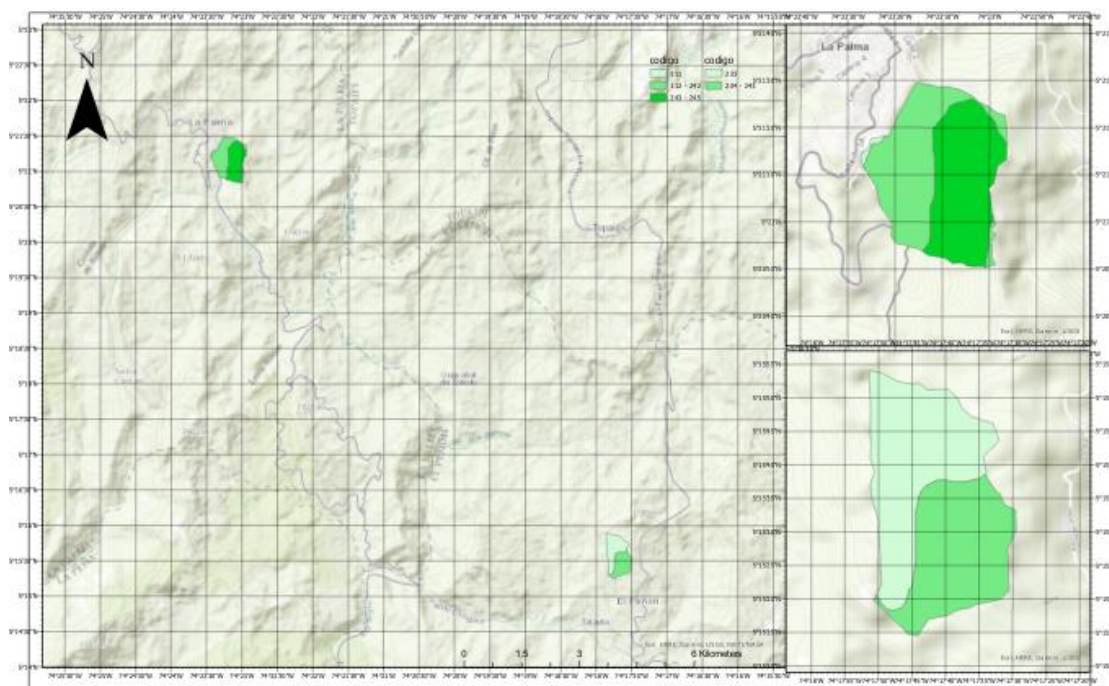
- **Hidrografía**

“El Peñón” hace parte de la cuenca del río negro el cual es tributario del Magdalena, contando con otros ríos importantes como lo son: El río Bunque tributario del Río Negro y el Río Nacuacar afluente del Bunque y el río Murca

Existen micro cuencas de gran importancia conformadas por las quebradas: La Oscura, El Bebedero, El Porvenir, Los Manantiales, La Lagunita, Samabá, El Coral, Quebrada Honda y otras. La mayoría es la fuente de los acueductos rurales y urbanos y para el fomento de la piscicultura que ha tenido gran auge en el Municipio. [23]

#### 4.4.2. ANALISIS COMPARATIVO DE CUENCAS NO CONTINUAS

Ilustración 3 Mapa de coberturas El Peñón y La Palma



Fuente: Elaboración propia

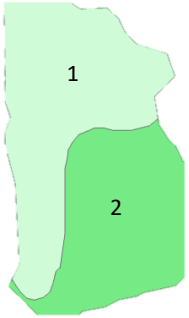
Teniendo en cuenta el análisis comparativo entre las dos cuencas de estudio pertenecientes al municipio de El Peñón y La Palma del departamento de

<sup>23</sup> El Peñón, Cundinamarca, *Plan Territorial de Salud 2008-2011 – El Peñón, Cundinamarca*, Alcaldía Municipal de El Peñón, 2008. [Enlace: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/24317/28765-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]

Cundinamarca, son cuencas hidrográficas no continuas, para la cual se realizó la comparación de coberturas a partir del suelo identificadas en cada cuenca, para esto se usó la clasificación CORINE LAND COVER adaptada a Colombia, utilizando ARCGIS PRO para su identificación y análisis de acuerdo con lo establecido con la leyenda nacional de coberturas de tierra, metodología CORINE LAND COVER adaptada para Colombia escala 1:100.000 [24], para lo cual se elaboró un mapa de coberturas en el cual teniendo en cuenta el tamaño de las cuencas en el presente documento por el tamaño y demás no es posible visibilizar bien su información por lo que se recomienda revisar el anexo No.2 mapas de coberturas Anexo No. 2.2 mapa de coberturas de los entregables adjuntos al proyecto.

Para lo anterior se observa que la cuenca de El Peñón presenta dos tipos de coberturas

Ilustración 4 Tipo de cobertura cuenca El Peñón

| CUENCA EL PEÑÓN |       |                                                                 | Nivel |  |
|-----------------|-------|-----------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| COBERTURA No. 1 | 2.3.3 | Pastos enmalesados (verde claro)                                |       |                                                                                      |
|                 | 2.    | Territorios agrícolas                                           | 1     |                                                                                      |
|                 | 2.3   | Pastos                                                          | 2     |                                                                                      |
|                 | 2.3.3 | Pastos enmalesados                                              | 3     |                                                                                      |
| COBERTURA No. 2 | 2.4.3 | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (verde oscuro) | Nivel |                                                                                      |
|                 | 2.    | Territorios agrícolas                                           | 1     |                                                                                      |
|                 | 2.4   | Áreas agrícolas heterogéneas                                    | 2     |                                                                                      |
|                 | 2.4.3 | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales                | 3     |                                                                                      |

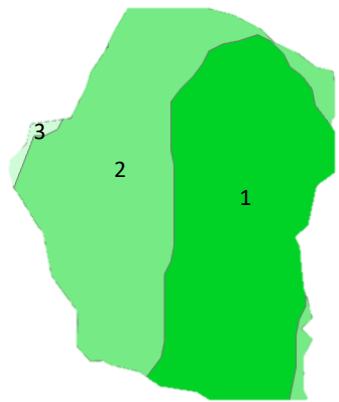
Fuente: Elaboración propia

Para la cuenca de La Palma se identificaron tres tipos de cuencas

[24] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000*, Bogotá, D.C., 2010. [Enlace](#)

Ilustración 5 Tipo de cobertura cuenca La Palma

| CUENCA LA PALMA |       |                                                           | Nivel |
|-----------------|-------|-----------------------------------------------------------|-------|
| COBERTURA No. 1 | 2.4.5 | Mosaico de cultivos con especies naturales (verde oscuro) |       |
|                 | 2     | Territorios agrícolas                                     | 1     |
|                 | 2.4   | Áreas agrícolas heterogeneas                              | 2     |
|                 | 2.4.5 | Mosaico de cultivos con especies naturales                | 3     |
| COBERTURA No. 2 | 2.4.2 | Mosaico de pastos y cultivos                              | Nivel |
|                 | 2     | Territorios agrícolas                                     | 1     |
|                 | 2.4   | Áreas agrícolas heterogeneas                              | 2     |
|                 | 2.4.2 | Mosaico de pastos y cultivos                              | 3     |
| COBERTURA No. 3 | 1.1.1 | Tejido urbano continuo                                    | Nivel |
|                 | 1     | Territorios artificializados                              | 1     |
|                 | 1.1   | Zonas urbanizados                                         | 2     |
|                 | 1.1.1 | Tejido urbano continuo                                    | 3     |



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2.1. CUENCA EL PEÑÓN

##### COBERTURA No.1 Pastos enmalezados

Se conforman por coberturas de tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, una de las causales en la falta de prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono, principalmente la altura de la vegetación secundaria es menor a 1.5 m, esta cobertura incluye pastos enmalezados bordeados con setos, zonas de inundaciones o pantanos con un área menor de 25 ha y pequeñas áreas de cultivo que no representan más del 25% del área de pastos enmalezados.

- **COBERTURA No.2 MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES**

Presenta coberturas principales de cultivos y pastos combinados con espacios naturales, para este tipo el patrón de distribuciones no puede ser representado individual, por lo cual las áreas de cultivos y pastos ocupan entre 30% y 70% de la superficie.

#### 4.4.2.2. CUENCA LA PALMA

- **COBERTURA No.1 MOSAICO DE CULTIVOS Y ESPACIOS NATURALES**

Corresponde a las superficies ocupadas principalmente por cultivos en combinación con espacios naturales, donde el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual. Los espacios naturales comprendidos en

esta cobertura representan un área muy pequeña identificados como parches o relictos conformados por cubiertas de bosque, arbustales, bosques de galería y/o ripiario vegetación secundaria o de transición, zonas pantanosas u áreas no intervenidas las cuales permanecen en estado natural o casi natural.

- **COBERTURA No.2 MOSAICO DE PASTOS Y TEJIDOS**

Comprende tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es inferior a las 25 ha, presenta una distribución de lotes complejo dificultando su representación cartográfica de manera individual, esta cobertura incluye mezcla de parcelas de pastos y cultivos con patrón espacial intrincado con áreas mayor a 25 ha, pastos y cultivos bordeados con setos o árboles, así como cultivos y pastos donde ninguno representa mal del 70% del área del mosaico.

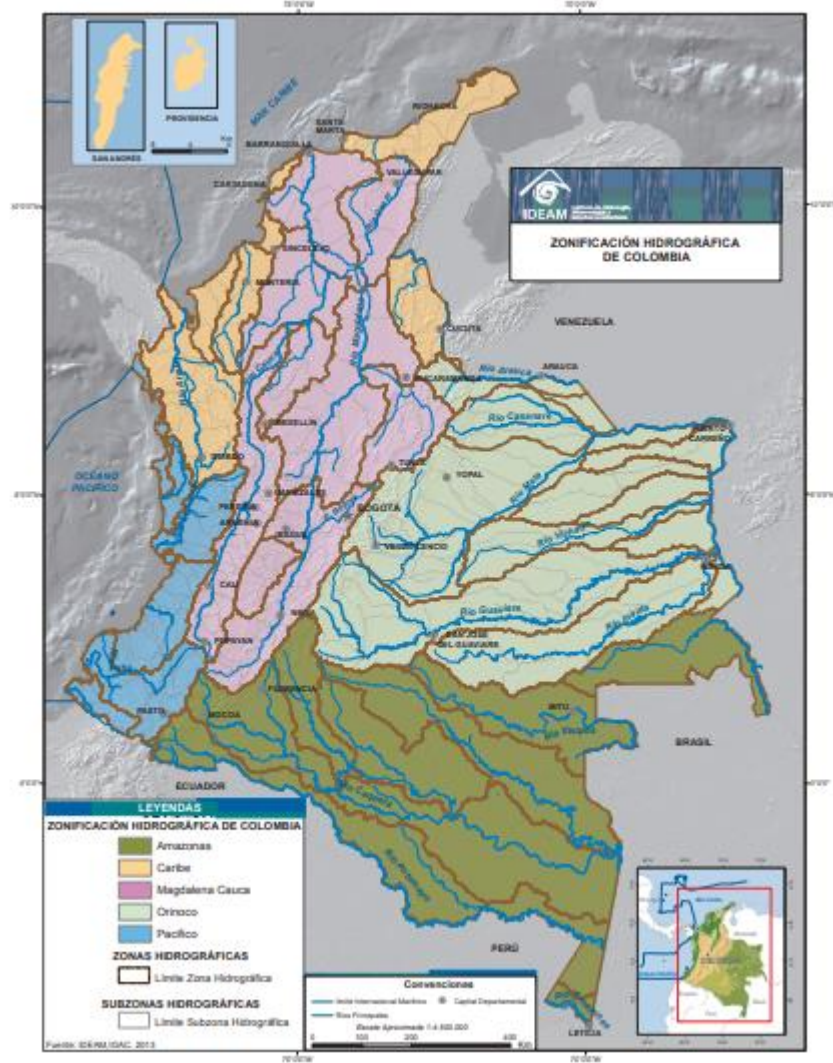
- **COBERTURA No.3 TEJIDO URBANO CONTINUO**

Presenta espacios por edificaciones y espacios adyacentes a la infraestructura edificada, presenta un 80% de la superficie del terreno con edificaciones, vías y superficies, mientras que la superficie con vegetación y el suelo desnudo presentan una proporción del espacio del área urbana.

El Peñón y La Palma presentan coberturas agropecuarias predominantes con presencia de mosaicos que incluyen espacios naturales, indicando:

- Presión media – alta sobre ecosistemas originales
- Potencial de conservación, tramitando correctamente los parches naturales y conectividad.

Ilustración 6 Zonificación hidrográfica de Colombia



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM



donde se originan procesos fuertes de erosión como producto del acelerado fenómeno de deforestación y la existencia de áreas geo inestables. [25]

#### 4.5. Estado del arte

El abastecimiento de agua potable a través de redes de acueducto es fundamental para la calidad de vida en cualquier comunidad, especialmente en áreas rurales o semiurbanas, donde el acceso al agua es más vulnerable a variaciones climáticas y a problemas de infraestructura, como objetivo es buscar que las redes de distribución aumenten la eficiencia en su suministro en pro de garantizar sostenibilidad hídrica. Acueducto en muchos municipios de Colombia, incluido El Peñón, presentan problemas de deterioro, pérdida de presión y fugas, los cuales afectan la distribución y calidad del servicio de agua potable. Estudios realizados por entidades como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) señalan que, debido a la antigüedad de las redes y a la falta de mantenimiento, es común que las tuberías presenten problemas de corrosión y fracturas, especialmente en las de materiales como el asbesto-cemento y PVC, que representan el 70% y 30% de la red en El Peñón, respectivamente. Estos materiales tienden a debilitarse con el tiempo, comprometiendo el suministro y causando pérdidas en el sistema (IDEAM, 2022)

Dando a lo anterior, la modernización de los sistemas de acueducto también ha sido destacada por organismos internacionales, como la OMS, que resalta la necesidad de invertir en infraestructuras resilientes al cambio climático para reducir el impacto de sequías e inundaciones en la distribución de agua potable. El acueducto de El Peñón, que usa agua de la quebrada Oscura y tiene problemas de sobrepresión en épocas de lluvias y déficit de caudal en sequías, refleja la necesidad de adoptar estas recomendaciones para asegurar un suministro más estable y eficiente (OMS, 2023)).

Con eso para resolver problemas de sobrepresión, pérdidas de caudal y baja eficiencia en redes de acueducto, se han desarrollado diversas metodologías de diagnóstico y optimización. Un enfoque común es el uso de modelos hidráulicos, como el método de Hardy-Cross y su comprobación en software de simulación, como EPANET. Estos modelos son buenos para encontrar puntos críticos, simular

---

[25] **El Peñón, Cundinamarca**, *Plan Territorial de Salud 2008-2011 – El Peñón, Cundinamarca*, Alcaldía Municipal de El Peñón, 2007. [Enlace: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/24317/28765-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]

escenarios de variabilidad hídrica y determinar posibles soluciones de optimización. (Marbello y Rico)

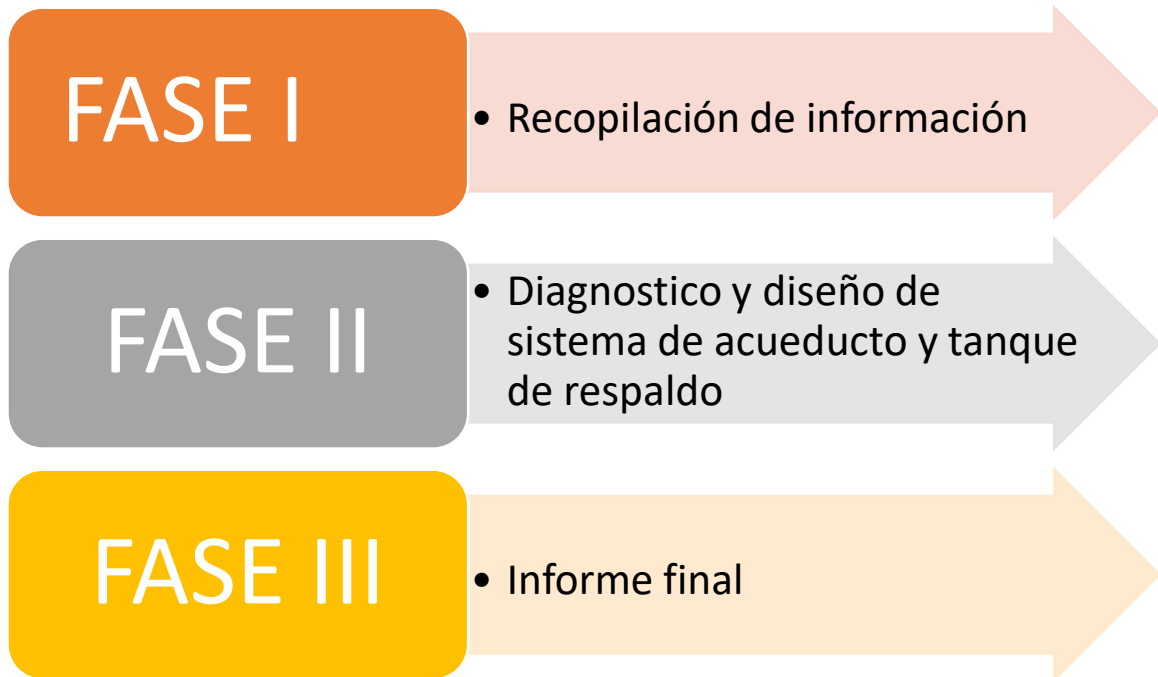
Adicionalmente, los sistemas de respaldo mediante tanques de almacenamiento de agua cruda son una solución que ayuda en diversas localidades con problemas de intermitencia en el suministro. El diseño de un tanque de contingencia que permita suplir las necesidades de agua en situaciones de emergencia por un periodo de al menos 24 horas, como el propuesto en este proyecto, se basa en principios de diseño hidráulico que aseguran la disponibilidad de caudal en periodos de alta demanda o baja disponibilidad de recurso, aspecto relevante para la continuidad del servicio en municipios como El Peñón.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Fases del trabajo de grado

La metodología será dada como se describe en el diagrama de realización del proyecto:

Ilustración 8 Fases trabajo de grado



Fuente: Elaboración propia

Considerando lo anterior se explica las etapas de trabajo:

### **5.1.1. FASE I**

#### **Recopilación de información:**

Esta fase comprende la búsqueda y consolidación de toda la información técnica, operativa e institucional existente relacionada con el sistema de acueducto del municipio. Para ello, se realizará una solicitud formal a la administración municipal y a la empresa prestadora del servicio, con el fin de acceder a:

- Planos de la red de acueducto (si existen), incluyendo esquemas de trazado, conexiones, válvulas y estructuras.
- Reportes técnicos de operación de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), como caudales de entrada y salida, presiones de operación y frecuencia de mantenimiento.
- Información sobre las condiciones físicas de las estructuras del sistema (materiales, diámetros, años de instalación).
- Manuales de operación, informes técnicos previos y documentación relacionada con bocatoma, desarenador y planta.
- Datos climáticos e hidrológicos provenientes del IDEAM, CAR y otras fuentes confiables, enfocados en la quebrada Oscura (fuente de abastecimiento).
- Censos poblacionales históricos y proyecciones del DANE, incluyendo población urbana y rural, así como la estimación de población flotante.

En caso de no contar con toda la información técnica detallada, se complementará el levantamiento base utilizando herramientas SIG (como Google Earth y QGIS), con apoyo en la georreferenciación de redes visibles y estructuras existentes.

#### **Visita al municipio:**

Teniendo en cuenta las condiciones climatológicas, lluvias excesivas no fue posible realizar una visita al municipio, por lo cual se trabajó con la información suministrada por los mismos.

### **5.1.2. FASE II**

#### **Proyección caudal de diseño**

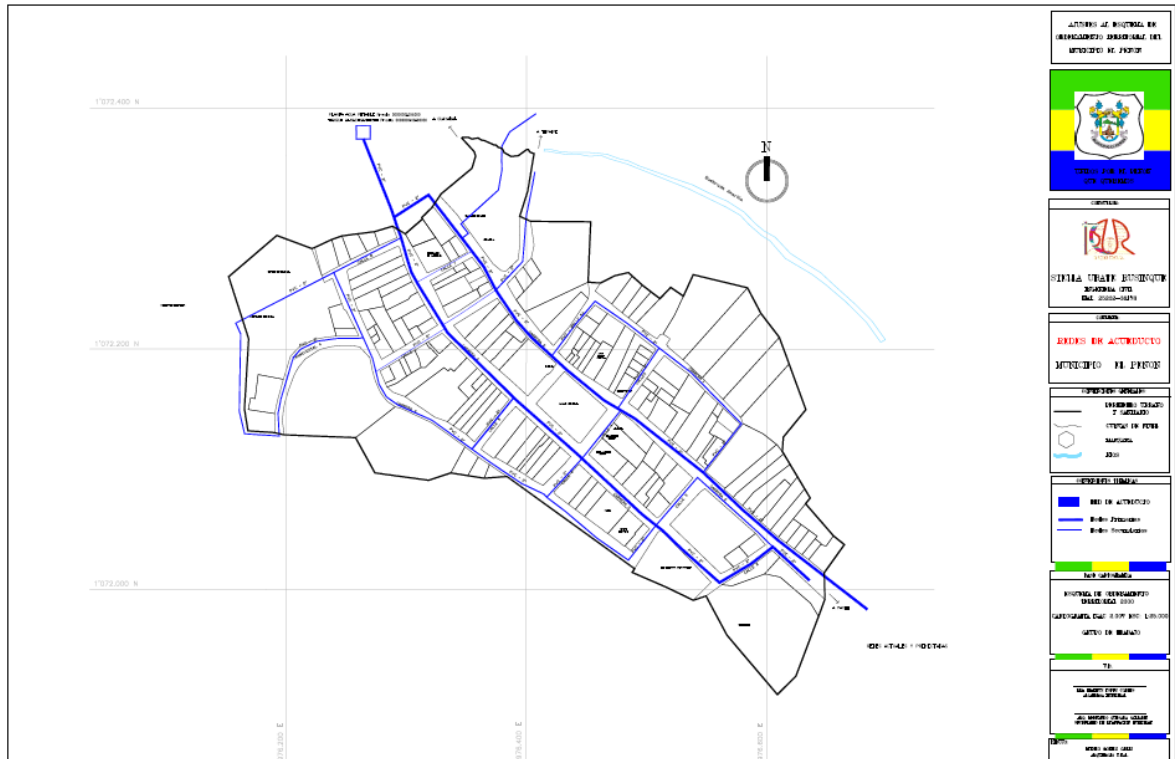
Para dimensionar adecuadamente el sistema de acueducto a un horizonte de 25 años, se debe proyectar la demanda futura del municipio. Este cálculo se desarrollará mediante los siguientes pasos:

- Se tomarán los censos históricos del DANE entre los años 1938 y 2018 para el departamento de Cundinamarca, ya que el municipio presenta comportamientos irregulares con tasas negativas en algunos periodos.
- A partir de esta serie, se calcularán las tasas de crecimiento geométrico y exponencial del departamento, obteniendo valores promedio de 1,12% y 1,08% respectivamente.
- Con base en esta tendencia departamental se adoptará una tasa conservadora de crecimiento poblacional del 1,1% anual para proyectar la población urbana del municipio hasta el año 2050.
- Posteriormente, se calculará la demanda de agua utilizando dotaciones normativas según la altitud del municipio (130 L/hab\*día, conforme a la Resolución 0330 de 2017).
- Se incluirá una población flotante del 15%, dada la dinámica rural, actividades ganaderas y comerciales, y la cercanía de veredas conectadas al sistema.
- Finalmente, se aplicarán los coeficientes de mayoración  $k_1$  (1.3) y  $k_2$  (1.6), definidos también en la Resolución 0330 de 2017, para estimar los caudales máximos diarios y horarios que deberán cubrirse con el sistema futuro.

Esta proyección será clave para dimensionar adecuadamente las redes de distribución y el tanque de contingencia.

## Diagnóstico del sistema de acueducto:

Ilustración 9 Plano de redes de alcantarillado actual



Fuente: Plano redes de acueducto – Municipio de el Peñón

El diagnóstico tiene como objetivo establecer el estado actual de funcionamiento del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de El Peñón, y será la base para determinar las necesidades de rediseño u optimización. Esta etapa incluye las siguientes acciones:

- Se construirá un modelo hidráulico de la red de distribución utilizando el software EPANET, a partir de la información recopilada y procesada previamente
- En caso de no contar con planos detallados, se trazará una red teórica basada en imágenes satelitales de Google Earth y georreferenciación básica de puntos clave (PTAP, nodos de salida, válvulas).
- Se ingresarán al modelo los datos de demanda calculados en la etapa anterior, incorporando el caudal actual de operación de 2.1 L/s (según

reportes recientes de la PTAP), el caudal de la concesión otorgada por la CAR (1.1 L/s), y el caudal proyectado para el año 2050 (estimado a partir de proyecciones poblacionales y dotaciones normativas).

