

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO METODOLÓGICO DEL  
SISTEMA DE ACUEDUCTO VEREDAL EN LA VEREDA LA HERMOSA, EN  
EL MUNICIPIO DE LA PALMA, CUNDINAMARCA.**

BRAYAN SEBASTIAN MORENO GARCIA  
SARA VALENTINA URDANETA VALERO



**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C, 2024**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO METODOLÓGICO DEL  
SISTEMA DE ACUEDUCTO VEREDAL EN LA VEREDA LA HERMOSA, EN  
EL MUNICIPIO DE LA PALMA, CUNDINAMARCA.**

BRAYAN SEBASTIAN MORENO GARCIA  
SARA VALENTINA URDANETA VALERO

Trabajo para optar al título de ingeniero civil

**Director Ingeniero Felipe Santamaria Alzate**



**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C, 2024**

**Página de aceptación**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradecemos a nuestras madres, por el amor brindado, la dedicación y la paciencia, por ser nuestra compañía. Gracias por proporcionarnos confianza, por desearnos y anhelar la mejor vida para nosotros, por cada palabra que nos seguirá guiando en nuestra vida.

Agradecemos a nuestra directora de tesis, al ingeniero Felipe Santamaria Alzate, por sus valiosas aportaciones y sugerencias para enriquecer esta investigación, sus conocimientos fueron esenciales para culminar con éxito esta etapa.

Agradecemos inmensamente a nuestra universidad Piloto de Colombia por guiarnos en este gran camino, por aceptarnos y acogernos para estudiar esta gran carrera, así también a los docentes que nos compartieron sus conocimientos y forjaron nuestro carácter para seguir adelante día a día.

## Tabla de contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>10</b>
<b>Línea de investigación .....</b>	<b>10</b>
<b>Formulación del problema.....</b>	<b>11</b>
<b>Justificación del estudio .....</b>	<b>12</b>
<b>1. Objetivos de la investigación .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Objetivo general.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Marco geográfico .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Ubicación de la Palma .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Ubicación de la vereda la hermosa.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Límites de la vereda.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Vegetación y uso del suelo.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 Aspectos climatológicos .....</b>	<b>16</b>
2.5.1 Temperatura.....	16
2.5.2 Nubes.....	17
2.5.3 Precipitación .....	18
2.5.4 Lluvia.....	19
2.5.5 Humedad.....	20
2.5.6 Información meteorológica.....	20
<b>3. Marco teórico .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Acueducto veredal.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Parámetros para el diseño de acueducto .....</b>	<b>22</b>
3.2.1 Población de diseño .....	22
3.2.2 Periodo de diseño.....	22
3.2.3 Demanda del sistema .....	22
3.2.4 Dotación neta máxima .....	22
3.2.4.1 Ajuste por población flotante .....	23
3.2.5 Dotación bruta .....	23
3.2.6 Caudales de diseño .....	23
3.2.6.1 Caudal medio diario (Qmd) .....	24
3.2.6.2 Caudal máximo diario (QMD).....	24
3.2.6.3 Caudal máximo horario (QMH).....	24
<b>3.3 Componentes del sistema de acueducto .....</b>	<b>25</b>
3.3.1 Bocatoma .....	25
3.3.1.1 Requisitos para el diseño de estructuras de captación de agua.....	25
3.3.1.2 Ecuaciones para el diseño de la bocatoma .....	26
3.3.2 Aducciones y conducciones.....	32
3.3.2.1 Requisitos para el diseño de aducciones y conducciones.....	33
3.3.3 Desarenador.....	33
3.3.3.1 Requisitos para el diseño de desarenadores .....	34
3.3.3.2 Diseño de desarenadores .....	34