- Se ejecutarán simulaciones en EPANET para diferentes escenarios: caudal actual, caudal de concesión, caudal proyectado y escenarios de emergencia (baja presión o demanda máxima).
- Se evaluarán las presiones en nodos críticos, pérdidas de carga, velocidad del flujo y puntos de posible sobrepresión (mayores a 50 m.c.a), verificando el cumplimiento de los parámetros establecidos por la Resolución 0330 de 2017 y el RAS 2000.
- Se identificarán zonas de bajo desempeño, como sectores con caudales insuficientes, presiones elevadas, materiales no recomendados (por ejemplo, asbesto cemento), o diámetros inferiores al mínimo normativo.

El resultado de esta etapa será un diagnóstico técnico del sistema que permitirá definir las estrategias de intervención y rediseño.

### **Análisis del caudal mínimo de almacenamiento**

Para caracterizar la disponibilidad hídrica de la quebrada Oscura, fuente de abastecimiento del sistema de acueducto del municipio de El Peñón, se realizará un análisis hidrológico que permita conocer su comportamiento en condiciones normales y críticas.

El análisis se llevará a cabo utilizando el software ArcGIS, mediante el cual se delinearán la cuenca hidrográfica a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) y se obtendrán parámetros morfológicos como área, pendiente, longitud de cauce y concentración. Estos parámetros se integrarán con los registros históricos de caudal recopilados por el IDEAM y la CAR, lo cual permitirá calcular el caudal mínimo medio mensual, así como el caudal Q50, representativo de un evento crítico de sequía.

La información obtenida será esencial para contrastar la oferta hídrica de la fuente con la demanda proyectada del sistema, y determinar así la viabilidad del abastecimiento en escenarios de baja disponibilidad. Este análisis constituye un insumo clave para el dimensionamiento de un sistema de regulación mediante almacenamiento, que se desarrolla en el siguiente punto.

### **Diseño del tanque de regulación de agua cruda:**

A partir del análisis hidrológico y de la caracterización de la demanda futura del sistema, se identificó la necesidad de incorporar un sistema de regulación que permita garantizar la continuidad del servicio durante eventos de escasez hídrica o interrupciones operativas.

El tanque tendrá la función de regular el sistema para un periodo de autonomía de 24 horas, con base en el caudal de diseño determinado para el año horizonte. El volumen requerido se calculará considerando este caudal y el periodo de autonomía propuesto, estableciendo una solución que permita cubrir la diferencia entre la oferta hídrica mínima y la demanda proyectada.

Se planteará una estructura tipo tanque superficial de geometría simple, que se adapte a las condiciones topográficas del sitio y que permita su operación por gravedad, evitando el uso de sistemas de bombeo. El desarrollo detallado de este diseño, incluyendo su ubicación propuesta, dimensiones y criterios de selección, se presentará en un capítulo específico del documento.

#### **Diseño de la red de distribución:**

Con base en la información obtenida del diagnóstico hidráulico, proyecciones de caudal y análisis de demanda, se procederá a proponer un rediseño del sistema de distribución. El objetivo principal será mejorar la eficiencia del sistema, reducir pérdidas de presión y garantizar la continuidad del servicio ante variaciones de consumo y condiciones topográficas complejas.

El rediseño se centrará en la definición de nuevos diámetros de tubería conforme a los caudales por tramos, considerando criterios técnicos establecidos en la Resolución 0330 de 2017 y el RAS 2000 (Título B). La propuesta incorporará el uso exclusivo de tuberías de PVC, reemplazando progresivamente aquellas existentes en asbesto cemento que representan un riesgo tanto para la salud como para la operación del sistema.

El modelo será construido y simulado en el software EPANET, donde se evaluarán las presiones y velocidades en cada tramo de la red bajo diferentes escenarios de demanda. A partir de estos resultados se determinarán los tramos críticos, se evaluará la necesidad de válvulas reguladoras o zonas de presión, y se garantizará que los niveles de presión estén dentro de los rangos establecidos por norma (entre 10 y 50 m.c.a).

#### **5.1.3. FASE III**

##### **Informe final:**

Como producto final del proyecto, se consolidará un informe técnico que integre los hallazgos, análisis y propuestas desarrolladas durante todas las fases del estudio. Este informe incluirá:

- Diagnóstico del sistema actual.
- Análisis del caudal de diseño y caudal mínimo.
- Diseño hidráulico del tanque de almacenamiento de agua cruda.
- Rediseño y simulación del sistema de distribución de agua potable.
- Conclusiones y recomendaciones.

El documento será entregado en formato digital, junto con los planos del rediseño en AutoCAD, y los archivos del modelo hidráulico en EPANET, asegurando que el municipio cuente con insumos técnicos útiles para futuras intervenciones o procesos de inversión. Este informe será un insumo clave para la planificación y mejora del sistema de acueducto del casco urbano de El Peñón, para que sea usada a favor del municipio, estableciendo que la información recopilada se entregara al municipio para su uso y aprovechamiento.

## **5.2. Alcances y limitaciones**

Para el diagnóstico de las redes de acueducto se limitará al análisis de presiones con el caudal de diseño saliente de la planta de tratamiento, para eso se limitará a analizar el modelo por simuladores como EPANET, para este componente se entregará un plano en AUTOCAD y exportado en PDF con el trazado de las redes de acueducto que conforme el municipio.

El tanque solamente se diseñará hidráulicamente, considerando el volumen el cual debe ocupar para 24 horas de uso y su ubicación en una cota superior de la planta de tratamiento para evitar el uso de bombas. El diseño del tanque no considerara diseños estructurales y geotécnicos.

## **6. RESULTADOS, ANALISIS DE RESULTADOS E IMPACTOS**

### **6.1. Evaluación de la oferta y la demanda**

Para iniciar la proyección de la población futura del municipio de El Peñón, se toma como base los censos y tasas de crecimiento realizados por el departamento de administrativo nacional de estadística DANE y datos dados por el PMAA del municipio del 2011 el cual nombra otras fuentes de información como el SISBEN y otras consultorías.

La resolución 330 del 8 de junio del 2017 de ministerio de vivienda adopta como periodo de diseño 25 años, con lo anterior, se realizaron proyecciones de población comprendido entre 2025 a 2050, seleccionando el promedio de los métodos que mejor se ajuste al crecimiento histórico del municipio y ajustando a los datos oficiales del DANE. Aclarando que se toma como población los residentes del casco urbano y una población flotante considerada entre comercio inter-veredal y parte de alimentación de la vereda Guanacas.

#### **6.1.1. Censos realizados por el DANE**

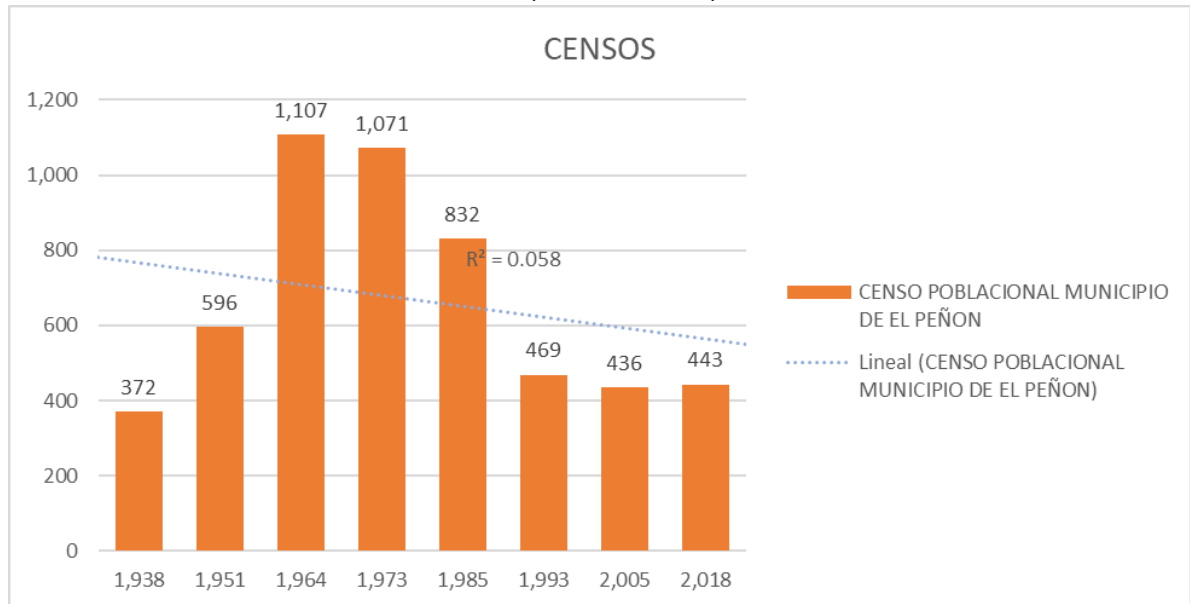
Los registros de los censos realizados por el DANE en el municipio de El Peñón suministran la siguiente información:

Tabla 2 Registros DANE Municipio El Peñón

| <b>Año</b>  | <b>Población urbana (hab)</b> | <b>Población rural (hab)</b> |
|-------------|-------------------------------|------------------------------|
| <b>1938</b> | 372                           | 7,979                        |
| <b>1951</b> | 596                           | 7,777                        |
| <b>1964</b> | 1,107                         | 8,239                        |
| <b>1973</b> | 1,071                         | 7,175                        |
| <b>1985</b> | 832                           | 6,446                        |
| <b>1993</b> | 469                           | 5,085                        |
| <b>2005</b> | 436                           | 4,360                        |
| <b>2018</b> | 443                           | 3,015                        |

Fuente: Elaboración propia

Grafica 1 Censo población Municipio el Peñón



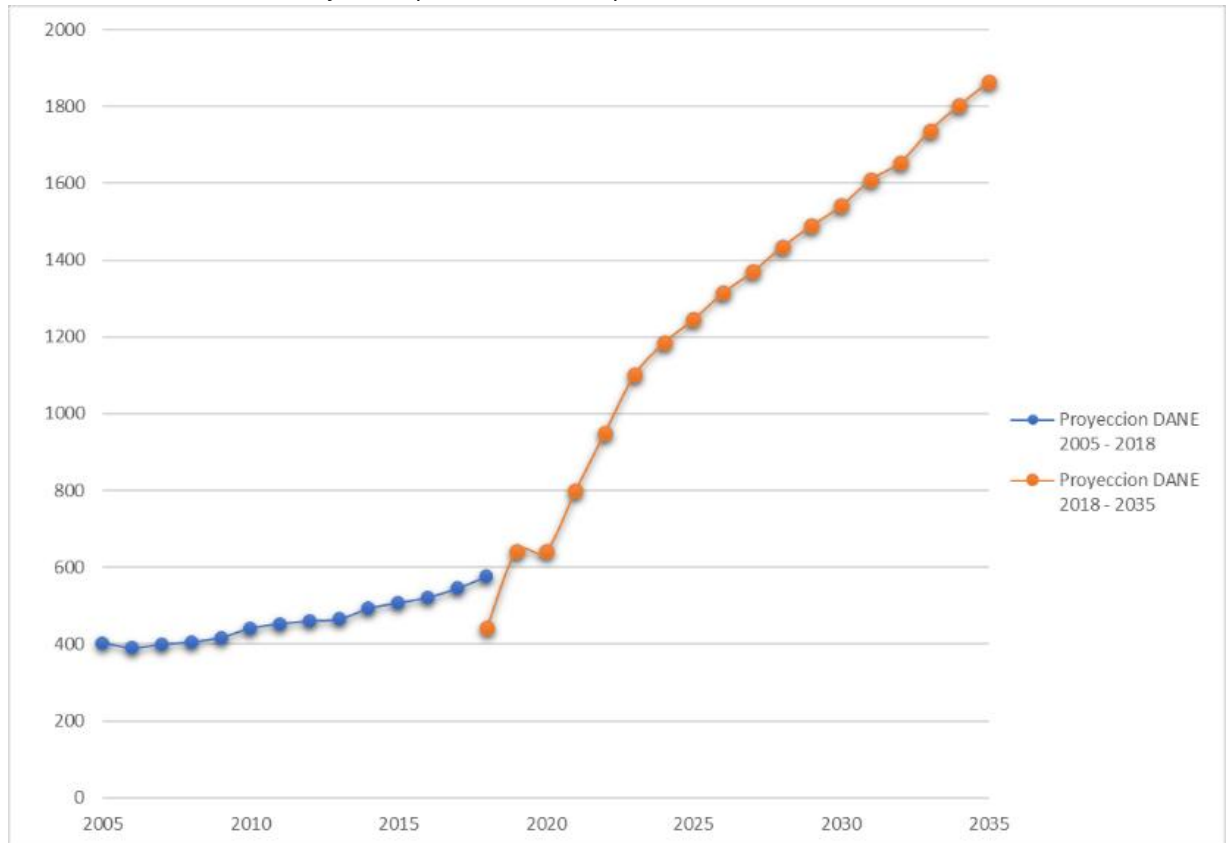
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en ilustración, existe una disminución de la población entre los periodos de 1985 a 2005, tendencia que se ve varias zonas del país donde por el conflicto armado la población tuvo migraciones hacia Bogotá y el municipio de El Peñón también tuvo estos problemas, este fue un territorio de paso por varios actores del conflicto armado, entre los cuales uno de los que genero conflicto y que se asentó en el territorio fueron las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia FARC, la cual llego a la provincia de Rionegro en el año de 1970 con el frente XI, logrando con el correr de los años el control total de los municipios de La Palma, La Peña, Villeta, Guayabal de Siquima, Guaduas, Caparrapí y Topaipí al occidente de Cundinamarca <sup>26</sup>, “El Peñón” colinda con tres (3) de los municipios (Topaipí, La Palma y La Peña), haciendo que este frente se extendiera por la veredas, ocasionando que cientos de personas huyeran de sus tierras.

Por otro lado, el DANE realiza proyecciones de población, con eso, se cuenta las proyecciones de población del 2005 al 2019 y del 2018 a 2035, en el cual, en el siguiente gráfico, se presenta el cruce de las poblaciones entre las proyecciones dadas:

<sup>26</sup>Gobernación de Cundinamarca, *SEGUNDO LIBRO MEMORIA HISTÓRICA*, 2023. [Enlace].

Grafica 2 Proyección poblacional Municipio el Peñón 2005-2019; 2018 - 2035



Fuente: Elaboración propia

De lo anterior, se puede ver que las proyecciones dadas para el censo del 2005 y el censo del 2018 tienen una diferencia en el crecimiento, dando una disminución de la población para el 2018, la diferencia encontrada de 134 habitantes, lo que significa una disminución de la población del 23.22%. Estimación que puede verse afectada en la consideración de la población.

#### 6.1.1.1. Información PMAA 2011

Según el PMAA del municipio, la población fue estimada por 3 fuentes adicionales al DANE, siendo el SISBEN, Unión Temporal Suroccidente y Contelac, además de las proyecciones del consorcio Aguas de Cundinamarca.

##### 6.1.1.1.1 Información SISBEN

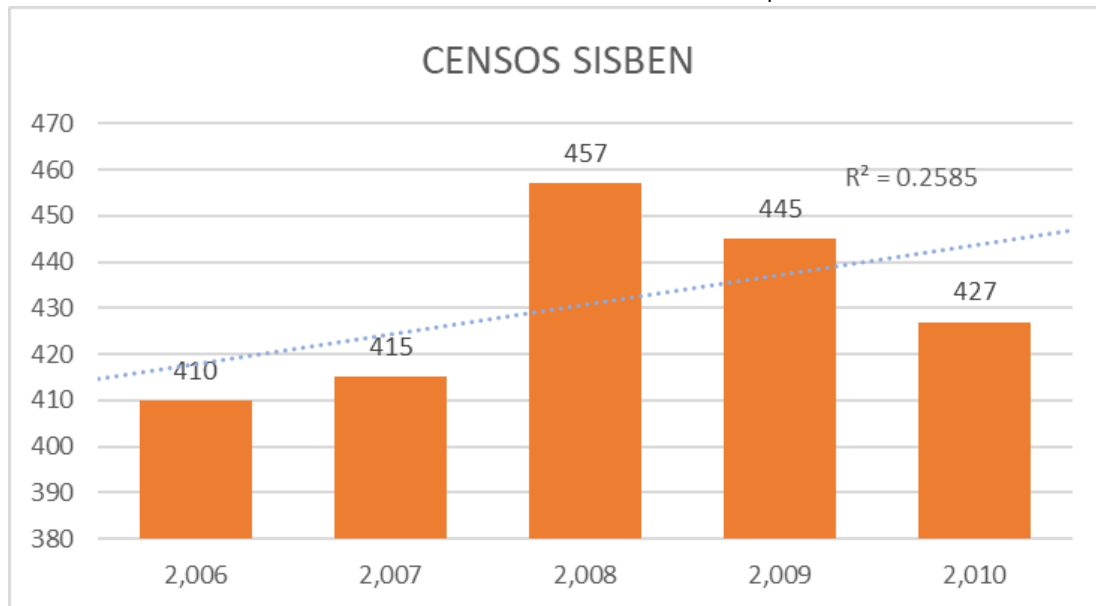
De los datos importantes que se toma el SISBEN como un censo en los años 2006 al 2010, comportándose de la siguiente manera:

Tabla 3 Censos SISBEN 2006 - 2010 Municipio el Peñón

| SISBEN |           |
|--------|-----------|
| AÑO    | POBLACION |
| 2006   | 410       |
| 2007   | 415       |
| 2008   | 457       |
| 2009   | 445       |
| 2010   | 427       |

Fuente: Elaboración propia

Grafica 3 Censo SISBEN 2006-2010 Municipio el Peñón



Fuente: Elaboración propia

Al observar la ilustración, después del 2005 hubo un aumento de la población (a excepción del 2009 y 2010), suponiendo que la población creció en este periodo es por las circunstancias sociales del País. Esto es importante nombrarlo ya que son datos relevantes para el crecimiento de esta misma y a considerar en población entre 2005 y 2018 dadas por el DANE.

#### 6.1.1.1.2 Tasas de crecimiento PMAA 2011

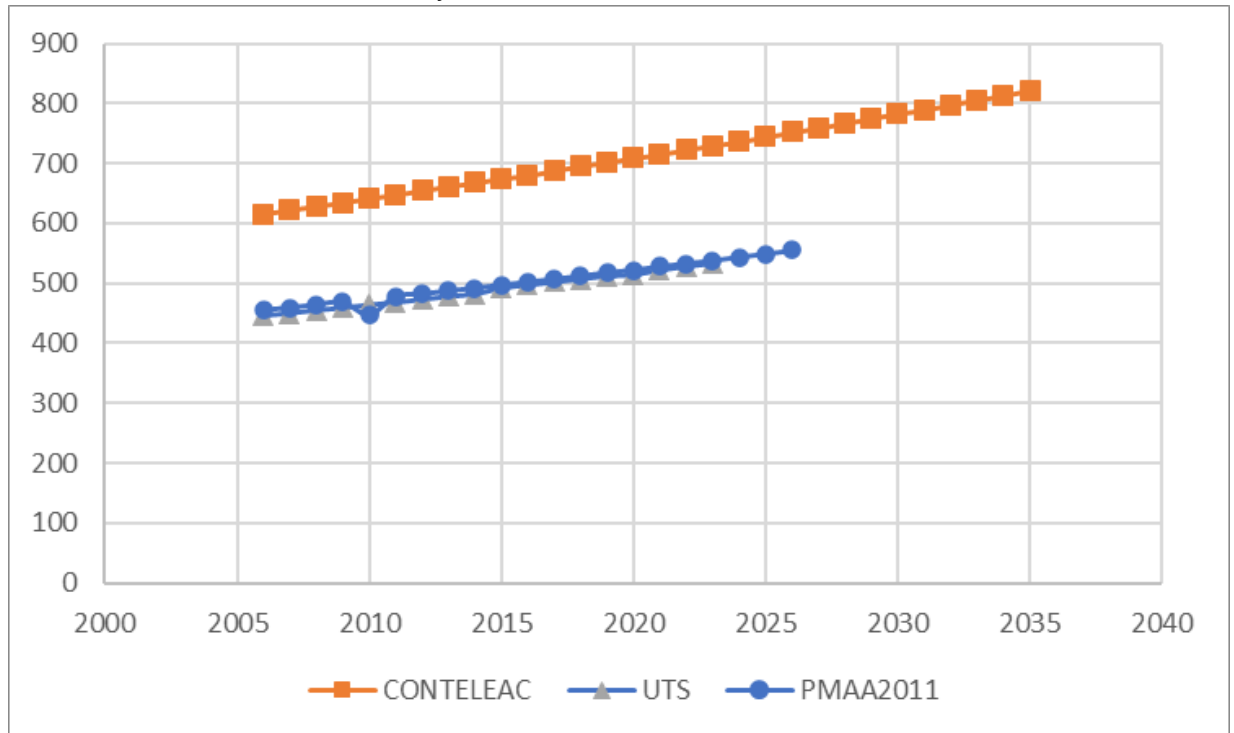
Revisando las proyecciones de la población encontradas en el plan municipal de acueducto y alcantarillado del Peñón, se encontraron los siguientes valores de las proyecciones:

Tabla 4 Proyecciones PMAA 2021

| <b>Año</b> | <b>UTS</b> | <b>CONTELEAC</b> | <b>PMAA2011</b> |
|------------|------------|------------------|-----------------|
| 2006       | 446        | 455              | 616             |
| 2007       | 450        | 459              | 623             |
| 2008       | 455        | 464              | 629             |
| 2009       | 459        | 468              | 635             |
| 2010       | 464        | 447              | 642             |
| 2011       | 468        | 478              | 648             |
| 2012       | 473        | 482              | 655             |
| 2013       | 478        | 487              | 662             |
| 2014       | 482        | 492              | 668             |
| 2015       | 492        | 497              | 675             |
| 2016       | 497        | 502              | 680             |
| 2017       | 502        | 507              | 688             |
| 2018       | 507        | 512              | 696             |
| 2019       | 512        | 518              | 702             |
| 2020       | 514        | 522              | 709             |
| 2021       | 522        | 528              | 715             |
| 2022       | 528        | 533              | 723             |
| 2023       | 533        | 538              | 730             |
| 2024       |            | 544              | 736             |
| 2025       |            | 549              | 744             |
| 2026       |            | 555              | 752             |
| 2027       |            |                  | 759             |
| 2028       |            |                  | 767             |
| 2029       |            |                  | 775             |
| 2030       |            |                  | 783             |
| 2031       |            |                  | 789             |
| 2032       |            |                  | 798             |
| 2033       |            |                  | 806             |
| 2034       |            |                  | 813             |
| 2035       |            |                  | 822             |

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4 Proyecciones UTS, CONTELEAC, PMAA 2021



Fuente: Elaboración propia

En primera instancia, es de aclarar que las proyecciones del PMAA2011 toman parte de la población rural sin especificar qué porcentaje de la misma se tomó, por lo cual no puede ser relevante para la investigación, sin embargo, el estudio si cita lo siguiente “Debido a que las tasas de los primeros periodos intercensales (ver Tabla 3.8 y Tabla 3.9) son atípicas comparadas con el comportamiento actual de la población del municipio y según los lineamientos las tasas negativas no se tienen en cuenta para la ponderación de la tasa de crecimiento, con esto definido y siguiendo los lineamientos se adopta una tasa de crecimiento del 1% para los métodos geométrico y exponencial en el sector urbano y rural y una pendiente de 4.5 para el método aritmético en el sector urbano y 1.11 en el sector rural”

Dato relevante para el análisis de la población, ya que, de primera, la tasa de crecimiento en los métodos geométrico y exponencial para el PMAA2011 es uno, en caso de que la tasa de crecimiento poblacional de nosotros sea menor a 0, optaremos por usar la tasa igual del PMAA en caso de que el valor absoluto de la misma sea menor o igual a 1%.

Con eso, observando las proyecciones de “Contelac” y “UTS”, se analiza el error en el año del siguiente censo, que en este caso es el 2018, teniendo como diferencia:

Tabla 5 Errores de estimación

| <b>Año</b>             | <b>CENSO 2018</b> | <b>UTS</b> | <b>CONTELEAC</b> |
|------------------------|-------------------|------------|------------------|
| 2018                   | 443               | 507        | 512              |
| Error de la estimación |                   | 14.45%     | 15.58%           |

Fuente: Elaboración propia

Dado lo anterior, se ve que las proyecciones desestimaron la población por un aproximado de 15% a lo cual no se usaría para las nuevas proyecciones, adicional que el año de proyección es 2025 y 2035.

## 6.2 Proyección de la población

### 6.2.1 Tasas de crecimiento municipal

De acuerdo con las metodologías expuestas, se obtienen las tasas de crecimiento para cada método, teniendo como resultado:

Tabla 6 Tasas de crecimiento de la población

| <b>CENSO POBLACIONAL MUNICIPIO DE EL PEÑÓN</b> |                               |                              |                            |                            |                            |                            |                            |                              |
|------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| <b>AÑO</b>                                     | <b>Población urbana (hab)</b> | <b>Población rural (hab)</b> | <b>ZONA URBANA</b>         |                            |                            | <b>ZONA RURAL</b>          |                            |                              |
|                                                |                               |                              | <b>crecimi ento geomét</b> | <b>crecimi ento expone</b> | <b>crecimi ento geomét</b> | <b>crecimi ento geomét</b> | <b>crecimi ento expone</b> | <b>crecimi ento Aritméti</b> |
| <b>1938</b>                                    | 372                           | 7,979                        |                            |                            |                            |                            |                            |                              |
| <b>1951</b>                                    | 596                           | 7,777                        | 3.69%                      | 3.63%                      | 17                         | -0.20%                     | -0.20%                     | -15.54                       |
| <b>1964</b>                                    | 1,107                         | 8,239                        | 4.88%                      | 4.76%                      | 39                         | 0.44%                      | 0.44%                      | 35.54                        |
| <b>1973</b>                                    | 1,071                         | 7,175                        | -0.37%                     | -0.37%                     | -4                         | -1.52%                     | -1.54%                     | -118.22                      |
| <b>1985</b>                                    | 832                           | 6,446                        | -2.08%                     | -2.10%                     | -20                        | -0.89%                     | -0.89%                     | -60.75                       |
| <b>1993</b>                                    | 469                           | 5,085                        | -6.91%                     | -7.17%                     | -45                        | -2.92%                     | -2.96%                     | -170.13                      |
| <b>2005</b>                                    | 436                           | 4,360                        | -0.61%                     | -0.61%                     | -3                         | -1.27%                     | -1.28%                     | -60.42                       |
| <b>2006</b>                                    | 410                           |                              | -5.96%                     | -6.15%                     | -26                        |                            |                            |                              |
| <b>2007</b>                                    | 415                           |                              | 1.22%                      | 1.21%                      | 5                          |                            |                            |                              |
| <b>2008</b>                                    | 457                           |                              | 10.12%                     | 9.64%                      | 42                         |                            |                            |                              |
| <b>2009</b>                                    | 445                           |                              | -2.63%                     | -2.66%                     | -12                        |                            |                            |                              |
| <b>2010</b>                                    | 427                           |                              | -4.04%                     | -4.13%                     | -18                        |                            |                            |                              |
| <b>2018</b>                                    | 443                           | 3,015                        | 0.12%                      | 0.12%                      | 1                          | -2.80%                     | -2.84%                     | -103.46                      |
| <b>Tasa promedio</b>                           |                               |                              | <b>-0.21%</b>              | <b>-0.32%</b>              | <b>-2</b>                  | <b>-1.04%</b>              | <b>-1.05%</b>              | <b>-54</b>                   |

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar, que las tasas promedio son negativas, por lo que se nombró anteriormente, del decrecimiento de la población entre los periodos de conflicto armado en el país, con eso, para este caso se adoptarían tasas positivas, para ver

un incremento de la población y tener mejores estimaciones de caudal, se observara el crecimiento poblacional del departamento.

### 6.2.2 Tasas de crecimiento departamental

Con el fin de realizar una proyección confiable, es necesario considerar una tasa de crecimiento poblacional que refleje de manera representativa la dinámica regional. Teniendo en cuenta el decrecimiento poblacional del municipio en los últimos periodos censales, se optó por realizar la estimación a partir de los censos históricos del departamento de Cundinamarca, correspondientes a los años 1938 a 2018

Tabla 7 Crecimiento departamental

| <b>CENSO POBLACIONAL CUNDINAMARCA</b> |                               |                               |                                |
|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>AÑO</b>                            | <b>Población urbana (hab)</b> | <b>Crecimiento geométrico</b> | <b>Crecimiento exponencial</b> |
| <b>1938</b>                           | 1,174,607                     |                               |                                |
| <b>1951</b>                           | 1,600,000                     | 2.41%                         | 2.38%                          |
| <b>1964</b>                           | 1,122,213                     | -2.69%                        | -2.73%                         |
| <b>1973</b>                           | 1,125,642                     | 0.03%                         | 0.03%                          |
| <b>1985</b>                           | 1,382,360                     | 1.73%                         | 1.71%                          |
| <b>1993</b>                           | 1,658,698                     | 2.30%                         | 2.28%                          |
| <b>2005</b>                           | 1,442,121                     | -1.16%                        | -1.17%                         |
| <b>2018</b>                           | 2,792,877                     | 5.22%                         | 5.08%                          |
| <b>Tasa promedio</b>                  |                               | <b>1.12%</b>                  | <b>1.08%</b>                   |

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos, se calcularon las tasas de crecimiento geométrico y exponencial, obteniéndose valores promedio de 1,12 % y 1,08 %, respectivamente.

### 6.2.3 Proyección de la población con actualización de proyecciones

Tabla 8 Proyección Rural

|                       | <b>Geométrica</b>                  | <b>Exponencial</b>                 |                                     |
|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Tasa Adoptada</b>  | <b>1.04%</b>                       | <b>1.05%</b>                       |                                     |
| <b>RURAL EL PEÑON</b> |                                    |                                    |                                     |
| <b>AÑO</b>            | <b>PROYECCIÓN ARITMÉTICA (hab)</b> | <b>PROYECCIÓN GEOMÉTRICA (hab)</b> | <b>PROYECCIÓN EXPONENCIAL (hab)</b> |
| <b>2018</b>           | 3,015                              | 3,015                              | 3,015                               |
| <b>2025</b>           | 3,019                              | 3,241                              | 3,245                               |

|             |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|
| <b>2030</b> | 3,021 | 3,413 | 3,420 |
| <b>2035</b> | 3,024 | 3,594 | 3,604 |
| <b>2040</b> | 3,027 | 3,785 | 3,799 |
| <b>2045</b> | 3,030 | 3,986 | 4,004 |
| <b>2050</b> | 3,032 | 4,198 | 4,219 |

Fuente: Elaboración propia

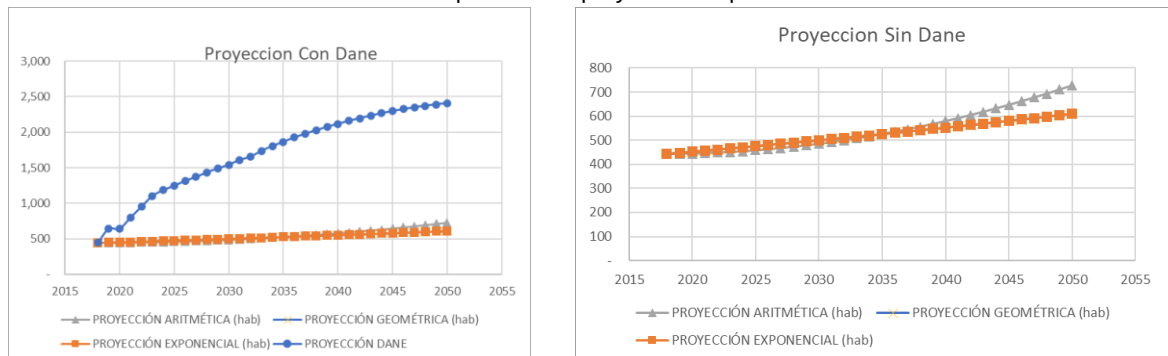
Tabla 9 Proyección Urbana

|                        |                                    | Geométrica                         | Exponencial                         |                        |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Tasa Adoptada          |                                    | 1.12%                              | 1.08%                               |                        |
| <b>URBANO EL PEÑÓN</b> |                                    |                                    |                                     |                        |
| <b>AÑO</b>             | <b>PROYECCIÓN ARITMÉTICA (hab)</b> | <b>PROYECCIÓN GEOMÉTRICA (hab)</b> | <b>PROYECCIÓN EXPONENCIAL (hab)</b> | <b>PROYECCIÓN DANE</b> |
| <b>2018</b>            | 443                                | 443                                | 443                                 | 443                    |
| <b>2025</b>            | 458                                | 479                                | 478                                 | 1,246                  |
| <b>2030</b>            | 485                                | 506                                | 505                                 | 1,542                  |
| <b>2035</b>            | 525                                | 535                                | 533                                 | 1,865                  |
| <b>2040</b>            | 579                                | 566                                | 562                                 | 2,117                  |
| <b>2045</b>            | 647                                | 598                                | 594                                 | 2,296                  |
| <b>2050</b>            | 727                                | 633                                | 627                                 | 2,408                  |

Fuente: elaboración propia

Como se ve, inicialmente se va a tener en cuenta las proyecciones dadas por el DANE, sin embargo, al comparar los dos crecimientos estarían en:

Grafica 5 Comparativo de proyecciones poblacionales



Fuente: Elaboración propia

Como se ve en la ilustración, los datos estimados por el DANE, son diferentes a las proyecciones dadas, por los 3 métodos evaluados, por lo cual no se tendrán en cuenta para el cálculo de la población, con lo anterior, la población del municipio sería:

Tabla 10 Proyección total

| <b>AÑO</b>  | <b>POBLACIÓN<br/>FLOTANTE</b> | <b>POBLACIÓN<br/>FLOTANTE</b> | <b>POBLACIÓN<br/>FLOTANTE</b> | <b>POBLACIÓN<br/>TOTAL<br/>ARITMETICA</b> | <b>POBLACIÓN<br/>TOTAL<br/>GEOMETRICA</b> | <b>POBLACIÓN<br/>TOTAL<br/>EXPONENCIA</b> | <b>PROMEDIO<br/>URBANO</b> | <b>PROMEDIO<br/>RURAL</b> |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>2018</b> | 66                            | 66                            | 66                            | 509                                       | 509                                       | 509                                       | 509                        | 3,015                     |
| <b>2025</b> | 69                            | 72                            | 72                            | 527                                       | 551                                       | 550                                       | 542                        | 3,243                     |
| <b>2030</b> | 73                            | 76                            | 76                            | 558                                       | 582                                       | 581                                       | 573                        | 3,417                     |
| <b>2035</b> | 79                            | 80                            | 80                            | 604                                       | 615                                       | 613                                       | 611                        | 3,599                     |
| <b>2040</b> | 87                            | 85                            | 84                            | 666                                       | 651                                       | 646                                       | 654                        | 3,792                     |
| <b>2045</b> | 97                            | 90                            | 89                            | 744                                       | 688                                       | 683                                       | 705                        | 3,995                     |
| <b>2050</b> | 109                           | 95                            | 94                            | 836                                       | 728                                       | 721                                       | 762                        | 4,209                     |

Fuente Elaboración propia

Cabe aclarar que la población flotante se toma de la siguiente manera en base a el título b del RAS “El cálculo de la población servida debe considerar la población residente y, cuando aplique, la población flotante. Esta debe estimarse teniendo en cuenta aspectos como el turismo, la actividad comercial, laboral, educativa, entre otros.”

Cabe aclarar que la población flotante se toma de la siguiente manera, con base en el Título B del RAS 2000, el cual establece que “en el cálculo de la población por abastecer se deben considerar actividades turísticas, laborales, industriales y/o comerciales que representen población flotante” y que “en el caso que no existan datos, el consultor debe proyectar la población utilizando alguna metodología especial establecida de común acuerdo con la entidad contratante”.

En este caso, debido a la ausencia de datos cuantitativos específicos sobre la población flotante del municipio, se adopta una metodología de estimación directa, aplicando un incremento del 15 % sobre la población residente. Este valor se justifica como una medida prudente y conservadora para representar la demanda generada por personas no residentes que transitan o permanecen temporalmente en el área urbana, en actividades laborales, comerciales, educativas o administrativas.

## 6.2.4 Demanda

### 6.2.4.1 Dotaciones netas

Las dotaciones netas máximas están establecidas en el artículo 43 de la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017, emitida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT). Según lo indicado, la dotación correspondiente se presenta en la siguiente tabla <sup>[27]</sup>.

Tabla 11 Dotación neta

| ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL<br>DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA | DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA) |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| > 2000 m s. n. m.                                             | 120                              |
| 1000 - 2000 m s. n. m.                                        | 130                              |
| < 1000 m s. n. m.                                             | 140                              |

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, Resolución 330 de 2017, Por la cual se establecen los criterios para el uso, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico, Bogotá, Colombia, 2017.

Conforme a lo anterior, el casco urbano del municipio de El Peñón, Cundinamarca, se encuentra a una altitud aproximada de 1.300 m.s.n.m. Por lo tanto, se establece una dotación neta de 130 L/hab\*día.

### 6.2.4.2 Índice de agua no contabilizada, IANC

Se establece que el sistema será evaluado y optimizado en su totalidad, considerando un porcentaje máximo de pérdidas del 25%, según lo estipulado en la Resolución 0330 de 2017.

---

<sup>[27]</sup>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, *Resolución 330 de 2017, Por la cual se establecen los criterios para el uso, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico*, Bogotá, Colombia, 2017.

### 6.2.5 Caudal máximo diario y máximo horario.

Caudal máximo diario ( $Q_{MD}$ ): Para efectos de este proyecto, se utilizará un valor de 1.3 como coeficiente de consumo máximo diario, establecido en el artículo 47 de la Resolución 0330 de 2017, el cual aplica para poblaciones menores o iguales a 12.500 habitantes.

Caudal máximo horario ( $Q_{MH}$ ): Se utilizará un valor de 1.6 como coeficiente de consumo máximo horario, establecido en el parágrafo 2 del artículo 47 de la Resolución 0330 de 2017, aplicable a poblaciones menores o iguales a 12.500 habitantes.

#### 6.1.1.1.1. Demanda de otros usos

Para el municipio de El Peñón, Cundinamarca, se debe considerar el aporte de usuarios provenientes de las veredas Centro y Guanacas, para las cuales se estima que el sistema prestará cobertura aproximadamente al 50% de su población.

Adicionalmente, se tiene en cuenta una demanda inter-veredal asociada a actividades comerciales y ganaderas, equivalente al 15% de la población.

#### 6.2.5.1 Caudales de diseño

Los caudales del sistema consideran la demanda urbana, el aporte proveniente de las veredas Centro y Guanacas, y un caudal adicional asociado a actividades ganaderas y comerciales entre veredas. Con lo anterior, se tienen los siguientes valores de caudal:

Tabla 12 Proyección de Caudal

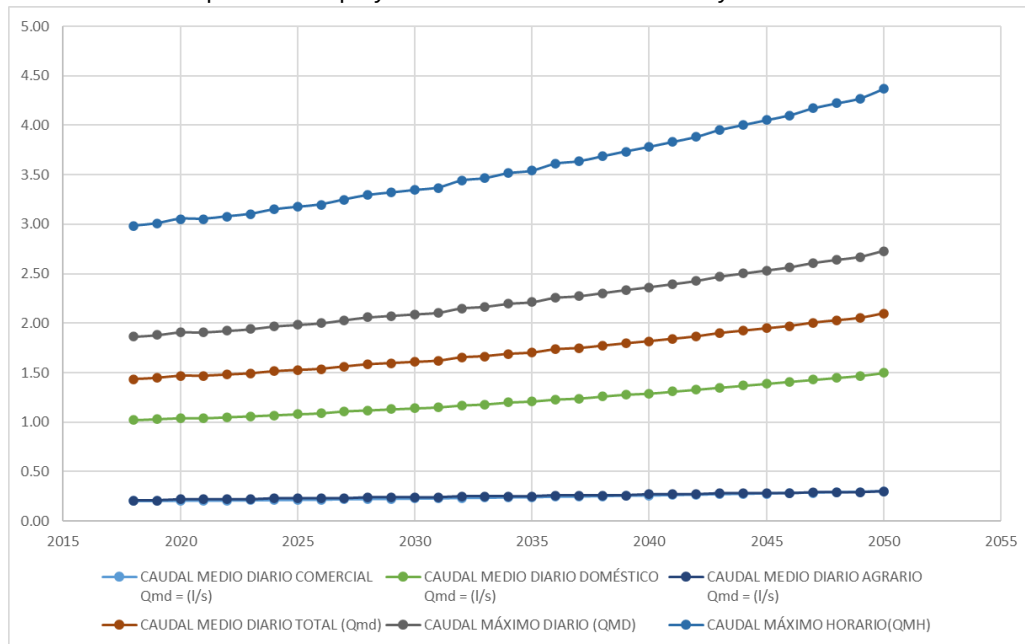
| Año | Población total | Población rural para | Dotación neta (l/hab-d) | Pérdidas (%) | Dotación bruta (l/hab-d) | Caudal medio diario | Caudal medio diario | Caudal máximo diario | Caudal máximo horario |
|-----|-----------------|----------------------|-------------------------|--------------|--------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
|-----|-----------------|----------------------|-------------------------|--------------|--------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|

|      | urbana<br>(hab) | considerar<br>(hab) |     |       |       | doméstico<br>qmd = (l/s) | total<br>(qmd) |      |      |
|------|-----------------|---------------------|-----|-------|-------|--------------------------|----------------|------|------|
| 2018 | 509             | 106                 | 130 | 25.00 | 173.3 | 1.02                     | 1.43           | 1.86 | 2.98 |
| 2025 | 542             | 114                 | 130 | 25.00 | 173.3 | 1.09                     | 1.54           | 2.00 | 3.20 |
| 2030 | 573             | 120                 | 130 | 25.00 | 173.3 | 1.15                     | 1.62           | 2.11 | 3.37 |
| 2035 | 611             | 127                 | 130 | 25.00 | 173.3 | 1.23                     | 1.73           | 2.24 | 3.59 |
| 2040 | 654             | 133                 | 130 | 25.00 | 173.3 | 1.31                     | 1.84           | 2.39 | 3.83 |
| 2045 | 705             | 141                 | 130 | 25.00 | 173.3 | 1.41                     | 1.97           | 2.56 | 4.10 |
| 2050 | 762             | 148                 | 130 | 25.00 | 173.3 | 1.53                     | 2.14           | 2.78 | 4.44 |

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la gráfica que ilustran el comportamiento proyectado del caudal medio diario y los caudales máximos diario y horario, calculados según los factores de incremento establecidos:

Gráfica 6 comportamiento proyectado del caudal medio diario y los caudales máximos diario y horario

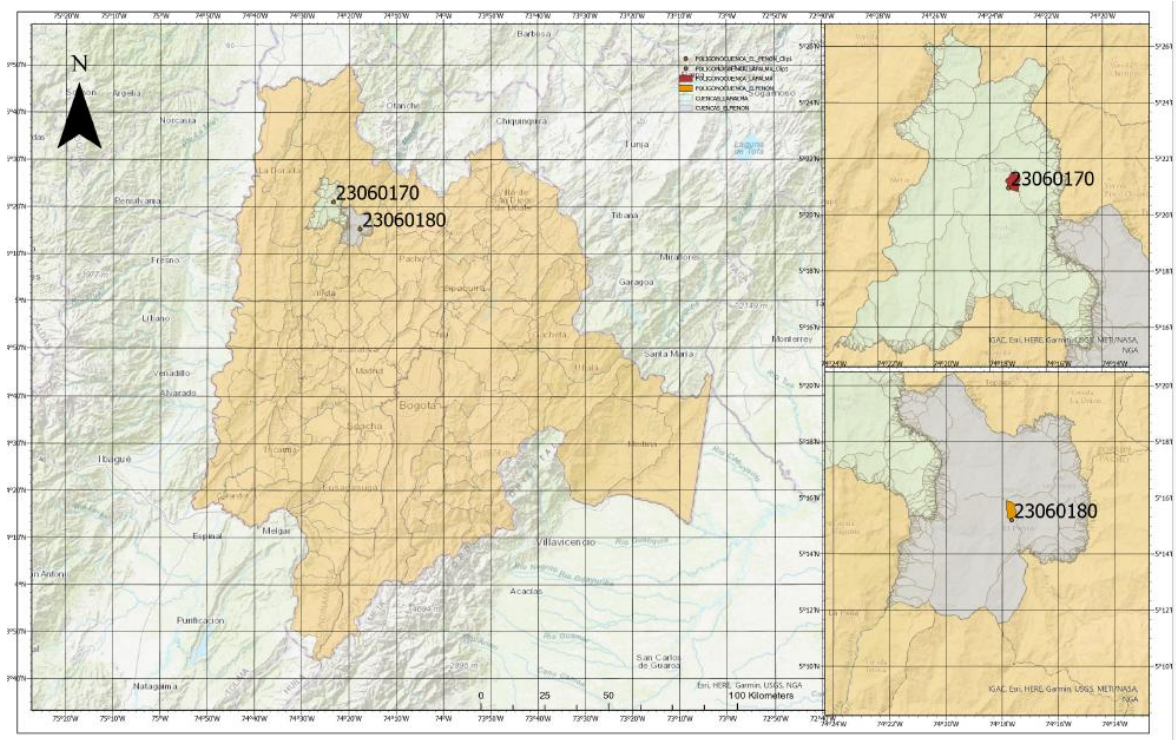


Fuente: Elaboración propia

## 6.2. Análisis de información de caudales, precipitaciones y cuenca morfológica

### 6.2.1. INFORMACIÓN CLIMATOLOGICA

Ilustración 10 cuencas estudio Municipio el Peñón y La Palma



Fuente: Elaboración propia.

Se recopilaron los datos de precipitación de las estaciones climatológicas del IDEAM, las cuales se relacionan a continuación:

Tabla 13 Estaciones climatológicas

| NOMBRE   | CODIGO   | CATEGORIA     | ALTITUD | COORDENADAS LATITUD | COORDENADAS LONGITUD | DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | ENTIDAD |
|----------|----------|---------------|---------|---------------------|----------------------|--------------|-----------|---------|
| La Palma | 23060170 | Pluviométrica | 1.462   | 5,349361111         | -74,38911111         | Cundinamarca | La Palma  | IDEAM   |
| El Peñón | 23060180 | Pluviométrica | 1.400   | 5,253444444         | -74,2954             | Cundinamarca | El Peñón  | IDEAM   |

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial OMM [28] se determina la distancia máxima recomendada para distintas zonas que tienen formas similares y/o homogéneas de terreno. De acuerdo con lo anterior se tiene en cuenta los datos de la siguiente tabla, es de aclarar que las estaciones de precipitación mencionadas no son de tipo registradoras por y la unidad fisiográfica

[28] Organización Meteorológica Mundial (OMM), *Guide to Hydrological Practices, Volume I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*, 6.ª ed., Ginebra, Suiza, 2008. [En línea]

del área de estudio pertenece a una región montañosa la cual de acuerdo a los datos de precipitación con una densidad de estación (área) de 250 km<sup>2</sup>.

Ilustración 11 Mediciones de precipitación OMM

| <b>Medición de la precipitación</b>                                                                  |                  |               |             |               |            |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------|-------------|---------------|------------|------------------|
| <b>Red de Estaciones Hidroclimatológicas y fluviométricas:</b>                                       |                  |               |             |               |            |                  |
| La OMM recomienda la instalación de una red, con las densidades presentadas en la tabla siguiente:   |                  |               |             |               |            |                  |
| Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km <sup>2</sup> por estación) |                  |               |             |               |            |                  |
| Unidad fisiográfica                                                                                  | Precipitación    |               | Evaporación | Flujo fluvial | Sedimentos | Calidad del agua |
|                                                                                                      | No registradoras | Registradoras |             |               |            |                  |
| Costa                                                                                                | 900              | 9 000         | 50 000      | 2 750         | 18 300     | 55 000           |
| Montaña                                                                                              | 250              | 2 500         | 50 000      | 1 000         | 6 700      | 20 000           |
| Planicie interior                                                                                    | 575              | 5 750         | 5 000       | 1 875         | 12 500     | 37 500           |
| Montes/ondulaciones                                                                                  | 575              | 5 750         | 50 000      | 1 875         | 12 500     | 47 500           |
| Islas pequeñas                                                                                       | 25               | 250           | 50 000      | 300           | 2 000      | 6 000            |
| Áreas urbanas                                                                                        | –                | 10 a 20       | –           | –             | –          | –                |
| Polos/tierras áridas                                                                                 | 10 000           | 100 000       | 100 000     | 20 000        | 200 000    | 200 000          |

Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM), *Guide to Hydrological Practices, Volume I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*, 6.<sup>a</sup> ed., Ginebra, Suiza, 2008. [En línea]

Una vez identificado la unidad fisiográfica a la que pertenecen las estaciones se determina el radio máximo de influencia expresada de acuerdo:

Formula 18 Radio máximo

$$R_{max} = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Donde:

R<sub>max</sub>: Radio máximo de influencia (Km<sup>2</sup>)

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

π: Contante pi

Dando como resultado R<sub>max</sub> de 8,92 km<sup>2</sup>

De igual forma se recopiló la información de la estación de valores mínimos mensuales de caudales de la C.A.R Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.