3.3.4	Tanque de almacenamiento .....	44
3.3.4.1	Requisitos para el diseño de tanques de almacenamiento .....	45
3.3.4.2	Diseño del tanque de almacenamiento .....	45
3.3.5	Red de distribución.....	49
3.3.5.1	Modelación hidráulica.....	50
<b>3.4</b>	<b>Datos hidrológicos.....</b>	<b>50</b>
3.4.1	Información cartográfica .....	50
3.4.2	Morfometría de cuencas .....	52
3.4.3	Delimitación de la cuenca hidrográfica .....	52
3.4.4	Parámetros generales de la cuenca.....	53
3.4.4.1	Área de la cuenca .....	53
3.4.4.2	Longitud de la cuenca .....	53
3.4.4.3	Ancho de la cuenca .....	54
3.4.4.4	Desnivel longitudinal .....	54
3.4.4.5	Perímetro longitudinal.....	54
3.4.5	Parámetros para la caracterización del relieve de la cuenca .....	54
3.4.5.1	Altura media de la cuenca .....	54
3.4.5.2	Pendiente media de la cuenca .....	55
3.4.5.3	Pendiente media de del cauce principal .....	55
3.4.5.4	Orden de drenaje .....	55
3.4.5.5	Densidad de drenaje .....	56
3.4.5.6	Cálculo de caudal según el área de la cuenca.....	56
3.4.5.7	Factor de escorrentía (C).....	57
3.4.5.8	Intensidad de la lluvia. ....	58
3.4.5.9	Análisis de la variación temporal de la precipitación.....	58
3.4.5.10	Tiempos de concentración.....	61
3.4.5.11	Curvas I.D.F.....	61
3.4.5.12	Análisis de caudales medios.....	63
3.4.5.13	Caudal medio mensual multianual .....	63
3.4.5.14	Cálculo de niveles mínimos .....	64
3.4.5.15	Cálculo de niveles máximos.....	65
<b>4.</b>	<b>Diseño metodológico .....</b>	<b>66</b>
<b>4.1</b>	<b>Información demográfica.....</b>	<b>66</b>
<b>4.2</b>	<b>Cálculo de la población futura.....</b>	<b>67</b>
4.2.1	Método aritmético.....	67
4.2.2	Método geométrico.....	67
4.2.3	Método exponencial .....	68
<b>4.3</b>	<b>Cálculo de la dotación neta .....</b>	<b>69</b>
<b>4.4</b>	<b>Cálculo de la dotación bruta .....</b>	<b>70</b>
<b>4.5</b>	<b>Cálculo de caudales.....</b>	<b>70</b>
4.5.1	Caudal medio diario.....	70
4.5.2	Caudal máximo diario .....	71
4.5.3	Caudal máximo horario .....	71
4.5.4	Caudal de diseño por componente .....	72
<b>4.6</b>	<b>Diseño de la bocatoma .....</b>	<b>73</b>
<b>4.7</b>	<b>Diseño del desarenador .....</b>	<b>77</b>
<b>4.8</b>	<b>Diseño del tanque de almacenamiento .....</b>	<b>84</b>
<b>4.9</b>	<b>Diseño de la red de distribución .....</b>	<b>87</b>
4.9.1	Modelación hidráulica .....	87
4.9.2	Resultados de la modelación hidráulica.....	88
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>93</b>

<b>Bibliografia.....</b>	<b>95</b>
--------------------------	-----------

### Tabla de ilustraciones

<b>Ilustración 1. Ubicación de La Palma.....</b>	<b>14</b>
<b>Ilustración 2. Clima del municipio La Palma .....</b>	<b>16</b>
<b>Ilustración 3. Temperatura del municipio La Palma.....</b>	<b>17</b>
<b>Ilustración 4. Categorías de nubosidad en el municipio La Palma.....</b>	<b>18</b>
<b>Ilustración 5. Precipitación diaria .....</b>	<b>19</b>
<b>Ilustración 6. Promedio mensual de lluvia.....</b>	<b>19</b>
<b>Ilustración 7. Niveles de comodidad de la humedad .....</b>	<b>20</b>
<b>Ilustración 8. Estaciones hidrometeorológicas cercanas.....</b>	<b>21</b>
<b>Ilustración 9. Esquema de flujo sobre vertedero y rejilla.....</b>	<b>31</b>
<b>Ilustración 10. Esquema general dimensiones el canal recolector .....</b>	<b>32</b>
<b>Ilustración 11. Zonas del desarenador .....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 12. Esquema del desarenador .....</b>	<b>44</b>
<b>Ilustración 13. Curva de consumos acumulados .....</b>	<b>47</b>
<b>Ilustración 14. Mapa de modelo digital de terreno .....</b>	<b>51</b>
<b>Ilustración 15. Mapa de curvas de nivel.....</b>	<b>51</b>
<b>Ilustración 16. Cuenca hidrográfica .....</b>	<b>53</b>
<b>Ilustración 17. Perfil longitudinal del cauce principal.....</b>	<b>55</b>
<b>Ilustración 18. Orden de drenaje de la cuenca de estudio .....</b>	<b>56</b>
<b>Ilustración 19. Precipitación máxima en 24 horas – estación Los Tiestos. ....</b>	<b>60</b>
<b>Ilustración 20. Curvas IDF .....</b>	<b>62</b>
<b>Ilustración 21. Curva de caudales mínimos multianuales .....</b>	<b>64</b>
<b>Ilustración 22. Curva de caudales mínimos multianuales .....</b>	<b>65</b>
<b>Ilustración 23. Modelación HEC HMS para la vereda La Hermosa.....</b>	<b>66</b>
<b>Ilustración 24. Red de acueducto .....</b>	<b>88</b>
<b>Ilustración 25. Diámetros de diseño.....</b>	<b>89</b>
<b>Ilustración 26. Presiones en la red de distribución.....</b>	<b>90</b>
<b>Ilustración 27. Ubicación de válvulas reguladoras.....</b>	<b>91</b>
<b>Ilustración 28. Perfil de elevación de la red principal.....</b>	<b>92</b>