Tabla 14 Estaciones climatológicas de estudio

| NOMBRE             | CODIGO  | CATEGORIA    | ALTITUD | COORDENADAS LATITUD | COORDENADAS LONGITUD | DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | ENTIDAD |
|--------------------|---------|--------------|---------|---------------------|----------------------|--------------|-----------|---------|
| Boc. AcuedLa Palma | 2306733 | Limnigráfica | 1.280   | 5.120843            | -74.405070           | Cundinamarca | La Palma  | CAR     |

Fuente: Elaboración propia

Para la estación de caudal se recolectaron los valores mínimos mensuales de la estación Bocatoma acueducto La Palma de la página de Corporación Autónoma Regional – CAR.

#### 6.2.1.1. Cartografía

Esta información se recolectó del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, la cual se recopiló en formato DEM, de las cuencas del municipio de El Peñón y La Palma, con los cuales se realizó el respectivo análisis para la determinación del área (km<sup>2</sup>) de la cuenca, pendiente(km), pendiente media, precipitación promedio, así como un estudio de coberturas con el método CORIN LAND COVER.

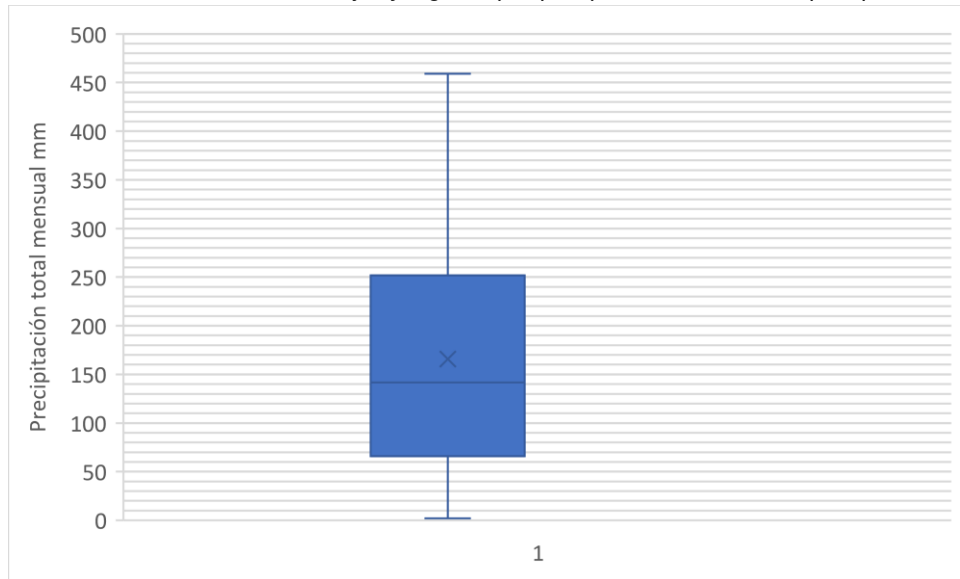
#### 6.2.2. Análisis de información de caudales y precipitación.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos de las diferentes estaciones, se verificó el estado y condición de los datos de las estaciones de caudales y precipitaciones del área de estudio, analizando caudales mínimos mensuales (m<sup>3</sup>/s), así como precipitaciones mensuales vigentes, sobre el río negro en orden de aguas arriba y aguas abajo.

Como se establece anteriormente las estaciones de El Peñón y La Palma miden datos de precipitación total mensual con periodos desde el 1995 hasta 2025, mientras que la estación de la Bocatoma Acueducto La Palma mide datos de caudales mínimos mensuales desde 2010 hasta 2018.

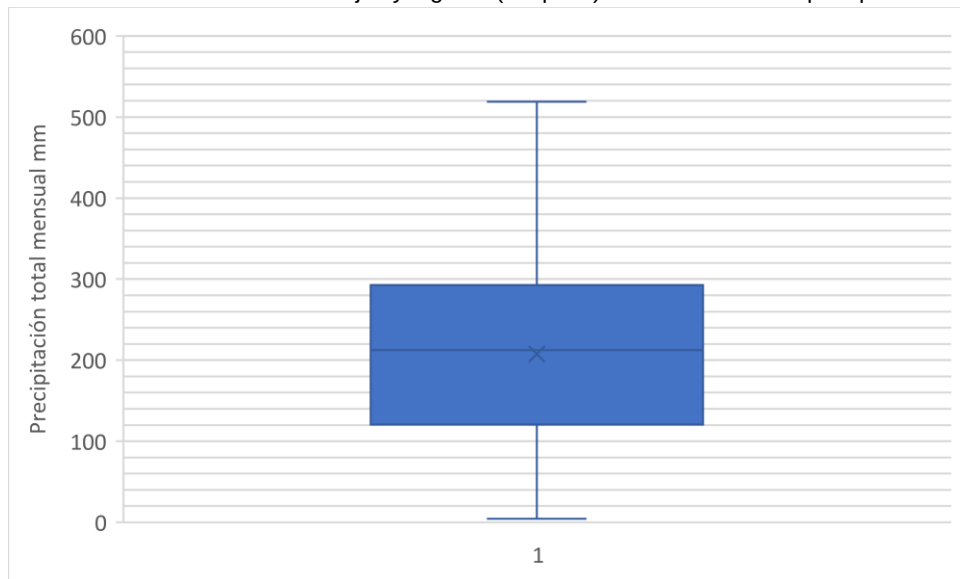
Teniendo los datos de las estaciones se realizó el análisis de datos anómalos de cada una de las estaciones de medición de precipitación mediante el método de cajas y bigotes (boxplots), observando que varios de los datos se encuentran fuera de los límites pudiendo ser por fallos en sensores, registros extremos no representativos, entre otros, estos datos son eliminados evitando que alteren en este caso los promedios de precipitación y su representación gráfica.

Grafica 7 Análisis de cajas y bigotes (boxplots) estación La Palma precipitación total mensual



Fuente: Elaboración Propia

Grafica 8 Análisis de cajas y bigotes (boxplots) estación El Peñón precipitación total mensual



Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el análisis y eliminado los datos anómalos se procedió al cálculo de la precipitación promedio de cada estación esto con el fin de poder realizar una transposición de caudales, teniendo en cuenta que en las estaciones cercanas al municipio de El Peñón no se encontraban datos de caudal los cuales eran de suma importancia para el cálculo del caudal ambiental para la elaboración del tanque de

reserva el cual garantiza el suministro de agua aproximadamente de 24 horas al casco urbano y parte veredal del municipio de estudio.

### 6.2.3. CALCULO DE PARAMETROS MORFOLOGICOS

Una vez se realizó el cálculo de la precipitación promedio, se procedió al cálculo del área (km<sup>2</sup>), perímetro (km), pendiente media (k) de la cuenca la cual se determinó por medio del programa ARCGIS PRO, para esto se cargó el DEM de la cuenca de El Peñón y de La Palma y mediante el cálculo de la dirección de flujo y acumulación de flujo de las cuencas de estudio de cada municipio arrojando los siguientes datos, los cuales se pueden evidenciar en el Anexo No.2 mapas de coberturas, Anexo No. 2.1, el formato editable de las cuencas se puede evidenciar en la carpeta Anexos formato ZIP.

Tabla 15 Análisis criterios morfológicos cuencas de estudio

| <b>CUENCA</b> | <b>AREA<br/>KM2</b> | <b>PERIMETRO<br/>KM</b> | <b>PENDIENTE<br/>MEDIA</b> | <b>PRECIPTACIÓN<br/>PROMEDIO</b> |
|---------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| El Peñón      | 0,59                | 3,35                    | 32,56                      | 207,6                            |
| La Palma      | 0,79                | 6,67                    | 56,09                      | 165,84                           |

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los datos anteriores se realiza la transposición de caudales, de acuerdo con lo establecido por la Corporación Autónoma Regional de Santander – CAS (2018), Cuando la estación limnimétrica o limnigráfica se encuentre en la misma cuenca hidrográfica pero no en el sitio de interés se pueden transferir caudales máximos instantáneos anuales de diferentes periodos de retorno de esta estación hasta el sitio de proyecto, la cual consiste en la suposición de que las cuencas presentan características similares (área, precipitación etc.) con respuestas parecidas al agua (comportamientos hidrológicos análogos) con similitud en: tamaño, pendiente tipo de suelo, clima etc.

Para la cual se utilizó la formula <sup>[29]</sup>:

---

<sup>[29]</sup>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *Resolución 330 de 2017: Por la cual se establecen los criterios para el uso, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico*, Bogotá, Colombia, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ae22eb8f1daa.pdf>.

$$K = \frac{P1}{P2} - \frac{A1}{P2}$$

Donde:

K= Coeficiente de gradiente

P= Precipitación media

A= Área de la cuenca

Al realizar la operación con los datos de la tabla No. 15 da un K= 0,8, el cual se multiplica con los caudales de la estación: 2306733 BOC. ACUED. LA PALMA como se observa en la tabla No. 17

Tabla 16 Datos de caudal estación 2306733 Bo. Acued. La Palma

| AÑO  | ENERO | FEBRE | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOST | SEPTIE | OCTUB | NOVIEN | DICIEM |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
| 2010 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,032 | n/a   | 0,041 | 0,024 | 0,019 | 0,05   | 0,037 | 0,037  | 0,046  |
| 2011 | 0,032 | 0,046 | 0,05  | n/a   | 0,087 | 0,005 | 0,003 | 0,007 | 0,007  | 0,059 | 0,059  | N/A    |
| 2012 | N/A   | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,024 | 0,001 | 0     | 0     | 0      | 0     | 0,003  | 0,003  |
| 2013 | 0,001 | 0,003 | 0,012 | 0,007 | 0,012 | 0,003 | 0     | 0,001 | 0,001  | 0,003 | 0,007  | 0,007  |
| 2014 | 0,007 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,007 | 0,007 | 0,001 | 0,003 | 0,003  | n/a   | n/a    | n/a    |
| 2015 | 0,002 | 0,002 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014  | 0,014 | 0,014  | 0,014  |
| 2016 | 0,002 | 0,014 | 0,014 | 0,027 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014  | 0,027 | 0,014  | 0,027  |
| 2017 | 0,014 | 0,014 | 0,027 | 0,04  | 0,027 | 0,027 | 0,014 | 0,014 | 0,014  | 0,027 | 0,027  | 0,027  |
| 2018 | 0,027 | 0,014 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,014 |       |       |        |       |        |        |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Resultados caudales proyectados - El Peñón

| AÑO  | MES | FECHA    | EST.<br>2306733<br>BOC.<br>ACUED. LA<br>PALMA | EST. PROYEC.<br>EL PEÑON m³ | EST. PROYEC.<br>EL PEÑON l/s |
|------|-----|----------|-----------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 2010 | 1   | ene/2010 | 0,001                                         | 0,000797304                 | 0,797304478                  |
| 2010 | 2   | feb/2010 | 0,001                                         | 0,000797304                 | 0,797304478                  |
| 2010 | 3   | mar/2010 | 0,003                                         | 0,002391913                 | 2,391913434                  |
| 2010 | 4   | abr/2010 | 0,032                                         | 0,025513743                 | 25,5137433                   |
| 2010 | 5   | may/2010 |                                               |                             |                              |
| 2010 | 6   | jun/2010 | 0,041                                         | 0,032689484                 | 32,6894836                   |
| 2010 | 7   | jul/2010 | 0,024                                         | 0,019135307                 | 19,13530747                  |

| <b>AÑO</b> | <b>MES</b> | <b>FECHA</b> | <b>EST.<br/>2306733<br/>BOC.<br/>ACUED. LA<br/>PALMA</b> | <b>EST. PROYEC.<br/>EL PEÑON m³</b> | <b>EST. PROYEC.<br/>EL PEÑON l/s</b> |
|------------|------------|--------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 2010       | 8          | ago/2010     | 0,019                                                    | 0,015148785                         | 15,14878508                          |
| 2010       | 9          | sep/2010     | 0,05                                                     | 0,039865224                         | 39,8652239                           |
| 2010       | 10         | oct/2010     | 0,037                                                    | 0,029500266                         | 29,50026569                          |
| 2010       | 11         | nov/2010     | 0,037                                                    | 0,029500266                         | 29,50026569                          |
| 2010       | 12         | dic/2010     | 0,046                                                    | 0,036676006                         | 36,67600599                          |
| 2011       | 1          | ene/2011     | 0,032                                                    | 0,025513743                         | 25,5137433                           |
| 2011       | 2          | feb/2011     | 0,046                                                    | 0,036676006                         | 36,67600599                          |
| 2011       | 3          | mar/2011     | 0,05                                                     | 0,039865224                         | 39,8652239                           |
| 2011       | 4          | abr/2011     |                                                          |                                     |                                      |
| 2011       | 5          | may/2011     | 0,087                                                    | 0,06936549                          | 69,36548959                          |
| 2011       | 6          | jun/2011     | 0,005                                                    | 0,003986522                         | 3,98652239                           |
| 2011       | 7          | jul/2011     | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2011       | 8          | ago/2011     | 0,007                                                    | 0,005581131                         | 5,581131346                          |
| 2011       | 9          | sep/2011     | 0,007                                                    | 0,005581131                         | 5,581131346                          |
| 2011       | 10         | oct/2011     | 0,059                                                    | 0,047040964                         | 47,0409642                           |
| 2011       | 11         | nov/2011     | 0,059                                                    | 0,047040964                         | 47,0409642                           |
| 2011       | 12         | dic/2011     |                                                          |                                     |                                      |
| 2012       | 1          | ene/2012     |                                                          |                                     |                                      |
| 2012       | 2          | feb/2012     | 0,012                                                    | 0,009567654                         | 9,567653737                          |
| 2012       | 3          | mar/2012     | 0,012                                                    | 0,009567654                         | 9,567653737                          |
| 2012       | 4          | abr/2012     | 0,012                                                    | 0,009567654                         | 9,567653737                          |
| 2012       | 5          | may/2012     | 0,024                                                    | 0,019135307                         | 19,13530747                          |
| 2012       | 6          | jun/2012     | 0,001                                                    | 0,000797304                         | 0,797304478                          |
| 2012       | 7          | jul/2012     | 0                                                        | 0                                   | 0                                    |
| 2012       | 8          | ago/2012     | 0                                                        | 0                                   | 0                                    |
| 2012       | 9          | sep/2012     | 0                                                        | 0                                   | 0                                    |
| 2012       | 10         | oct/2012     | 0                                                        | 0                                   | 0                                    |
| 2012       | 11         | nov/2012     | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2012       | 12         | dic/2012     | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2013       | 1          | ene/2013     | 0,001                                                    | 0,000797304                         | 0,797304478                          |
| 2013       | 2          | feb/2013     | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2013       | 3          | mar/2013     | 0,012                                                    | 0,009567654                         | 9,567653737                          |

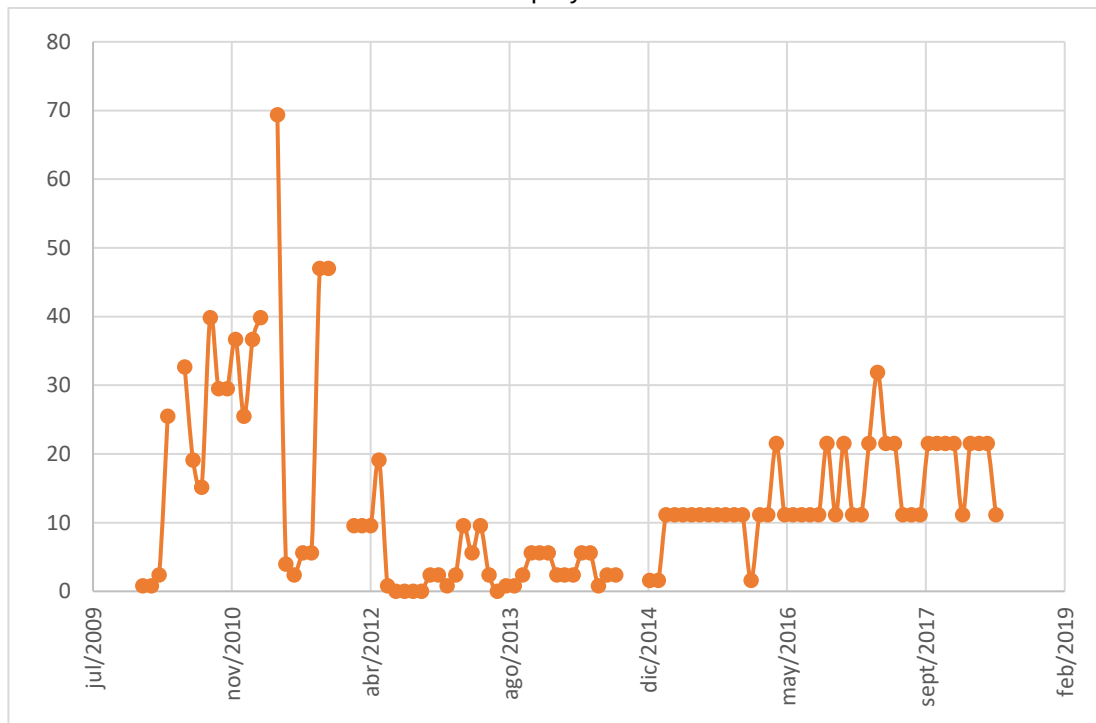
| <b>AÑO</b> | <b>MES</b> | <b>FECHA</b>    | <b>EST.<br/>2306733<br/>BOC.<br/>ACUED. LA<br/>PALMA</b> | <b>EST. PROYEC.<br/>EL PEÑON m³</b> | <b>EST. PROYEC.<br/>EL PEÑON l/s</b> |
|------------|------------|-----------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 2013       | 4          | <b>abr/2013</b> | 0,007                                                    | 0,005581131                         | 5,581131346                          |
| 2013       | 5          | <b>may/2013</b> | 0,012                                                    | 0,009567654                         | 9,567653737                          |
| 2013       | 6          | <b>jun/2013</b> | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2013       | 7          | <b>jul/2013</b> | 0                                                        | 0                                   | 0                                    |
| 2013       | 8          | <b>ago/2013</b> | 0,001                                                    | 0,000797304                         | 0,797304478                          |
| 2013       | 9          | <b>sep/2013</b> | 0,001                                                    | 0,000797304                         | 0,797304478                          |
| 2013       | 10         | <b>oct/2013</b> | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2013       | 11         | <b>nov/2013</b> | 0,007                                                    | 0,005581131                         | 5,581131346                          |
| 2013       | 12         | <b>dic/2013</b> | 0,007                                                    | 0,005581131                         | 5,581131346                          |
| 2014       | 1          | <b>ene/2014</b> | 0,007                                                    | 0,005581131                         | 5,581131346                          |
| 2014       | 2          | <b>feb/2014</b> | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2014       | 3          | <b>mar/2014</b> | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2014       | 4          | <b>abr/2014</b> | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2014       | 5          | <b>may/2014</b> | 0,007                                                    | 0,005581131                         | 5,581131346                          |
| 2014       | 6          | <b>jun/2014</b> | 0,007                                                    | 0,005581131                         | 5,581131346                          |
| 2014       | 7          | <b>jul/2014</b> | 0,001                                                    | 0,000797304                         | 0,797304478                          |
| 2014       | 8          | <b>ago/2014</b> | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2014       | 9          | <b>sep/2014</b> | 0,003                                                    | 0,002391913                         | 2,391913434                          |
| 2014       | 10         | <b>oct/2014</b> |                                                          |                                     |                                      |
| 2014       | 11         | <b>nov/2014</b> |                                                          |                                     |                                      |
| 2014       | 12         | <b>dic/2014</b> |                                                          |                                     |                                      |
| 2015       | 1          | <b>ene/2015</b> | 0,002                                                    | 0,001594609                         | 1,594608956                          |
| 2015       | 2          | <b>feb/2015</b> | 0,002                                                    | 0,001594609                         | 1,594608956                          |
| 2015       | 3          | <b>mar/2015</b> | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2015       | 4          | <b>abr/2015</b> | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2015       | 5          | <b>may/2015</b> | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2015       | 6          | <b>jun/2015</b> | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2015       | 7          | <b>jul/2015</b> | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2015       | 8          | <b>ago/2015</b> | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |

| <b>AÑO</b> | <b>MES</b> | <b>FECHA</b> | <b>EST.<br/>2306733<br/>BOC.<br/>ACUED. LA<br/>PALMA</b> | <b>EST. PROYEC.<br/>EL PEÑON m³</b> | <b>EST. PROYEC.<br/>EL PEÑON l/s</b> |
|------------|------------|--------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 2015       | 9          | sep/2015     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2015       | 10         | oct/2015     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2015       | 11         | nov/2015     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2015       | 12         | dic/2015     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2016       | 1          | ene/2016     | 0,002                                                    | 0,001594609                         | 1,594608956                          |
| 2016       | 2          | feb/2016     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2016       | 3          | mar/2016     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2016       | 4          | abr/2016     | 0,027                                                    | 0,021527221                         | 21,52722091                          |
| 2016       | 5          | may/2016     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2016       | 6          | jun/2016     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2016       | 7          | jul/2016     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2016       | 8          | ago/2016     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2016       | 9          | sep/2016     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2016       | 10         | oct/2016     | 0,027                                                    | 0,021527221                         | 21,52722091                          |
| 2016       | 11         | nov/2016     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2016       | 12         | dic/2016     | 0,027                                                    | 0,021527221                         | 21,52722091                          |
| 2017       | 1          | ene/2017     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2017       | 2          | feb/2017     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2017       | 3          | mar/2017     | 0,027                                                    | 0,021527221                         | 21,52722091                          |
| 2017       | 4          | abr/2017     | 0,04                                                     | 0,031892179                         | 31,89217912                          |
| 2017       | 5          | may/2017     | 0,027                                                    | 0,021527221                         | 21,52722091                          |
| 2017       | 6          | jun/2017     | 0,027                                                    | 0,021527221                         | 21,52722091                          |
| 2017       | 7          | jul/2017     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2017       | 8          | ago/2017     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2017       | 9          | sep/2017     | 0,014                                                    | 0,011162263                         | 11,16226269                          |
| 2017       | 10         | oct/2017     | 0,027                                                    | 0,021527221                         | 21,52722091                          |
| 2017       | 11         | nov/2017     | 0,027                                                    | 0,021527221                         | 21,52722091                          |

| AÑO  | MES | FECHA           | EST.<br>2306733<br>BOC.<br>ACUED. LA<br>PALMA | EST. PROYEC.<br>EL PEÑON m³ | EST. PROYEC.<br>EL PEÑON l/s |
|------|-----|-----------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 2017 | 12  | <b>dic/2017</b> | 0,027                                         | 0,021527221                 | 21,52722091                  |
| 2018 | 1   | <b>ene/2018</b> | 0,027                                         | 0,021527221                 | 21,52722091                  |
| 2018 | 2   | <b>feb/2018</b> | 0,014                                         | 0,011162263                 | 11,16226269                  |
| 2018 | 3   | <b>mar/2018</b> | 0,027                                         | 0,021527221                 | 21,52722091                  |
| 2018 | 4   | <b>abr/2018</b> | 0,027                                         | 0,021527221                 | 21,52722091                  |
| 2018 | 5   | <b>may/2018</b> | 0,027                                         | 0,021527221                 | 21,52722091                  |
| 2018 | 6   | <b>jun/2018</b> | 0,014                                         | 0,011162263                 | 11,16226269                  |

Fuente: Elaboración propia

Grafica 9 Caudales proyectados estación El Peñón



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los caudales proyectados se observa una alta variabilidad interanual, evidenciando picos de caudal entre periodos como 2009 y 2012 con caudales máximos entre 25 y 47, presentando fenómenos de lluvias extremas y/o fenómenos de la niña, en periodos de 2013 a 2015 los caudales se reducen

considerablemente entre 0 a 10 evidenciando estiaje prolongado o condiciones de sequía. Para los últimos periodos se observa un aumento con estabilizado con picos aislados.

Tabla 18 Datos ordenados datos de caudal proyectados El Peñón

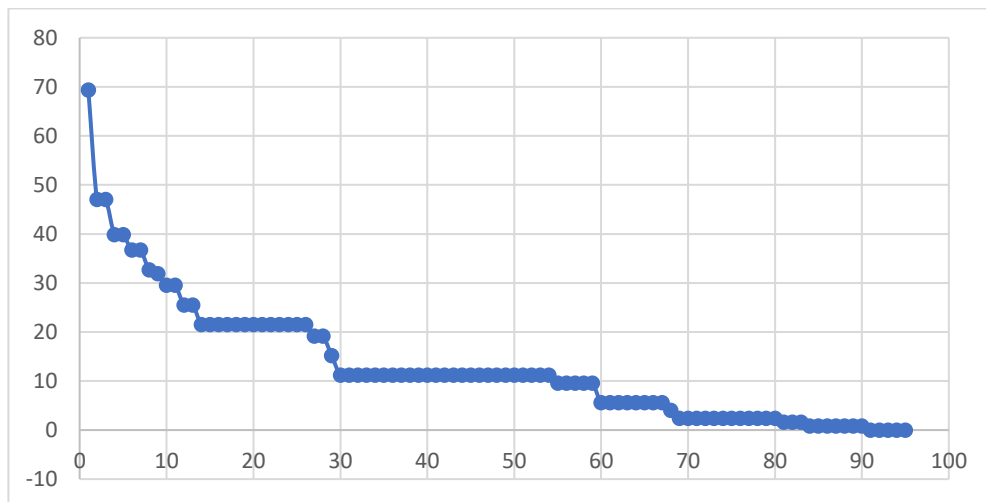
| DATOS | ORDENADOS l/s | DATOS | ORDENADOS l/s |
|-------|---------------|-------|---------------|
| 1     | 69,36548959   | 47    | 11,16226269   |
| 2     | 47,0409642    | 48    | 11,16226269   |
| 3     | 47,0409642    | 49    | 11,16226269   |
| 4     | 39,8652239    | 50    | 11,16226269   |
| 5     | 39,8652239    | 51    | 11,16226269   |
| 6     | 36,67600599   | 52    | 11,16226269   |
| 7     | 36,67600599   | 53    | 11,16226269   |
| 8     | 32,6894836    | 54    | 11,16226269   |
| 9     | 31,89217912   | 55    | 9,567653737   |
| 10    | 29,50026569   | 56    | 9,567653737   |
| 11    | 29,50026569   | 57    | 9,567653737   |
| 12    | 25,5137433    | 58    | 9,567653737   |
| 13    | 25,5137433    | 59    | 9,567653737   |
| 14    | 21,52722091   | 60    | 5,581131346   |
| 15    | 21,52722091   | 61    | 5,581131346   |
| 16    | 21,52722091   | 62    | 5,581131346   |
| 17    | 21,52722091   | 63    | 5,581131346   |
| 18    | 21,52722091   | 64    | 5,581131346   |
| 19    | 21,52722091   | 65    | 5,581131346   |
| 20    | 21,52722091   | 66    | 5,581131346   |
| 21    | 21,52722091   | 67    | 5,581131346   |
| 22    | 21,52722091   | 68    | 3,98652239    |
| 23    | 21,52722091   | 69    | 2,391913434   |
| 24    | 21,52722091   | 70    | 2,391913434   |
| 25    | 21,52722091   | 71    | 2,391913434   |
| 26    | 21,52722091   | 72    | 2,391913434   |
| 27    | 19,13530747   | 73    | 2,391913434   |
| 28    | 19,13530747   | 74    | 2,391913434   |
| 29    | 15,14878508   | 75    | 2,391913434   |
| 30    | 11,16226269   | 76    | 2,391913434   |
| 31    | 11,16226269   | 77    | 2,391913434   |
| 32    | 11,16226269   | 78    | 2,391913434   |
| 33    | 11,16226269   | 79    | 2,391913434   |

| DATOS | ORDENADOS l/s | DATOS | ORDENADOS l/s |
|-------|---------------|-------|---------------|
| 34    | 11,16226269   | 80    | 2,391913434   |
| 35    | 11,16226269   | 81    | 1,594608956   |
| 36    | 11,16226269   | 82    | 1,594608956   |
| 37    | 11,16226269   | 83    | 1,594608956   |
| 38    | 11,16226269   | 84    | 0,797304478   |
| 39    | 11,16226269   | 85    | 0,797304478   |
| 40    | 11,16226269   | 86    | 0,797304478   |
| 41    | 11,16226269   | 87    | 0,797304478   |
| 42    | 11,16226269   | 88    | 0,797304478   |
| 43    | 11,16226269   | 89    | 0,797304478   |
| 44    | 11,16226269   | 90    | 0,797304478   |
| 45    | 11,16226269   | 91    | 0             |
| 46    | 11,16226269   | 92    | 0             |
|       |               | 93    | 0             |
|       |               | 94    | 0             |
|       |               | 95    | 0             |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los datos anteriores se evaluó un Qmin promedio 50% con el podemos evaluar la disponibilidad hídrica sostenible que realmente dispone la quebrada oscura el cual da como resultado 4,1598 m<sup>3</sup>/seg, este valor nos permite tener una mejor planificación para un modelamiento hídrico más exacto, definido como el caudal de diseño mínimo para la obra del tanque de regulación.

Grafica 10 Curva de duración de caudales



Fuente: Elaboración propia

El análisis de la gráfica de la curva de duración de caudales <sup>[30]</sup> de muestra varias etapas de análisis de izquierda a derecha:

1. **Alta pendiente inicial:** La gráfica se observa una alta pendiente inicial con el caudal más alto de 69.4 l/s con un porcentaje de tiempo muy bajo, por lo que se establece que los caudales máximos son ocasionales, vinculados a eventos de lluvia intensos.
2. **Zona media:** Se observa una transición de valores de caudal con presencia más frecuente, concentrando los caudales medios los cuales pueden presentar las condiciones normales.
3. **Tramo final (pendiente baja):** Se observa que los caudales menores ocurren con mayor frecuencia, reflejando condiciones de estiaje los cuales nos permiten conocer la disponibilidad mínima de agua.

Una vez realizada la estimación del caudal mediante la transposición de caudales <sup>[31]</sup> dando como resultado se obtuvo un caudal disponible de 0,8 l/seg, en la quebrada oscura para la modelación del tanque de regulación el cual permitirá el con lo cual se establece el diseño del tanque teniendo en cuenta que de acuerdo con la normatividad vigente se debe cumplir con el 10% a 30% del caudal medio para su proyección.

## USOS ALTERNATIVOS CAUDAL AMBIENTAL

En el municipio de El Peñón, se ha estimado un caudal medio mensual multianual de 3,12 l/s. De acuerdo con la metodología hidrológica de porcentaje fijo, el caudal ambiental mínimo corresponde al 25% de este valor, es decir, aproximadamente 1.03l/s. Este caudal debe conservarse de forma permanente para garantizar la integridad ecológica del ecosistema.

---

<sup>30</sup> *Guía metodológica para la evaluación del recurso hídrico superficial en Colombia*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, Colombia, 2010.

[En línea]. Disponible en: <https://www.ideam.gov.co/web/agua/protocolos-procedimientos-y-metodologias>

<sup>31</sup> *Manual técnico para la estimación de caudales en cuencas sin aforo – Técnica de transposición regional de caudales*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, Colombia, 2010.

[En línea]. Disponible en: <https://www.ideam.gov.co/web/agua/protocolos-procedimientos-y-metodologias>

La metodología utilizada se basa en lo establecido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), que permite el uso del método de porcentaje fijo en ausencia de información más detallada, con el fin de conservar los procesos ecológicos esenciales de los cuerpos de agua superficiales <sup>32</sup>

La conservación de este caudal permite además el desarrollo de usos de bajo impacto que generan beneficios ambientales, sociales y económicos para la población local, entre los cuales se incluyen:

- Usos no extractivos:
  - Educación ambiental comunitaria y escolar.
  - Ecoturismo.
  - Monitoreo ambiental comunitario.
- Actividades aguas abajo con impacto controlado:
  - Acuicultura en canales secundarios.
  - Paisajismo con enfoque en reforestación.

### **6.3. Diseño tanque de regulación**

#### **6.2.6 Volumen mínimo de almacenamiento**

El diseño del tanque de regulación debe cumplir una función importante dentro del sistema de abastecimiento de agua potable, ya que permite equilibrar las diferencias de caudal de la quebrada Oscura y el caudal requerido para la demanda. Esta estructura se diseña para almacenar agua y asegurar continuidad en el servicio cuando se presenten variaciones en la oferta del recurso.

Para el dimensionamiento se considera distintos escenarios operativos, que reflejen condiciones críticas en el sistema. Específicamente se consideran estos 3 escenarios para iniciar los cálculos del tanque:

- Caudal mínimo otorgado por la quebrada Oscura, que es de 0.8 l/s según el estudio de la fuente.

---

<sup>32</sup> Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), *Metodología para la estimación del caudal ambiental en Colombia*, Bogotá, Colombia, 2011. [En línea]. Disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.anla.gov.co/documentos/ciudadania/03\\_partic\\_ciudadana/con-pub/Metodologia\\_Caudal\\_Ambiental.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.anla.gov.co/documentos/ciudadania/03_partic_ciudadana/con-pub/Metodologia_Caudal_Ambiental.pdf)

- Consumo medio diario, siendo de 2.14 l/s según las proyecciones de demanda.
- Consumo máximo horario, según la curva de caudal es de 2.5 del medio diario (5.35 l/s) según la curva de caudal para las 12:00pm o 4.44 l/s según el caudal máximo horario, el cual se toma el ultimo por ser el valor mínimo.

Cada uno de estos caudales se proyectan para un volumen de 24 horas, lo que permitirá establecer la capacidad mínima que debe tener el tanque para cumplir esta situación, considerando así los siguientes volúmenes:

Tabla 19 Volúmenes a considerar para el almacenamiento de agua

| Volumen requerido de almacenamiento de agua cruda | Valor a                           | Caudal asociado | Volumen de almacenamiento |                                  |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------------|
|                                                   |                                   | LPS             | M <sup>3</sup> /H         | Metros cúbicos (m <sup>3</sup> ) |
| Volumen por regulación                            | Valor del caudal mínimo del rio   | 0.8             | 2.88                      | 69                               |
| Volumen por consumo medio                         | Almacenamiento del día de consumo | 2.14            | 7.69                      | 185                              |
| Volumen por consumo en el día de máximo consumo   | Volumen del día mayor consumo     | 4.44            | 15.99                     | 384                              |

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, estos volúmenes permiten determinar la capacidad de almacenamiento requerida para que el tanque cumpla su función reguladora. De este modo, se garantiza que el sistema pueda operar frente a fluctuaciones en la oferta y la demanda de agua.

### 6.2.7 Tiempo de llenado

El tiempo de llenado del tanque es un parámetro importante para el diseño del volumen mínimo del tanque, ya que permite definir la variabilidad del abastecimiento

en condiciones variables, según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000, Título B, Sección 9.4.12, los tanques de almacenamiento deben diseñarse con tiempos de llenado comprendidos entre 8 y 24 horas. <sup>[33]</sup>

Esta consideración permite establecer un volumen mínimo de almacenamiento acorde con el caudal máximo disponible, según el análisis hidrológico de la quebrada Oscura, es de 3,2 L/s. En este sentido, se busca minimizar el tiempo de llenado sin comprometer los volúmenes de regulación requeridos, con eso, se presentan las estimaciones de caudal necesarias para cumplir con los tiempos de llenado de 8 y 24 horas respectivamente:

Tabla 20. Estimación de caudales según tiempo de llenado para 24 horas

| <b>CASO</b>                      | <b>Unidad</b>     | <b>Volumen por regulación</b> | <b>Volumen por consumo medio</b> | <b>Volumen por consumo en el día de máximo consumo</b> |
|----------------------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Volumen del tanque de agua cruda | m <sup>3</sup>    | 69.12                         | 185                              | 384                                                    |
| Tiempo de llenado                | h                 | 24                            | 24                               | 24                                                     |
| Caudal                           | m <sup>3</sup> /h | 2.88                          | 7.69                             | 15.99                                                  |
| Caudal                           | l/s               | 0.80                          | 2.14                             | 4.44                                                   |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Estimación de caudales según tiempo de llenado para 8 horas

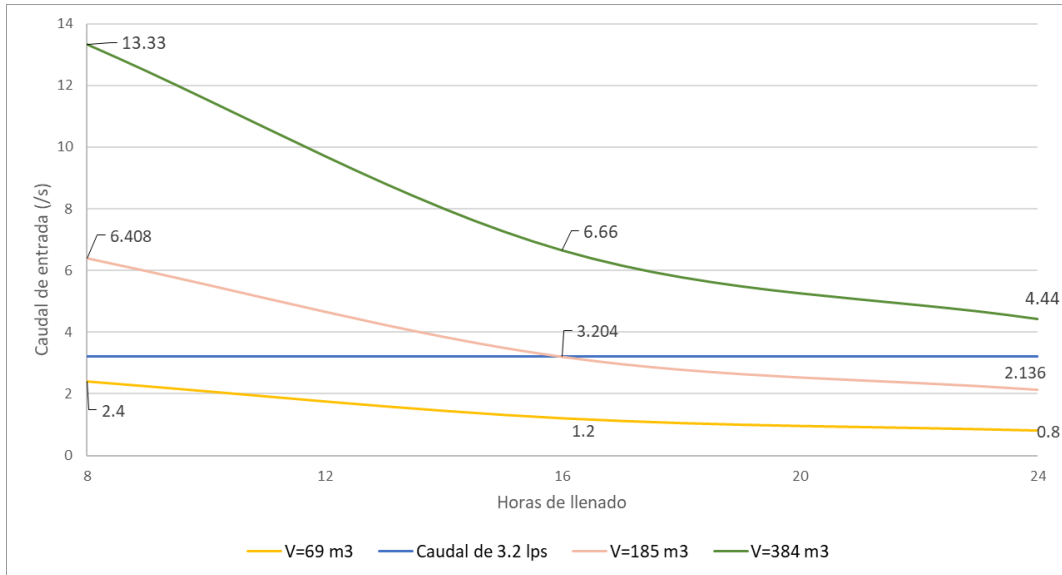
| <b>CASO</b>                      | <b>Unidad</b>  | <b>Volumen por regulación</b> | <b>Volumen por consumo medio</b> | <b>Volumen por consumo en el día de máximo consumo</b> |
|----------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Volumen del tanque de agua cruda | m <sup>3</sup> | 69.12                         | 185                              | 384                                                    |
| Tiempo de llenado                | h              | 8                             | 8                                | 8                                                      |

<sup>33</sup> República de Colombia, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000, Título B: Diseño de sistemas de acueducto, Sección 9.4.12. Tanques de almacenamiento, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000*

|        |                   |      |       |       |
|--------|-------------------|------|-------|-------|
| Caudal | m <sup>3</sup> /h | 8.64 | 23.07 | 57.78 |
| Caudal | l/s               | 2.40 | 6.41  | 13.33 |

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12 Caudales de llenado de agua cruda



Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que las soluciones óptimas se encuentran dentro de un rango comprendido entre 0,8 L/s para un tiempo de llenado de 24 horas y 16,05 L/s para 8 horas. Estos representan los límites mínimo y máximo aceptables que permiten evaluar con mayor precisión las combinaciones adecuadas de caudal y volumen.

No obstante, se debe considerar que el caudal mínimo usable en condiciones normales es de 3,12 L/s. Como se observa en la Ilustración 12, un tanque de 384 m<sup>3</sup> requeriría caudales superiores a este valor, lo cual no sería compatible con el caudal nombrado. Del mismo modo, tanques de menor volumen como 185 m<sup>3</sup>, si se llenaran en menos de 16 horas.

Por tanto, el volumen mínimo óptimo de almacenamiento debe estar comprendido entre 69 y 185 m<sup>3</sup>, con tiempos de llenado ajustados entre 16 y 24 horas, de modo que se garantice tanto la funcionalidad del tanque como el cumplimiento de las condiciones ambientales y de oferta hídrica.

### 6.2.8 Balance de masas

El análisis del balance de masas se considera los escenarios anteriormente nombrados donde se incluye la salida del tanque hacia la PTAP del municipio donde se debe enviar un caudal de 2.14 l/s (o 7.7 m<sup>3</sup>/h), donde se asume que el tanque estará lleno, con el fin de verificar continuidad en el servicio. Con lo anterior, se inicia la evaluación con el tanque de 69 m<sup>3</sup>, cuyo resultado se muestra a continuación:

Tabla 22. Balance de masas para un tanque de 69 m<sup>3</sup>

| Horas       | In    | Acum         | Out   | Vnet  |
|-------------|-------|--------------|-------|-------|
| 0           |       |              |       | 69.12 |
| 1           | 2.88  | 2.88         | 7.70  | 64.30 |
| 2           | 2.88  | 5.76         | 7.70  | 59.47 |
| 3           | 2.88  | 8.64         | 7.70  | 54.65 |
| 4           | 2.88  | 11.52        | 7.70  | 49.82 |
| 5           | 2.88  | 14.40        | 7.70  | 45.00 |
| 6           | 2.88  | 17.28        | 7.70  | 40.18 |
| 7           | 2.88  | 20.16        | 7.70  | 35.35 |
| 8           | 2.88  | 23.04        | 7.70  | 30.53 |
| 9           | 2.88  | 25.92        | 7.70  | 25.70 |
| 10          | 2.88  | 28.80        | 7.70  | 20.88 |
| 11          | 2.88  | 31.68        | 7.70  | 16.06 |
| 12          | 2.88  | 34.56        | 7.70  | 11.23 |
| 13          | 2.88  | 37.44        | 7.70  | 6.41  |
| 14          | 2.88  | 40.32        | 7.70  | 1.58  |
| 15          | 2.88  | 43.20        |       | 4.46  |
| 16          | 2.88  | 46.08        |       | 7.34  |
| 17          | 2.88  | 48.96        | 7.70  | 2.52  |
| 18          | 2.88  | 51.84        |       | 5.40  |
| 19          | 2.88  | 54.72        | 7.70  | 0.58  |
| 20          | 2.88  | 57.60        |       | 3.46  |
| 21          | 2.88  | 60.48        |       | 6.34  |
| 22          | 2.88  | 63.36        | 7.70  | 1.51  |
| 23          | 2.88  | 66.24        |       | 4.39  |
| 24          | 2.88  | <b>69.12</b> |       | 7.27  |
| Desague (h) | 24.00 | Sum (h)      | 17.00 |       |
| Vol         | 69.12 |              | 61.85 | 69.12 |

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en el balance de masas, con volumen de 69 m<sup>3</sup> no es posible garantizar un flujo constante del líquido hacia la PTAP ya que solo lo haría por 17 horas en total, y en este caso, solo 14 horas sin interrupción, lo cual no sería suficiente para una operación de la PTAP de 24 horas.

Para ellos, se continua el proceso verificando la siguiente condición de regulación, lo que sería el tanque de 185 m<sup>3</sup> correspondiente al caudal de entrada de 7.69 m<sup>3</sup>/h o 2.14 l/s, lo cual daría como resultado:

Tabla 23. Balance de masas para un tanque de 185m<sup>3</sup>

| <b>BALANCE DE MASAS Tanque de 185 m<sup>3</sup> (volumenes en m<sup>3</sup>)</b> |              |                |                |              |             |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| <b>Horas</b>                                                                     | <b>In</b>    | <b>Acum</b>    | <b>Vantes</b>  | <b>Out</b>   | <b>Acum</b> |
| 0                                                                                |              |                |                |              | 184.55      |
| 1                                                                                | 2.88         | 2.88           | 187.43         | 7.70         | 179.73      |
| 2                                                                                | 2.88         | 5.76           | 182.61         | 7.70         | 174.90      |
| 3                                                                                | 2.88         | 8.64           | 177.78         | 7.70         | 170.08      |
| 4                                                                                | 2.88         | 11.52          | 172.96         | 7.70         | 165.25      |
| 5                                                                                | 2.88         | 14.40          | 168.13         | 7.70         | 160.43      |
| 6                                                                                | 2.88         | 17.28          | 163.31         | 7.70         | 155.61      |
| 7                                                                                | 2.88         | 20.16          | 158.49         | 7.70         | 150.78      |
| 8                                                                                | 2.88         | 23.04          | 153.66         | 7.70         | 145.96      |
| 9                                                                                | 2.88         | 25.92          | 148.84         | 7.70         | 141.13      |
| 10                                                                               | 2.88         | 28.80          | 144.01         | 7.70         | 136.31      |
| 11                                                                               | 2.88         | 31.68          | 139.19         | 7.70         | 131.49      |
| 12                                                                               | 2.88         | 34.56          | 134.37         | 7.70         | 126.66      |
| 13                                                                               | 2.88         | 37.44          | 129.54         | 7.70         | 121.84      |
| 14                                                                               | 2.88         | 40.32          | 124.72         | 7.70         | 117.01      |
| 15                                                                               | 2.88         | 43.20          | 119.89         | 7.70         | 112.19      |
| 16                                                                               | 2.88         | 46.08          | 115.07         | 7.70         | 107.37      |
| 17                                                                               | 2.88         | 48.96          | 110.25         | 7.70         | 102.54      |
| 18                                                                               | 2.88         | 51.84          | 105.42         | 7.70         | 97.72       |
| 19                                                                               | 2.88         | 54.72          | 100.60         | 7.70         | 92.89       |
| 20                                                                               | 2.88         | 57.60          | 95.77          | 7.70         | 88.07       |
| 21                                                                               | 2.88         | 60.48          | 90.95          | 7.70         | 83.25       |
| 22                                                                               | 2.88         | 63.36          | 86.13          | 7.70         | 78.42       |
| 23                                                                               | 2.88         | 66.24          | 81.30          | 7.70         | 73.60       |
| 24                                                                               | 2.88         | 69.12          | 76.48          | 7.70         | 68.77       |
| <b>Llenado (h)</b>                                                               | <b>24.00</b> | <b>Sum (h)</b> | <b>Sum (h)</b> | <b>24.00</b> |             |

| <b>BALANCE DE MASAS Tanque de 185 m<sup>3</sup> (volumenes en m<sup>3</sup>)</b> |              |             |               |             |              |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|--------------|
| <b>Horas</b>                                                                     | <b>In</b>    | <b>Acum</b> | <b>Vantes</b> | <b>Out</b>  | <b>Acum</b>  |
| <b>Vol</b>                                                                       | <b>69.12</b> |             |               | <b>0.35</b> | <b>69.12</b> |

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en el balance de masas, con volumen de 69 m<sup>3</sup> no es posible garantizar un flujo constante del líquido hacia la PTAP ya que solo lo haría por 17 horas en total, y en este caso, solo 14 horas sin interrupción, lo cual no sería suficiente para una operación de la PTAP de 24 horas.

Para ellos, se continua el proceso verificando la siguiente condición de regulación, lo que sería el tanque de 185m<sup>3</sup> correspondiente al caudal de entrada de 7.69 m<sup>3</sup>/h o 2.14 l/s, lo cual daría como resultado:

Tabla 24. Balance de masas para un tanque de 115m<sup>3</sup> situación critica

| <b>BALANCE DE MASAS Tanque de 115.78 m<sup>3</sup></b> |           |             |            |             |
|--------------------------------------------------------|-----------|-------------|------------|-------------|
| <b>Horas</b>                                           | <b>In</b> | <b>Acum</b> | <b>Out</b> | <b>Acum</b> |
|                                                        |           |             |            | 115.78      |
| 1                                                      | 2.88      | 2.88        | 7.70       | 110.95      |
| 2                                                      | 2.88      | 5.76        | 7.70       | 106.13      |
| 3                                                      | 2.88      | 8.64        | 7.70       | 101.30      |
| 4                                                      | 2.88      | 11.52       | 7.70       | 96.48       |
| 5                                                      | 2.88      | 14.40       | 7.70       | 91.66       |
| 6                                                      | 2.88      | 17.28       | 7.70       | 86.83       |
| 7                                                      | 2.88      | 20.16       | 7.70       | 82.01       |
| 8                                                      | 2.88      | 23.04       | 7.70       | 77.18       |
| 9                                                      | 2.88      | 25.92       | 7.70       | 72.36       |
| 10                                                     | 2.88      | 28.80       | 7.70       | 67.54       |
| 11                                                     | 2.88      | 31.68       | 7.70       | 62.71       |
| 12                                                     | 2.88      | 34.56       | 7.70       | 57.89       |
| 13                                                     | 2.88      | 37.44       | 7.70       | 53.06       |
| 14                                                     | 2.88      | 40.32       | 7.70       | 48.24       |
| 15                                                     | 2.88      | 43.20       | 7.70       | 43.42       |
| 16                                                     | 2.88      | 46.08       | 7.70       | 38.59       |
| 17                                                     | 2.88      | 48.96       | 7.70       | 33.77       |
| 18                                                     | 2.88      | 51.84       | 7.70       | 28.94       |
| 19                                                     | 2.88      | 54.72       | 7.70       | 24.12       |
| 20                                                     | 2.88      | 57.60       | 7.70       | 19.30       |
| 21                                                     | 2.88      | 60.48       | 7.70       | 14.47       |

| <b>BALANCE DE MASAS Tanque de 115.78 m<sup>3</sup></b> |              |                |              |              |
|--------------------------------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|
| <b>Horas</b>                                           | <b>In</b>    | <b>Acum</b>    | <b>Out</b>   | <b>Acum</b>  |
| 22                                                     | 2.88         | 63.36          | 7.70         | 9.65         |
| 23                                                     | 2.88         | 66.24          | 7.70         | 4.82         |
| 24                                                     | 2.88         | 69.12          | 7.70         | 0.00         |
| <b>Llenado (h)</b>                                     | <b>24.00</b> | <b>Sum (h)</b> | <b>24.00</b> |              |
| <b>Vol</b>                                             | <b>69.12</b> |                | <b>69.12</b> | <b>69.12</b> |

Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis realizado, se identifican dos escenarios críticos para el funcionamiento del tanque de regulación. El primero corresponde a situaciones de emergencia, donde se debe garantizar la continuidad de la operación de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) durante al menos 24 horas, utilizando el caudal mínimo estimado de 0,8 l/s. Este volumen cumple una función clave en la regulación del sistema en condiciones adversas.

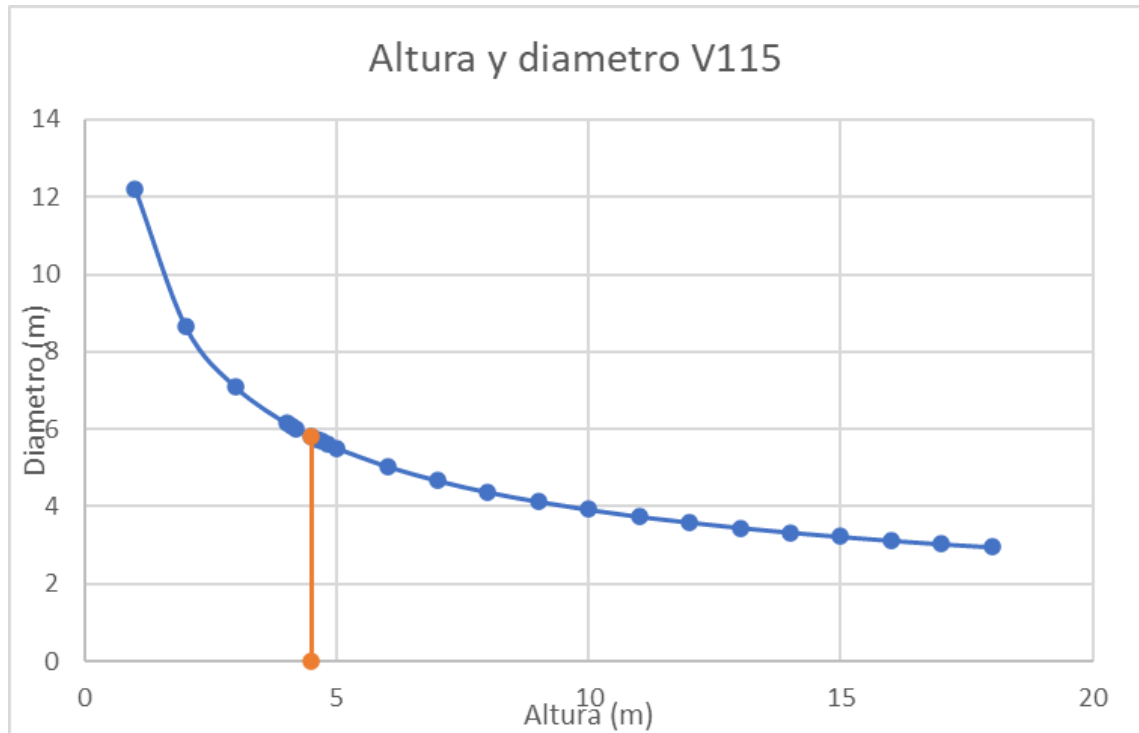
El segundo escenario se plantea bajo condiciones normales, en las que el caudal Q50, estimado en 3,12 l/s (ver capítulo 6.3: Análisis de información de caudales, precipitaciones y cuenca morfológica), supera el caudal proyectado de operación (2,14 l/s). Con este caudal disponible, el volumen total requerido puede ser llenado en aproximadamente 15 horas.

Por esta razón, se sugiere que, ante eventos de emergencia, el llenado del tanque se programe desde las 3:00 p.m., permitiendo acumular el volumen necesario dentro del tiempo de llenado permitido (según el RAS 2000 Título B, artículo 9.4.12) y garantizando una reserva operativa estratégica para la PTAP.

### **6.2.9 Dimensionamiento tanque**

Con base en el volumen de 115 m<sup>3</sup>, se realiza una curva de diámetro contra altura para el volumen diseñado anteriormente, para lo cual da lo siguiente:

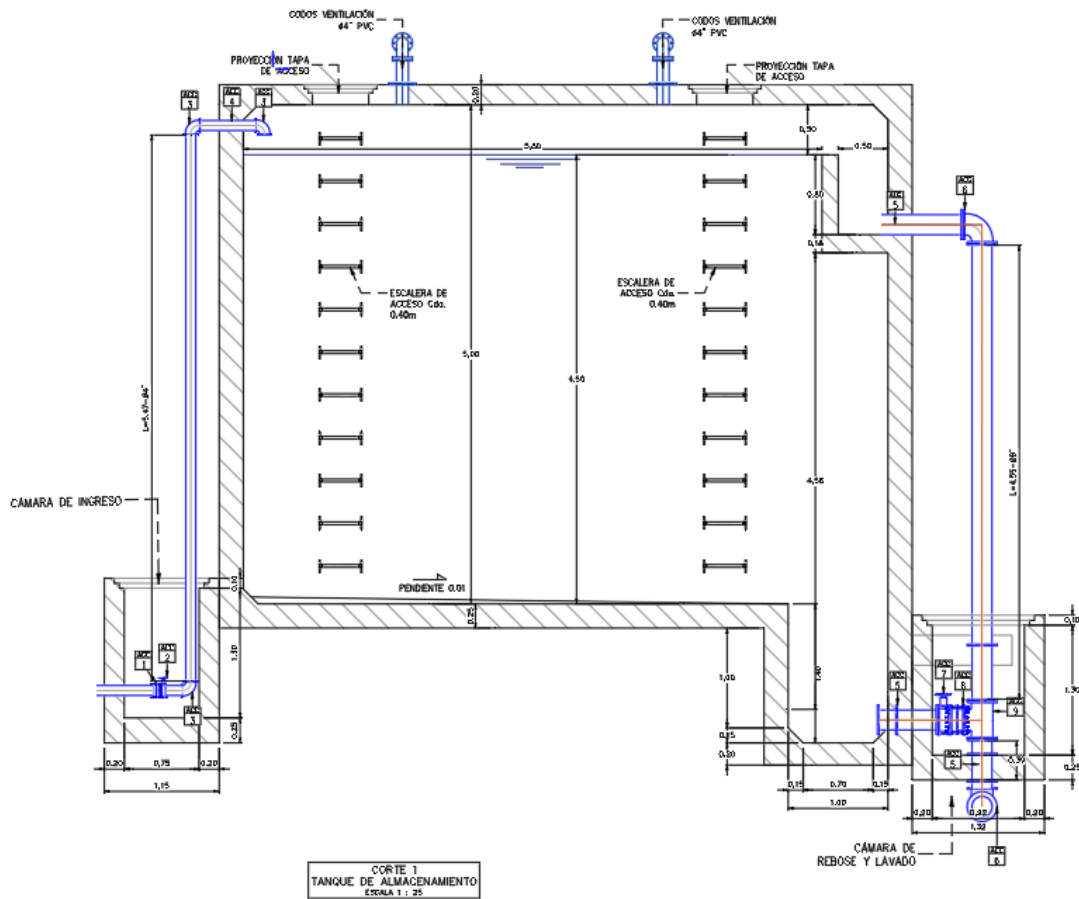
Ilustración 13 Curva de diámetro vs Caudal



Fuente: elaboración propia

Dando como resultado, diámetro oprimo es de 5.8m para una altura de 4.5m a la lámina de agua. Con eso se considera un borde libre de 50cm (considerando 20cm a la tubería de entrada) dando como altura final un tanque de 5m de altura, siguiendo el siguiente diseño:

Ilustración 14 Diseño tanque de regulación



Fuente: Elaboración propia

El diseño incluye una válvula de limpieza, un sistema de rebose y una pendiente del 1% en el fondo para facilitar el drenaje y la limpieza del tanque. Se recomienda que la estructura sea construida en concreto reforzado, garantizando estabilidad, durabilidad y facilidad de mantenimiento, el plano del tanque se encuentra dentro del" Anexo No. 1.2.4.Tanque1-02 de 02 “

### 6.3.1. Tiempo de lavado/Desagüe de la tubería

El caudal de desagüe de los tanques está determinado por el diámetro de la tubería de descarga, su área transversal y la altura de la lámina de agua. Este caudal influye directamente en el tiempo requerido para el vaciado de cada estructura. Según lo establecido en la normativa vigente, el tiempo máximo permitido para el vaciado de los tanques no debe superar las 8 horas, a fin de facilitar las actividades de lavado y mantenimiento. Con base en esto, y de acuerdo con los resultados obtenidos en el diseño hidráulico, se seleccionaron tuberías con diámetros adecuados que permiten cumplir con este requisito, garantizando tiempos de vaciado dentro de

límites aceptables para la operación del sistema. En la siguiente tabla se presenta el caudal de desagüe y diámetro de la tubería:

Tabla 25. Evaluación de tiempos de lavado, tanque proyectado

| Parámetro                   | Unidad            | Símbolo | Tanque Elevado Principal |
|-----------------------------|-------------------|---------|--------------------------|
| Diámetro del desagüe        | [pulg]            | d       | 8                        |
| Área del desagüe            | [m <sup>2</sup> ] | a       | 0.0324                   |
| Tiempo de vaciado           | S                 |         | 11211                    |
|                             | [hr]              | T       | 3.1                      |
| Área superficial del tanque | [m <sup>2</sup> ] | A       | 216.42                   |
| Cabeza sobre el desagüe     | [m]               | h       | 3.70                     |
| Coeficiente de descarga     | [-]               | Cd      | 0.52                     |
| Caudal de lavado            | l/s               | Q       | 39.56                    |

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2. Rebose

Como parte del diseño hidráulico, se verificó que el sistema de rebose en cada estructura cumple con las condiciones operativas establecidas. En todos los casos, la capacidad de evacuación supera el caudal de ingreso, y se mantiene una distancia mínima de 10 cm entre la lámina de agua máxima y la tapa del tanque. Estas condiciones aseguran un comportamiento hidráulico adecuado y reducen el riesgo de presiones hidrostáticas no deseadas. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los tanques:

Tabla 26. Diámetro de rebose para tanque proyectado.

| Unidad                   | Símbolo | Unidad | Tanque Elevado Principal |
|--------------------------|---------|--------|--------------------------|
| Diámetro del rebose      | Ør      | Pulg.  | 8                        |
| Diámetro del rebose      |         | M      | 0.20                     |
| Lámina de agua en rebose | M       | M      | 0.15                     |

| <b>Unidad</b>           | <b>Símbolo</b> | <b>Unidad</b> | <b>Tanque Elevado Principal</b> |
|-------------------------|----------------|---------------|---------------------------------|
| Coeficiente de descarga | Cd             | M             | 0.61                            |
| Cantidad de reboses     | -              | Un            | 1                               |
| Caudal evacuado =       | Qrebose        | l/s           | <b>8.40</b>                     |

Fuente: Elaboración propia

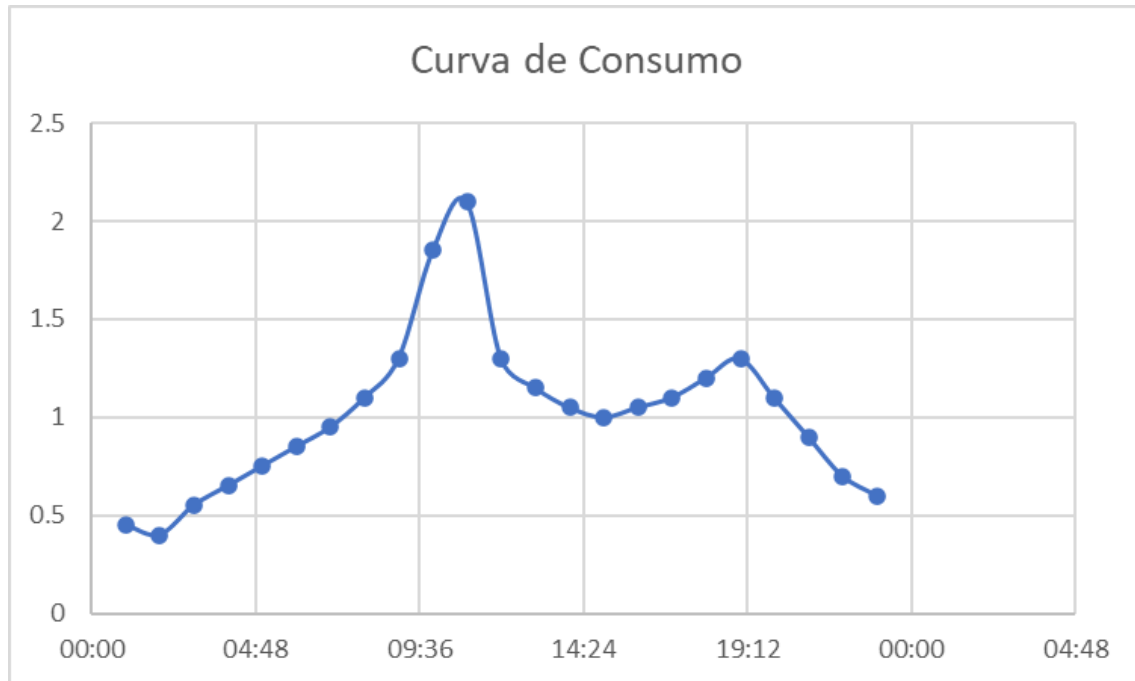
### **6.3 Diagnóstico redes de distribución**

#### **6.3.1 Patrón de demanda**

Para el desarrollo del modelo hidráulico del sistema de redes de acueducto del casco urbano del municipio, es necesario incluir una curva de demanda horaria que permita simular el comportamiento del consumo a lo largo del día. Esto es fundamental para evaluar el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones de consumo.

Dado que no se cuenta con registros horarios del consumo en la zona de estudio, se opta por utilizar la curva de demanda del informe de diagnóstico del casco urbano del municipio de El Peñón, elaborado por el Consorcio Agua de Cundinamarca en 2011. Este informe, adoptado como Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado (PMAA), presenta una caracterización de la demanda diaria para el municipio

Ilustración 15 Curva de consumo diario



Fuente PMAA 2011 EL PEÑÓN

Con esta curva es importante para la simulación ya que es elaborada considerando la realidad local del municipio para esos años, lo que permite una representación más adecuada. La curva es adoptada será integrada al modelo hidráulico desarrollado en EPANET, permitiendo un análisis oportuno del sistema.

### 6.3.2 Escenarios de modelación

- Escenario 1: Red bajo la condición de demanda situación actual  $Q=1.79$  lps
- Escenario 2: Red bajo la condición de demanda futura.  $Q=2.78$  lps
- 

### 6.3.3 Modelación situación actual Escenario 1

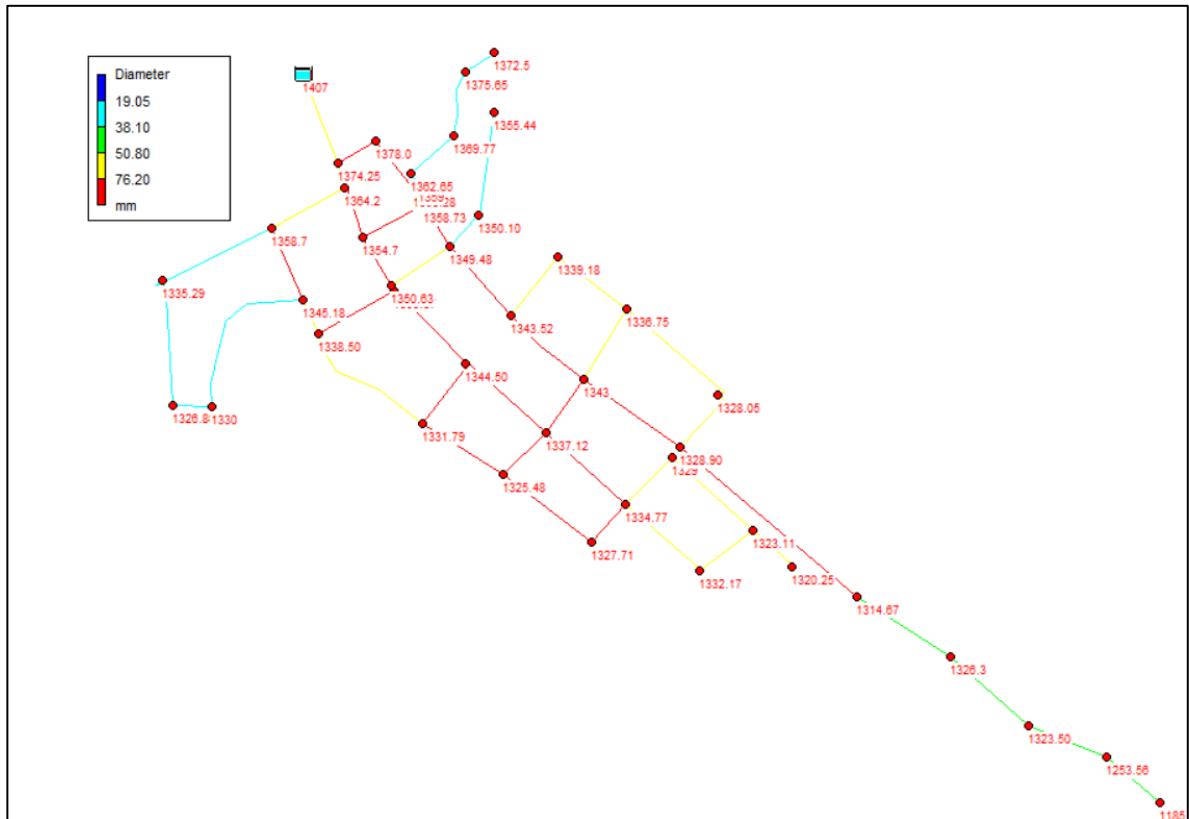
Se presenta la modelación hidráulica de la red de distribución de agua del municipio, la cual busca representar su condición actual para evaluar los requerimientos

presentes y futuros del sistema. La construcción del modelo se fundamenta en los siguientes insumos principales:

- Estimación de la demanda, basada en el número de usuarios y el caudal medio de operación, estimado en 1.79 L/s según el PMAA 2011.

Información de campo sobre los diámetros y materiales de las tuberías. De acuerdo con los planos y documentos revisados, la red está compuesta mayoritariamente por tuberías de PVC de Ø2", aunque también se identificaron tramos en asbesto cemento de Ø3", conforme al informe de diagnóstico del casco urbano. No obstante, el plano de redes considera una red completamente en PVC Ø2", lo cual se ha adoptado como base para esta modelación

Ilustración 16 Diámetros y cotas de la red



Fuente: Elaboración propia

Con lo anterior, se identificaron dentro del municipio cinco (5) válvulas de corte, referenciadas puntos del casco urbano:

1. Frente a la vivienda ubicada en la Calle 8 No. 3-02

2. Frente a la vivienda ubicada en la Carrera 1 No. 4-54
3. Frente a la vivienda ubicada en la Carrera 2 No. 4-58
4. Frente a la vivienda ubicada en la Carrera 3 No. 4-51
5. Frente a la vivienda ubicada en la Carrera 4 No. 4-87

Ilustración 17 Ubicación de válvulas

|                                                                                     |                                                                                      |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
|    |                                                                                      |  |
| <p>1. Frente a la vivienda ubicada en la Calle 8 No. 3-02</p>                       |                                                                                      |  |
|   |   |  |
| <p>2. Frente a la vivienda ubicada en la Carrera 1 No. 4-54</p>                     | <p>3. Frente a la vivienda ubicada en la Carrera 2 No. 4-58</p>                      |  |
|  |  |  |
| <p>4. Frente a la vivienda ubicada en la Carrera 3 No. 4-51</p>                     | <p>5. Frente a la vivienda ubicada en la Carrera 4 No. 4-87</p>                      |  |

Fuente: Elaboración propia

Para el escenario actual, se asignó una demanda base distribuida en los nodos del modelo, con base en el caudal de diseño (1.79 L/s). El análisis se centró en la hora pico (12:00 p.m.), con base en la curva de demanda horaria.

Tabla 27 Presiones en los nodos

| Nodo    | Presión (m) |
|---------|-------------|
| Junc 2  | 23.76       |
| Junc 4  | 33.7        |
| Junc 5  | 39.16       |
| Junc 6  | 61.68       |
| Junc 7  | 69.98       |
| Junc 8  | 66.88       |
| Junc 9  | 52.68       |
| Junc 10 | 59.36       |
| Junc 11 | 66.05       |
| Junc 12 | 53.32       |
| Junc 13 | 47.49       |
| Junc 14 | 47.23       |
| Junc 15 | 48.38       |
| Junc 16 | 19.96       |
| Junc 17 | 39.15       |
| Junc 18 | 39.61       |
| Junc 19 | 38.44       |
| Junc 20 | 34.34       |
| Junc 21 | 26.02       |
| Junc 22 | 19.44       |
| Junc 23 | 22.49       |

| Nodo    | Presión (m) |
|---------|-------------|
| Junc 24 | 47.29       |
| Junc 25 | 41.65       |
| Junc 26 | 54.31       |
| Junc 27 | 58.64       |
| Junc 28 | 61.06       |
| Junc 29 | 54.82       |
| Junc 30 | 60.7        |
| Junc 31 | 72.34       |
| Junc 32 | 70.11       |
| Junc 33 | 63.05       |
| Junc 34 | 65.64       |
| Junc 35 | 68.81       |
| Junc 36 | 74.7        |
| Junc 37 | 69.76       |
| Junc 38 | 68.91       |
| Junc 39 | 83.12       |
| Junc 40 | 77.56       |
| Junc 48 | 43.18       |
| Junc 3  | 69.75       |
| Junc 41 | 71.89       |
| Junc 42 | 141.39      |
| Junc 43 | 209.85      |

Fuente: Elaboración propia

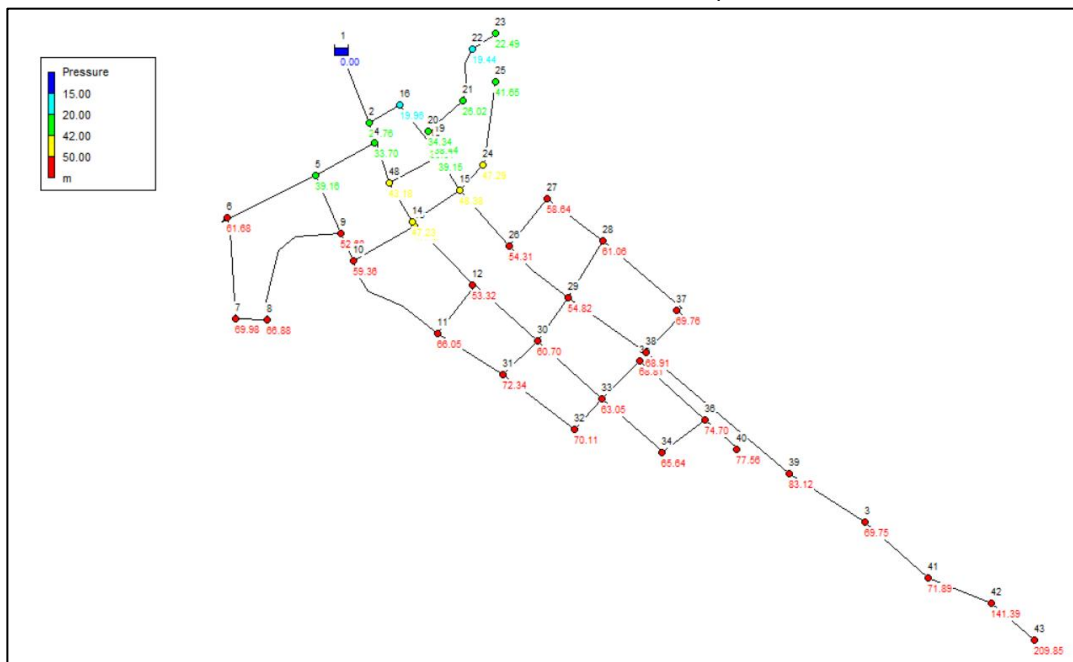
Al correr la simulación, se observaron presiones superiores a los 50 m.c.a., lo cual excede el límite establecido en el artículo 62 de la Resolución 0330 de 2017 “Para

sistemas nuevos u optimizaciones, la presión estática máxima debe ser de 50 m.c.a. La red de distribución debe estar subdividida en tantas zonas de presión como se requieran para cumplir esta condición” [.34]

Estas sobrepresiones se explican por la elevada altura estática disponible, lo que sugiere la necesidad de implementar dispositivos o infraestructura para regular la presión en puntos críticos de la red. A pesar de ello, gracias a la topografía de la zona, no se registran presiones por debajo de los 15 m.c.a.

Con lo anterior, el municipio tiene aproximadamente 80% de los puntos en sobrepresiones, iniciando desde el nodo No. 6 hasta el nodo final, resultado como se había estipulado anteriormente, es dado por la pendiente del municipio. Por lo cual para el diseño se debe considerar estos puntos para implementar medidas de control de presión, como se observa a continuación:

Ilustración 18 Puntos de sobrepresión



Fuente: Elaboración propia

<sup>34</sup> Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Resolución 0330 de 2017: Por la cual se establecen los reglamentos técnicos para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS, Bogotá, Colombia, 2017.*

### 6.3.4 Modelación Situación Futura -Escenario 2

En este escenario se analiza la operación del sistema bajo el caudal proyectado para el horizonte 2050, estimado en 2.78 L/s. Este caudal representa el crecimiento esperado de la demanda para el municipio en condiciones normales, por lo tanto, es fundamental verificar el comportamiento hidráulico de la red con este caudal.

Para el análisis, se ejecutó la simulación considerando el nuevo caudal, y se evaluaron las presiones en los nodos más críticos, definidos en función del comportamiento observado en el escenario actual ( $Q = 1.79$  L/s). A continuación, se presenta la comparación de presiones para ambos escenarios:

Tabla 28 Presiones en los nodos

| Node ID | Pressure (Q=1.79) | Pressure (Q=2.10 lps) |
|---------|-------------------|-----------------------|
|         | m                 | m                     |
| Junc 6  | 61.68             | 68.37                 |
| Junc 7  | 69.98             | 76.67                 |
| Junc 8  | 66.88             | 73.57                 |
| Junc 9  | 52.68             | 59.39                 |
| Junc 10 | 59.36             | 66.07                 |
| Junc 11 | 66.05             | 72.76                 |
| Junc 12 | 53.32             | 60.03                 |
| Junc 13 | 47.49             | 54.2                  |
| Junc 14 | 47.23             | 53.95                 |
| Junc 15 | 48.38             | 55.09                 |
| Junc 24 | 47.29             | 53.98                 |
| Junc 26 | 54.31             | 61.02                 |
| Junc 27 | 58.64             | 65.35                 |
| Junc 28 | 61.06             | 67.77                 |

| Node ID | Pressure (Q=1.79) | Pressure (Q=2.10 lps) |
|---------|-------------------|-----------------------|
|         | m                 | m                     |
| Junc 29 | 54.82             | 61.53                 |
| Junc 30 | 60.7              | 67.41                 |
| Junc 31 | 72.34             | 79.05                 |
| Junc 32 | 70.11             | 76.82                 |
| Junc 33 | 63.05             | 69.75                 |
| Junc 34 | 65.64             | 72.35                 |
| Junc 35 | 68.81             | 75.52                 |
| Junc 36 | 74.7              | 81.41                 |
| Junc 37 | 69.76             | 76.47                 |
| Junc 38 | 68.91             | 75.62                 |
| Junc 39 | 83.12             | 89.83                 |
| Junc 40 | 77.56             | 84.26                 |
| Junc 48 | 43.18             | 49.9                  |
| Junc 3  | 69.75             | 76.45                 |
| Junc 41 | 71.89             | 78.59                 |
| Junc 42 | 141.39            | 148.09                |
| Junc 43 | 209.85            | 216.55                |

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, el incremento del caudal genera un aumento en la presión de los nodos. Algunos de los nodos que en el escenario anterior estaban cerca del límite de 50 m.c.a. logran superarlo, donde el nodo 48 sigue presentando presiones por debajo y por ende sigue cumpliendo con la norma, en cambio, se observa la aparición de sobrepresión en múltiples nodos, en especial los nodos 42 y 43, que alcanzan presiones superiores a 200 m.c.a., superando ampliamente los límites aceptables para redes de distribución de agua potable.

Este comportamiento se explica principalmente por la topografía inclinada del municipio. Al analizar las cotas, se evidencia que existen diferencias altimétricas en la red. Por ejemplo, se pasa de cotas superiores a los 1370 m.s.n.m. en la parte alta, a valores cercanos a los 1173 m.s.n.m. en los puntos más bajos del sistema. Este desnivel de casi 200 metros en una longitud horizontal relativamente corta genera pendientes locales que superan fácilmente el 10%, alcanzando en algunos tramos valores estimados entre el 15% y el 20%, especialmente en la conducción final.

Estas pendientes generan presiones estáticas elevadas que se suman a las dinámicas propias del flujo, provocando condiciones hidráulicas críticas en los nodos bajos.

En consecuencia, el escenario 2 demuestra que no es viable aumentar el caudal sin considerar intervenciones en el diseño de la red. Es importante incorporar elementos de control como válvulas reductoras de presión. Estas permitirían mantener las presiones dentro de rangos operativos seguros, protegiendo la nueva infraestructura y garantizando una adecuada calidad del servicio en toda la red

### 6.3.5 Consideración de velocidades según Modelo EPANET

Se debe considerar que, para tomar los valores de caudal para iniciar la simulación, se planteó que el caudal se distribuía equitativamente por cada uno de los nodos, lo que implica que en cada nodo se tiene aproximadamente 0.04 -0.05 lps, lo que implica que se tendrían tuberías con ese caudal. Considerando lo anterior, las velocidades de las tuberías deberían estar dentro del siguiente rango:

Tabla 29 Velocidades mínima y máxima

| Diámetro (pulgadas) | Velocidad a 0.4 L/s (m/s) | Velocidad a 2.1 L/s (m/s) |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| 2"                  | $1.05 \times 10^{-3}$     | 1.04                      |
| 3"                  | $0.46 \times 10^{-3}$     | 0.45                      |

Fuente: Elaboración propia

La Resolución 330 establece que las velocidades deben oscilar entre 0.6 m/s y 6 m/s, el RAS 2000 y lo indicado en el Título B, en este caso no es posible aplicar esos límites de velocidad. Esto se debe a que, debido al caudal disponible y las dimensiones de las tuberías utilizadas en el sistema, no se alcanzan los valores mínimos requeridos. La simulación de la velocidad en este contexto no se ajusta a

esos parámetros, ya que las condiciones técnicas no permiten cumplir con los límites establecidos, por lo anterior la velocidad daría lo siguiente:

Tabla 30 Velocidades del sistema

| Link ID | Velocity | Diameter | Material        | Velocity |
|---------|----------|----------|-----------------|----------|
|         | m/s      |          |                 | m/s      |
| Pipe 1  | 1.35     | 2        | PVC             | 1.35     |
| Pipe 2  | 0.61     | 2        | PVC             | 0.61     |
| Pipe 3  | 0.56     | 2        | PVC             | 0.56     |
| Pipe 4  | 1.35     | 3/4      | PVC             | 0.79     |
| Pipe 5  | 0.54     | 3/4      | PVC             | 0.63     |
| Pipe 6  | 0.16     | 3/4      | PVC             | 0.62     |
| Pipe 7  | 0.36     | 3/4      | PVC             | 0.53     |
| Pipe 8  | 0.14     | 3        | Asbesto Cemento | 0.68     |
| Pipe 9  | 0.09     | 2        | PVC             | 0.55     |
| Pipe 10 | 0.31     | 2        | PVC             | 0.79     |
| Pipe 11 | 0.04     | 3        | Asbesto Cemento | 0.76     |
| Pipe 12 | 0.01     | 3        | Asbesto Cemento | 0.57     |
| Pipe 13 | 0.07     | 3        | Asbesto Cemento | 0.74     |
| Pipe 14 | 0.1      | 2        | PVC             | 0.52     |
| Pipe 15 | 0.04     | 3        | Asbesto Cemento | 0.57     |
| Pipe 16 | 0.16     | 3        | Asbesto Cemento | 0.71     |
| Pipe 17 | 0.01     | 3        | Asbesto Cemento | 0.61     |
| Pipe 18 | 0.2      | 3        | Asbesto Cemento | 0.51     |
| Pipe 19 | 0.04     | 3        | Asbesto Cemento | 0.52     |
| Pipe 20 | 0.18     | 3        | Asbesto Cemento | 0.59     |
| Pipe 21 | 0.16     | 3        | Asbesto Cemento | 0.69     |

| Link ID | Velocity | Diameter | Material        | Velocity |
|---------|----------|----------|-----------------|----------|
|         | m/s      | in       |                 | m/s      |
| Pipe 22 | 0.34     | 3/4      | PVC             | 1.11     |
| Pipe 23 | 0.33     | 3/4      | PVC             | 0.89     |
| Pipe 24 | 0.24     | 3/4      | PVC             | 0.67     |
| Pipe 25 | 1.11     | 3/4      | PVC             | 0.68     |
| Pipe 26 | 0.89     | 3/4      | PVC             | 0.55     |
| Pipe 27 | 0.67     | 3/4      | PVC             | 0.55     |
| Pipe 28 | 0.45     | 3/4      | PVC             | 0.8      |
| Pipe 29 | 0.22     | 3        | Asbesto Cemento | 0.69     |
| Pipe 30 | 0.22     | 2        | PVC             | 0.58     |
| Pipe 31 | 0.45     | 2        | PVC             | 0.69     |
| Pipe 32 | 0.16     | 2        | PVC             | 0.6      |
| Pipe 33 | 0.09     | 3        | Asbesto Cemento | 0.76     |
| Pipe 35 | 0.2      | 3        | Asbesto Cemento | 0.5      |
| Pipe 36 | 0.6      | 3        | Asbesto Cemento | 0.71     |
| Pipe 37 | 0.1      | 3        | Asbesto Cemento | 0.51     |
| Pipe 39 | 0.5      | 3        | Asbesto Cemento | 0.54     |
| Pipe 40 | 0.5      | 3        | Asbesto Cemento | 0.68     |
| Pipe 41 | 0.5      | 2        | PVC             | 0.52     |
| Pipe 42 | 0.5      | 2        | PVC             | 0.66     |
| Pipe 43 | 0.03     | 2        | PVC             | 0.75     |
| Pipe 44 | 0.06     | 2        | PVC             | 0.76     |
| Pipe 45 | 0.06     | 2        | PVC             | 0.66     |
| Pipe 46 | 0.03     | 2        | PVC             | 0.64     |

| Link ID | Velocity | Diameter | Material        | Velocity |
|---------|----------|----------|-----------------|----------|
|         | m/s      | in       |                 | m/s      |
| Pipe 47 | 0.03     | 2        | PVC             | 0.63     |
| Pipe 48 | 0.03     | 3        | Asbesto Cemento | 0.66     |
| Pipe 49 | 0.05     | 3        | Asbesto Cemento | 0.72     |
| Pipe 50 | 0.02     | 1 1/2    | PVC             | 0.55     |
| Pipe 51 | 0.07     | 1 1/2    | PVC             | 0.65     |
| Pipe 52 | 0.07     | 1 1/2    | PVC             | 0.57     |
| Pipe 53 | 0.22     | 1 1/2    | PVC             | 0.66     |
| Pipe 34 | 0.17     | 3        | Asbesto Cemento | 0.7      |
| Pipe 38 | 0.11     | 3        | Asbesto Cemento | 0.72     |

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, gran parte del sistema presenta velocidades por debajo de los 0.6 m/s. Este comportamiento es común en redes que operan con demandas distribuidas de baja magnitud, especialmente en zonas rurales o de baja densidad, como es el caso del municipio objeto de estudio. Sin embargo, es importante señalar que estas condiciones pueden favorecer la formación de sedimentos o el crecimiento de biopelículas al interior de las tuberías, lo cual compromete la calidad del agua y la eficiencia del sistema.

Por esta razón, se debe considerar mecanismos que permitan garantizar el arrastre de partículas y la limpieza periódica del sistema. Una opción es la implementación de un sistema de lavado hidráulico, mediante el cual se aumentan temporalmente los caudales en la red para alcanzar velocidades superiores al mínimo técnico requerido para limpieza y sectorizado.

### 6.3.6 Consideraciones de diseño nueva red

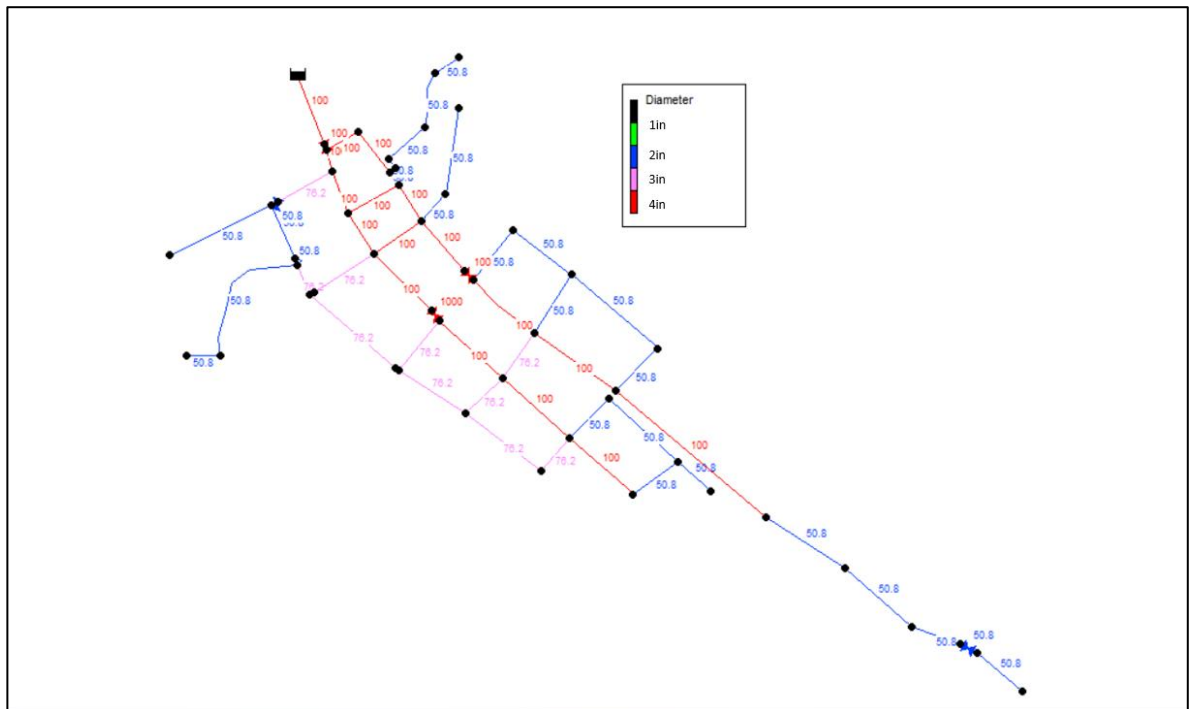
Dado que el anterior, se puede concluir que el sistema esta con sobrepresiones en mucho de los nodos el cual no está permitiendo el flujo correcto del sistema, con lo cual se puede considerar cambiar las tuberías en futuras reparaciones considerando lo siguiente.

- Se necesitaría incluir en el sistema válvulas reguladoras de presión en puntos estratégicos.
- Según la ley 1968 de 2019 dice (aquí puede ir referencia de la ley), el asbesto cemento no es un material permitido para tuberías, por lo cual implicaría cambiar mayor parte de la red descrita.
- Los diámetros estudiados no son óptimos para una red matriz, por lo cual el RAS 2000 en el título 7.4.7.1 Diámetros nominales mínimos en la red matriz habla que el diámetro mínimo debería ser de 100mm el cual sería 4in.
- Se dejará el trazado original y diámetro de las tuberías de PVC y disminución de redes menores de asbesto cemento a 2 in ya que cumple con velocidades establecidas por la norma

#### 6.4 Diseño de la red de distribución

Con lo anterior ya estipulado y siguiendo las recomendaciones, se procede a cambiar la red por tuberías de PVC, considerando una red matriz de Ø4 in y redes menores de Ø3 in a Ø2 in. Con esto, se deja como disposición la siguiente configuración de tuberías:

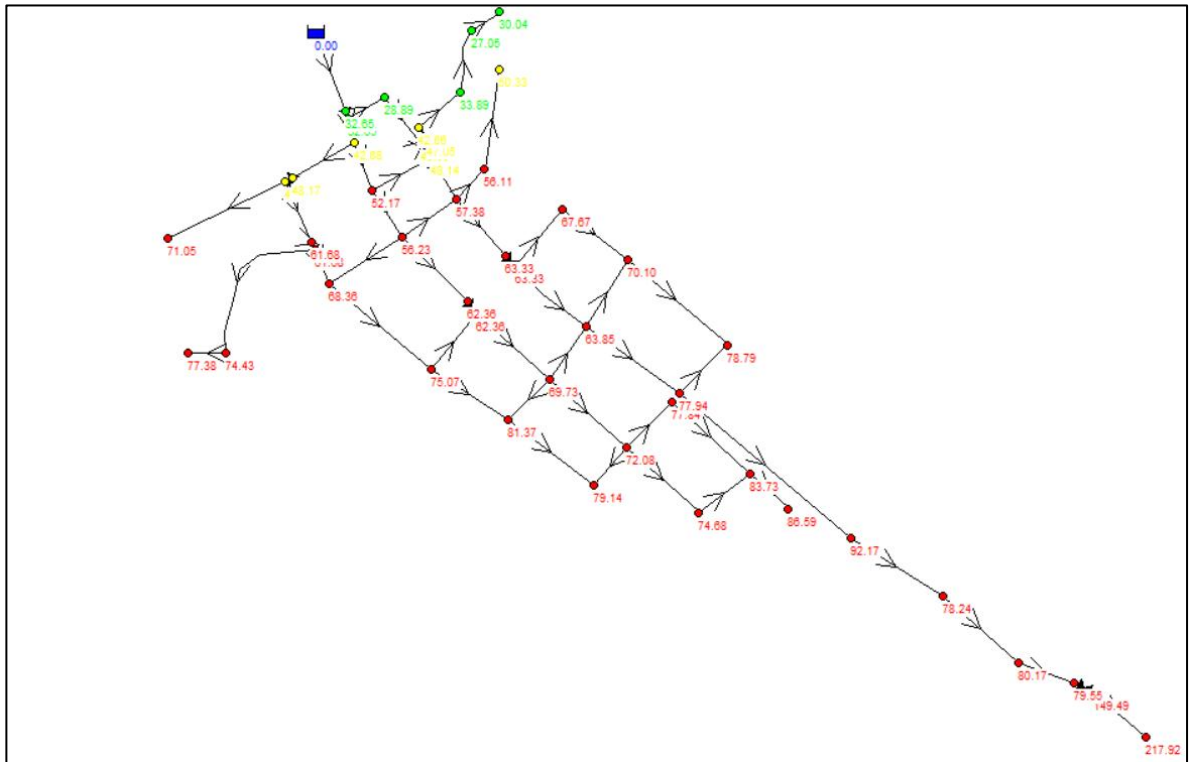
Ilustración 19 Diseño red de distribución



Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la ilustración No. 19, se cambiaron la mayoría de los diámetros, cumpliendo con la Resolución 330 y el RAS 2000, tal como exige la normativa. Sin embargo, al modificar los diámetros, el problema de las sobrepresiones aún persiste. Al correr el primer análisis, se presentan sobrepresiones en los siguientes puntos de la red

Ilustración 20 Sobrepresiones red de distribución

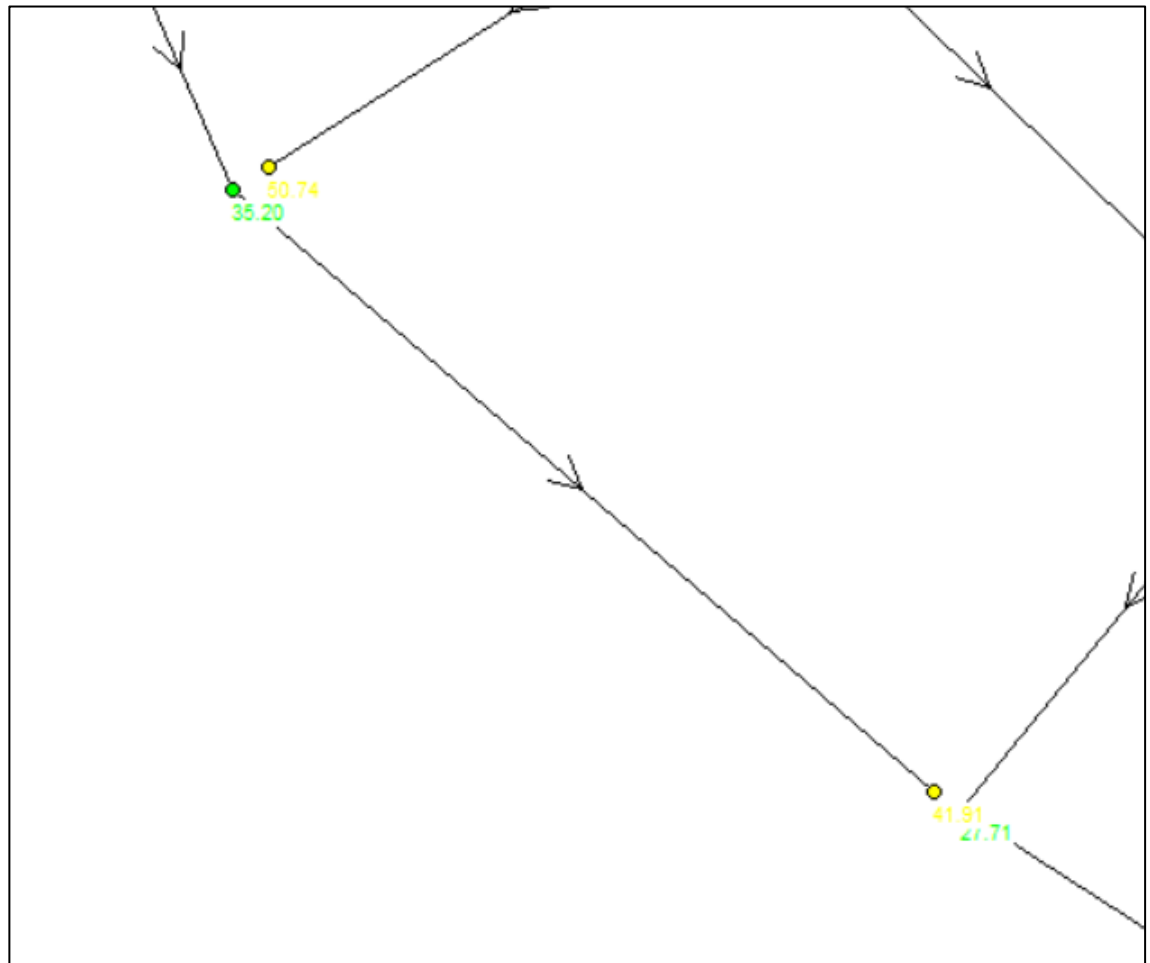


Fuente: Elaboración propia

Como se observa, con el trazado inicial, la mayor parte del sistema presenta presiones dentro de los rangos permitidos por la normativa (nodos en color rojo) Ver ilustración No. 20. No obstante, tal como se indicó anteriormente, la altura estática genera presiones que superan los 50 m.c.a., por lo que se tomaron las siguientes medidas correctivas:

- Se dispone de válvulas reguladoras de presión a 15 m.c.a
- Dado que la red inicial es mallada, se rompe el mallado en dos puntos para evitar que se generen presiones elevadas en nodos futuros (ver ilustración No.21).

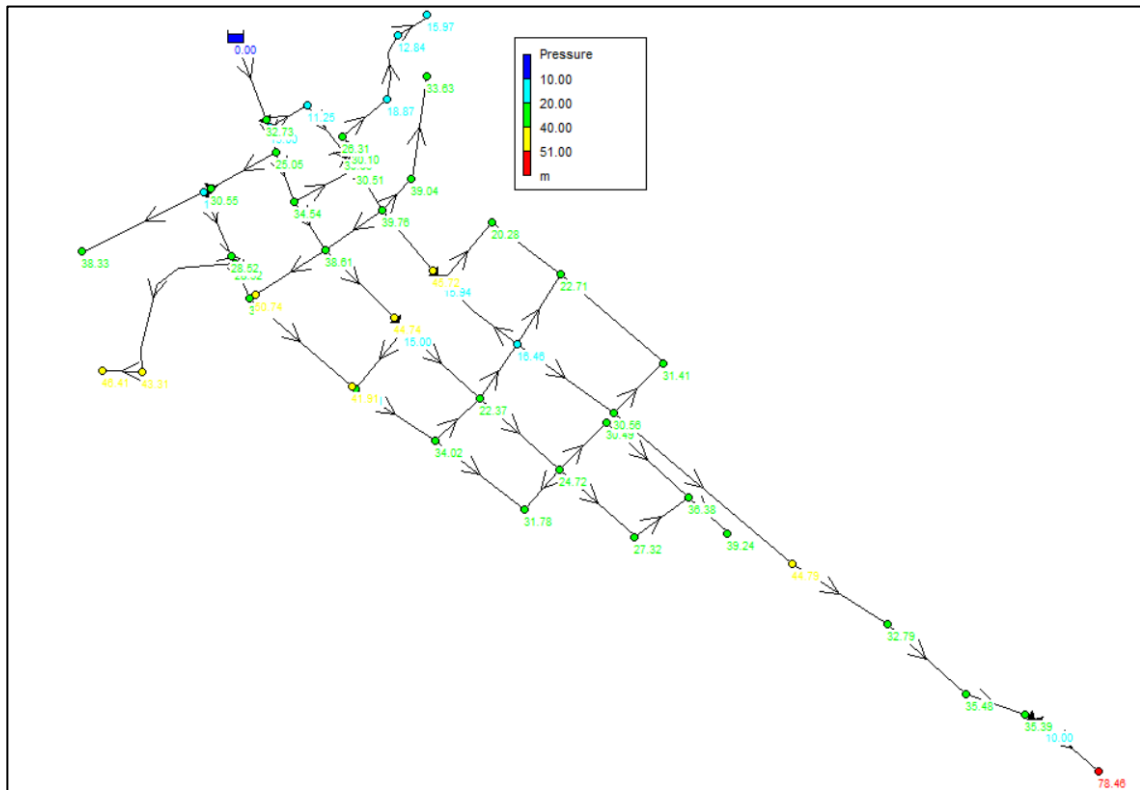
Ilustración 21 Puntos de rompimiento de enmallado



Fuente: Elaboración propia

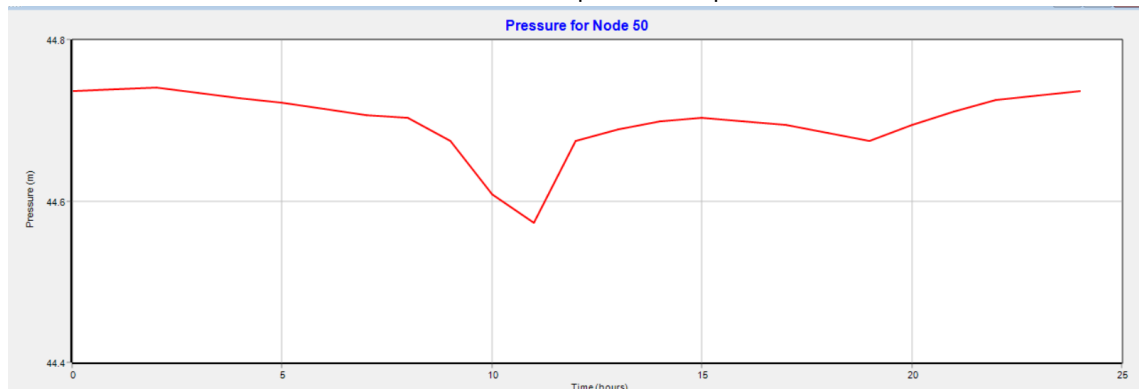
Con eso, se tiene el nuevo cuadro de presiones:

Ilustración 22 Presiones ajustadas



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23 Cumplimiento de presiones



Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 Cumplimiento de presión red nueva

| Nodo   | Presión mca | Nodo    | Presión mca |
|--------|-------------|---------|-------------|
| Junc 2 | 15          | Junc 29 | 16.45       |
| Junc 4 | 25.03       | Junc 30 | 22.36       |
| Junc 5 | 15          | Junc 31 | 34          |

| Nodo    | Presión mca | Nodo    | Presión mca |
|---------|-------------|---------|-------------|
| Junc 6  | 38.41       | Junc 32 | 31.77       |
| Junc 7  | 46.76       | Junc 33 | 24.71       |
| Junc 8  | 43.64       | Junc 34 | 27.31       |
| Junc 9  | 28.48       | Junc 35 | 30.48       |
| Junc 10 | 35.16       | Junc 36 | 36.36       |
| Junc 11 | 27.7        | Junc 37 | 31.4        |
| Junc 12 | 15          | Junc 38 | 30.55       |
| Junc 14 | 38.58       | Junc 39 | 44.77       |
| Junc 15 | 39.73       | Junc 40 | 39.22       |
| Junc 16 | 11.24       | Junc 48 | 34.52       |
| Junc 17 | 30.49       | Junc 3  | 32.55       |
| Junc 18 | 30.94       | Junc 41 | 35.12       |
| Junc 19 | 30.21       | Junc 42 | 10          |
| Junc 20 | 26.55       | Junc 43 | 78.48       |
| Junc 21 | 19.41       | Junc 44 | 32.65       |
| Junc 22 | 13.53       | Junc 49 | 45.69       |
| Junc 23 | 16.68       | Junc 50 | 44.67       |
| Junc 24 | 39.11       | Junc 51 | 41.87       |
| Junc 25 | 33.76       | Junc 52 | 35          |
| Junc 26 | 15.93       | Junc 53 | 30.52       |
| Junc 27 | 20.27       | Junc 54 | 50.71       |
| Junc 28 | 22.7        | Junc 55 | 28.48       |

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24 Diseño final de la red de distribución



Fuente: Elaboración propia

Aclarando que la ilustración 24 se encuentra como plano dentro del “Anexo No. 1.2.1. Red de acueducto-Planta Red de acueducto”. Como archivo DWG y PDF.

### 6.3.3. Válvulas reguladoras de presión

Para garantizar el cumplimiento de las presiones establecidas en la normativa y por el sistema, y como se nombró anteriormente, se instalaron 6 válvulas reguladores de presión a lo largo de la red, donde se busca controlar la presión a 15 m.c.a por la altura topográfica dada por el sistema, con lo anterior, la ubicación de estas válvulas estaría en:

Tabla 32 Ubicación de válvulas reguladoras de presión

| Válvula N. <sup>a</sup> | Punto de instalación aproximado | Coordenada             | Cota (m.s.n.m) |
|-------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------|
| VRP-01                  | Entrada principal al sistema    | 5.249989,<br>74.291315 | -<br>1374.25   |
| VRP-02                  | Calle 8 #3-44                   | 5.249878,<br>74.291589 | -<br>1358.7    |
| VRP-03                  | Carrera 3 No 5-19               | 5.248815,<br>74.290525 | -<br>1344.5    |
| VRP-04                  | Carrera 2 Calle 5               | 5.249130,<br>74.290195 | -<br>1343.52   |
| VRP-05                  | Km 1+800 El Peñón Guanacas      | 5.241634,<br>74.290531 | -<br>1161.5    |
| VRP-06                  | Km 2+800 El Peñón Guanacas      | 5.239153,<br>74.291602 | -<br>1070.6    |

Fuente: propia

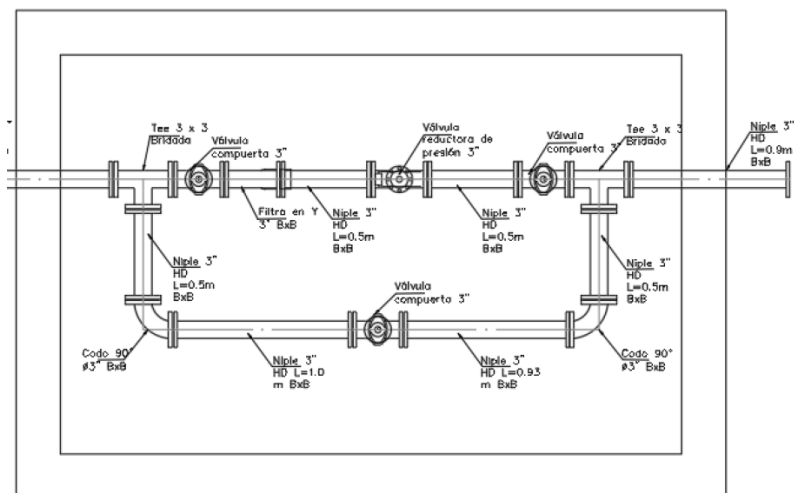
Con lo anterior se debe diseñar una caja de válvula con un bypass, que permita desviar el flujo mientras la válvula se encuentre en mantenimiento para asegurar continuidad del servicio, este bypass incluye:

- Válvulas de compuerta con sello elástico
- Manómetros de entrada y salida
- Unión de reparación
- Reducciones y niples bridados
- Filtro tipo YEE
- Ventosa de aire

- Codo de conexión
- Válvula reguladora de presión

Quedando de la siguiente forma:

Ilustración 25 Caja de válvulas



Fuente: Elaboración propia

## **7. RECOMENDACIONES (NUEVAS AREAS DE ESTUDIOS FUTUROS)**

Este estudio tiene un carácter académico y no constituye un diseño definitivo para la implementación del sistema. Sin embargo, los análisis realizados y los resultados obtenidos permiten plantear una serie de recomendaciones útiles para futuras fases de diseño, planificación o intervención en el sistema de acueducto del municipio de El Peñón.

Se recomienda complementar la información censal oficial del DANE con censos internos o levantamientos poblacionales, que permitan reflejar con mayor precisión la situación actual del municipio. En este estudio fue necesario recurrir a tasas de crecimiento poblacional a nivel departamental, ya que, aunque en los últimos años la población ha mostrado una tendencia al alza, el conflicto armado entre 1990 y 2005 generó una disminución significativa, reflejada en tasas negativas. Adicionalmente, se sugiere considerar bases de datos como el Sisbén o los registros de atención en salud y educación, en caso de estar disponibles, para fortalecer el análisis demográfico.

De igual forma si bien se realizó el cálculo de medición de caudales estimado por método de transposición de caudales y por la cual se proporciona una base teórica la cual es valida para el dimensionamiento del sistema de acueducto de El Peñón, se recomienda complementar estos resultados con una campaña de medición directa de caudales en campo, en diferentes épocas del año incluyendo temporadas lluvias y sequias, esto con el objetivo de ajustar parámetros hidrológicos a las condiciones de las cuencas de estudio, establecerlos cambios en la disponibilidad de agua (caudal o volumen), siendo fundamental para definir con una mayor precisión los caudales de diseño, volúmenes de almacenamiento y estrategias de uso múltiple del agua, así como establecer de manera precisa el caudal ambiental mínimo (Q25), que debe respetarse para garantizar el equilibrio ecológico del río.

El diseño conceptual del tanque de regulación establece un volumen mínimo recomendado de 115 m<sup>3</sup>, con el objetivo de mejorar la continuidad del servicio y garantizar una reserva operativa adecuada. Por lo tanto, se sugiere incorporar un sistema de control de nivel y válvulas de entrada y salida, cuyo funcionamiento pueda ser ajustado en función de la temporada de lluvias, consumo o interrupciones en la captación. Adicionalmente, se recomienda buscar una cota de ubicación al menos 15 metros por encima de la planta de tratamiento (PTAP), o al menos que permita una cabeza hidráulica equivalente, con el fin de que el tanque opere por gravedad, evitando así la necesidad de bombeo adicional y reduciendo costos energéticos operativos, adicionalmente se recomienda en caso de llevar a cabo la

construcción del tanque, que este sea llenado en horas de la tarde para así garantizar mejor calidad del servicio.

Según el diagnóstico de redes, gran parte del sistema existente está compuesto por tuberías de asbesto cemento, lo cual plantea riesgos tanto sanitarios como estructurales. Se recomienda su reemplazo progresivo por materiales más modernos y seguros, como el PVC o el polietileno de alta densidad (PEAD), priorizando las zonas de mayor antigüedad o aquellas con historial de fallas. Este plan de renovación debe integrarse a los proyectos de mantenimiento hidráulico o intervenciones viales, de manera que se optimicen los recursos y se eviten duplicidades en la ejecución.

Asimismo, se considera fundamental elaborar una cartografía detallada del sistema actual, que incluya trazado, diámetros, materiales, cotas topográficas y localización de elementos hidráulicos (válvulas, ventosas, hidrantes, etc.), como insumo base para cualquier estudio técnico o intervención futura.

En cuanto al diseño propuesto, este cumple con los lineamientos técnicos establecidos en la normativa vigente. No obstante, debe considerarse un anteproyecto de referencia, sujeto a ajustes una vez se disponga de levantamientos topográficos de mayor resolución, pruebas hidráulicas in situ y un estudio de factibilidad técnico-económica que valide su implementación a escala real.

Por último, es clave la incorporación de sistemas de limpieza hidráulica, mediante descargas controladas o mecanismos de lavado por sectores, tal como se planteó en el capítulo correspondiente. Estas acciones permitirán evitar la acumulación de sedimentos, garantizar la calidad del agua distribuida y prolongar la vida útil de la red.

## 8. CONCLUSIONES

- El diagnóstico evidenció múltiples deficiencias en el sistema actual del municipio de El Peñón, particularmente en cuanto a pérdidas de caudal, presiones inadecuadas y el uso de materiales obsoletos como el Gress. A través del modelado hidráulico en EPANET, se identificaron puntos críticos con deficiencias significativas de presión, lo que permitió establecer con precisión las necesidades de intervención. Esta información fue esencial para la posterior propuesta de rediseño del sistema.
- De acuerdo con el análisis de las cuencas en ARCGIS PRO se observa que morfológicamente las cuencas son parecidas en área, pendiente, y datos de precipitación, dando como resultado la transposición de caudales, mediante el cual se pudo hallar el caudal medio y caudal ambiental para la el diseño del tanque se regulación planteado.
- El estudio de hidrológico comparativo entre las cuencas de La Palma y El Peñón permitió estimar el comportamiento del recurso hidrológico teniendo en cuenta las similitudes topográficas y climáticas junto a factores de cálculo de datos morfológicos como área, pendiente, precipitación, mediante el método de transposición de caudales, permitiendo determinar el calculo de caudal ambiental y caudal de diseño para el dimensionamiento del tanque de regulación planteado, dando como resultado dos escenarios críticos para un caudal mínimo de 0,8 l/s para eventos de desabastecimiento extremo cumpliendo con el funcionamiento del sistema, para condiciones normales el Q50 estimado en 3,12 l/s permite que el tanque alcance su volumen en apróx. 15 horas evidenciando eficiencia del sistema en condiciones promedio y recuperación en condiciones de variación de demanda.
- Por consiguiente, dando como resultado el caudal ambiental mínimo Q25 de 1.03 l/s, representa el volumen de agua que debe mantener de manera permanente el cauce para presentar los procesos ecológicos fundamentales garantizando la sostenibilidad del sistema y dando cumplimiento a la normatividad ambiental vigente.
- El diseño del tanque de regulación de agua cruda garantiza una autonomía operativa mínima de 24 horas en condiciones de emergencia, respaldando la continuidad del suministro incluso ante caudales bajos o interrupciones temporales de la captación.
- Se definió un volumen total 115,78 m<sup>3</sup>, calculado con base en el balance entre el consumo diario proyectado y el volumen remanente que permite

mantener una reserva estratégica para la operación del sistema, con lo que se identificaron 2 escenarios:

- Operación con un caudal mínimo de 0,8 L/s, correspondiente a una situación de estrés hídrico extremo, En este caso, el volumen de regulación propuesto garantiza el suministro continuo durante 24 horas, asegurando el caudal de diseño incluso en condiciones críticas.
- Operación con un caudal de 3,12 L/s (Q50), representativo de condiciones normales en la cuenca. Este caudal supera el valor proyectado para la demanda media (2,14 L/s), permitiendo una operación eficiente de la planta y el llenado del tanque en 15 horas, dentro del rango aceptable. (Entre 16 y 24 horas según el tiempo de llenado)
- Con lo anterior, la propuesta de volumen de regulación no solo responde a la necesidad de abastecimiento continuo, sino que también se ajusta a los límites normativos y a las condiciones aproximadas de la cuenca, haciendo viable su implementación técnica y ambientalmente.
- Las simulaciones realizadas permitieron verificar que el sistema diseñado cumple con los rangos normativos de presión (10–50 m.c.a) y caudal, especialmente en las zonas críticas. Se propusieron ajustes en los diámetros de tubería, materiales y ubicación de válvulas de control, con el fin de garantizar un funcionamiento eficiente, reducir pérdidas y mejorar la calidad del servicio. La red diseñada es técnicamente viable y responde a las condiciones topográficas y operativas del municipio.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

<sup>1</sup> Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, *Glosario de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo*, Bogotá, Colombia, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/glosariodelosserviciosdeacueductoalcantarilladoyaseo.pdf>

[2] “Gobernanza del agua en Cundinamarca para garantizar un derecho,” *Revista Republicana*, [En línea]. Disponible: <https://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/revistarepublicana/article/view/20/19>. [Accedido: 09-may-2025].

[3] Gobernación de Cundinamarca. *Plan Departamental de Agua – Informe Congreso MINAMBIENTE 2011*. [En línea]. Disponible en: [https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Informe\\_Congreso\\_MINAMBIENTE\\_2011.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Informe_Congreso_MINAMBIENTE_2011.pdf)

[4] CAR Cundinamarca. *Informe de seguimiento al recurso hídrico – Subzona Río Negro*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/6104e145ba238.pdf>

[5] AJUSTE, ACTUALIZACIÓN, TERMINACIÓN O FORMULACIÓN DE PLANES MAESTROS DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN ZONAS URBANAS Y CENTROS NUCLEADOS DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. SUBZONA 4<sup>a</sup>.

[6] Chow, *Open-Channel Hydraulics*, International Student Edition. New York: McGraw-Hill, 1959, p. 159

[7] F. Corcho Romero and J. I. Duque Serna, *Acueductos: Teoría y Diseño*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín, 2010, p. 13

[8] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto*, República de Colombia, 2017, p. 37.

[9] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto*, República de Colombia, 2017, p. 39.

- [10] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto*, República de Colombia, 2017, p. 39.
- [11] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, 3rd ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2014, pp. 185-190.
- [12] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, 3rd ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2014, pp. 185-190
- [13] S. P. Venkatesh, "Pressure Loss Calculation in Pipe Flow," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 120, no. 4, pp. 453–460, 2021.
- [14] M. L. Munson, D. F. Young, y T. H. Okiishi, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 8th ed., Hoboken, NJ: Wiley, 2016.
- [15] E. F. Brater, H. W. King, J. E. Lindell, and C. Y. Wei, *Handbook of Hydraulics for the Solution of Hydraulic Engineering Problems*, 7th ed. Boston, MA: McGraw-Hill, 1996, pp. 6.1-6.2.
- [16] *Hidráulica de tuberías: Abastecimiento de agua, redes y riegos*, 4ª ed., Bogotá, Colombia: Alfaomega Colombiana, 2019, p. 148
- [17] N. S. Chuquín Vasco, J. P. Chuquín Vasco, y D. A. Chuquín Vasco, *Hidráulica en tuberías y accesorios (Válvulas industriales): Pérdidas, casos reales de aplicación y selección de bombas centrífugas*, 4a ed. Guayaquil, Ecuador: Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE), 2020, p. 51
- [18] Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño, Construcción y Operación de Tanques de Regulación para Abastecimiento de Agua Potable*, Ciudad de México, México, diciembre 2007, p. 10.
- [19] *Notas de clase para un curso de ecuaciones diferenciales*, Fondo Editorial EIA, 2019, ISBN 978-958-52367-4-5
- [20] G. J. Castaño Chica, *Notas de clase para un curso de ecuaciones diferenciales*, Fondo Editorial EIA, 2019, ISBN 978-958-52367-4-5.
- [21] Chow, *Open-Channel Hydraulics*, International Student Edition. New York: McGraw-Hill, 1959, p. 159
- [22] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), "Curvas de duración de caudales: metodología y aplicación en cuencas no instrumentadas", 2018. [Enlace: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac67c2184f22.pdf>]
- [23] El Peñón, Cundinamarca, *Plan Territorial de Salud 2008-2011 – El Peñón, Cundinamarca*, Alcaldía Municipal de El Peñón, 2008. [Enlace:

<https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/24317/28765-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]

[24] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000*, Bogotá, D.C., 2010. [Enlace](#)

[25] **El Peñón, Cundinamarca**, *Plan Territorial de Salud 2008-2011 – El Peñón, Cundinamarca*, Alcaldía Municipal de El Peñón, 2007. [Enlace: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/24317/28765-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]

[26] Gobernación de Cundinamarca, *SEGUNDO LIBRO MEMORIA HISTÓRICA*, 2023. [Enlace].

[27] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, *Resolución 330 de 2017, Por la cual se establecen los criterios para el uso, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico*, Bogotá, Colombia, 2017.

[28] Organización Meteorológica Mundial (OMM), *Guide to Hydrological Practices, Volume I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*, 6.ª ed., Ginebra, Suiza, 2008. [En línea]

[29] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *Resolución 330 de 2017: Por la cual se establecen los criterios para el uso, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico*, Bogotá, Colombia, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ae22eb8f1daa.pdf>.

[30] *Guía metodológica para la evaluación del recurso hídrico superficial en Colombia*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, Colombia, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.ideam.gov.co/web/agua/protocolos-procedimientos-y-metodologias>

[31] *Manual técnico para la estimación de caudales en cuencas sin aforo – Técnica de transposición regional de caudales*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, Colombia, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.ideam.gov.co/web/agua/protocolos-procedimientos-y-metodologias>

[32] Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), *Metodología para la estimación del caudal ambiental en Colombia*, Bogotá, Colombia, 2011. [En línea]. Disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.anla.gov.co/documentos/ciudadania/03\\_partic\\_ciudadana/con-pub/Metodologia\\_Caudal\\_Ambiental.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.anla.gov.co/documentos/ciudadania/03_partic_ciudadana/con-pub/Metodologia_Caudal_Ambiental.pdf)

[33] República de Colombia, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000, Título B: Diseño de sistemas de acueducto, Sección 9.4.12. Tanques de almacenamiento, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000*

## 10. ANEXOS

- Anexo No.1. Planos
  - Anexo No 1.1. DWG
    - Anexo No 1.1.1. Red de acueducto
    - Anexo No 1.1.2. Tanque1
  - Anexo No 1.2. PDF
    - Anexo No. 1.2.1. Red de acueducto-Planta Red de acueducto
    - Anexo No.1.2.2. Red de acueducto-Lista de tuberías
    - Anexo No.1.2.3. Tanque1-01 de 02
    - Anexo No. 1.2.4. Tanque1-02 de 02
- Anexo No.2. Mapas de Coberturas
  - Anexo No. 2.1. CUENCAS DE ESTUDIO
  - Anexo No. 2.2 MAPA COBERTURAS
- Anexo No.3. Memorias de Calculo
  - Anexo No.3.1. Excel
    - Anexo No. 3.1.1. CALCULO TRANSPOSICIÓN CAUDALES
    - Anexo No. 3.1.2. Proyección de población
    - Anexo No. 3.1.3. Dimensionamiento Tanque de agua cruda
    - Anexo No. 3.1.4. Cálculos por nodos
  - Anexo No.3.2. Epanet
    - Anexo No. 3.2.1. Diagnostico
    - Anexo No. 3.2.2. Diseño de la red inicial
    - Anexo No. 3.2.3. Diseño de la red
  - Anexo 3.3 ArcGIS