## Contenido de tablas

<b>Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 2. Caudales de diseño .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 3. Valores de Y/Yc vs Y/E en bocatoma sumergidas .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 4. Valores del coeficiente de descarga en rejillas (bocatoma sumergida).....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 5. Relación entre diámetro de partículas y velocidad de sedimentación .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 6. Valores de a/t .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 7. Coeficiente de escorrentía.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 8. Parámetros de ajuste de la regresión.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 9. Precipitación máxima en 24 horas (mm).....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 10. Precipitación máxima (mm) .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 11. Tiempos de concentración .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 12. Cálculo intensidad .....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 13. Caudal máximo para el tiempo de concentración de la cuenca .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 14. Características de las cuencas aledañas a la zona de estudio .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 15. Población SISBÉN.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 16. Cálculo de población proyectada a 2048, por el método aritmético, geométrico y exponencial.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 17. Dotación neta según m.s.n.m .....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 18. Factor de mayoración K1 .....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 19. Factor de mayoración K2 .....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 20. Factor cálculo de caudales de diseño en función de la población.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 21. Caudales de diseño .....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 22. Datos hidrológicos “Quebrada La Hermosa” .....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 23. Criterios de diseño para el cálculo de caudal a la entrada de la rejilla .....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 24. Valores del coeficiente de descarga en rejillas (bocatoma sumergida).....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 25. Criterios para el diseño de la rejilla.....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 26. Parámetros de diseño .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 27. Parámetros de diseño .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 28. Parámetros de diseño .....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 29. Presiones de diseño.....</b>	<b>90</b>

## **Introducción**

La provisión de agua potable en zonas rurales es un desafío importante, ya que las áreas rurales a menudo carecen de la infraestructura necesaria para proporcionar agua potable de manera segura y confiable. El saneamiento y acceso a agua potable es un reto que asumen los gobiernos nacionales, departamentales y municipales en Colombia, “por lo menos 3 millones de las personas que habitan el campo colombiano (11.653.673 personas) no cuentan con acceso a los servicios básicos de agua potable, y más de la mitad se encuentran sin acueductos y alcantarillados, lo cual equivale al 28% de la población rural colombiana.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2019).

Por esta situación existen más de 26 enfermedades ocasionadas debido al consumo de agua no tratada, estas enfermedades son causadas por microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua contaminada, ya que esta es captada por medios irregulares, estos métodos dependen de la geografía de la zona, la disponibilidad del recurso y las necesidades de los habitantes.

En la vereda La Hermosa ubicada en el municipio La Palma se han presentado un sinnúmero de esfuerzos para que sus habitantes puedan acceder al servicio de agua potable, el suministro de agua potable en las veredas, que son áreas rurales y suburbanas pequeñas, puede ser un desafío debido a la falta de infraestructura desarrollada y recursos limitados. Sin embargo, es fundamental garantizar que las comunidades en las veredas tengan acceso a agua potable segura para promover la salud y el bienestar de sus habitantes.

Por lo anterior se tiene el fin de diseñar un acueducto veredal que garantice el suministro de agua potable a los habitantes de la vereda La Hermosa.

## **Línea de investigación**

Sostenibilidad de la Infraestructura

### **Formulación del problema**

En el municipio La Palma se encuentra ubicada la vereda La Hermosa la cual ha presentado la ausencia de un acueducto por muchos años y debido a esto han tenido que abastecerse de fuentes hídricas cercanas o directamente desde las quebradas. Los métodos de captación convencionales que se utilizan son pozos profundos, que consisten en la construcción de un depósito que almacene el flujo superficial resultante del yacimiento de agua, este flujo no está protegido de la suciedad que ocasione un animal o de la misma comunidad, otra metodología de obtención es la de desviar un porcentaje del cauce de la quebrada para dirigirla a través de mangueras o canales ya sea a un tanque de almacenamiento cercano o directamente a la vivienda, cabe recalcar que las quebradas por lo general tienen su origen en otra vereda y no se sabe el uso o vertimientos que tenga en su trayecto, frente a esto las personas deben hacer sus propias instalaciones para la captación de agua lo que presenta problemáticas. ¿Cuál es el diseño óptimo de un acueducto veredal que pueda brindar un servicio de agua potable para la vereda La hermosa en el municipio de la Palma Cundinamarca?

### **Justificación del estudio**

La falta de un acueducto veredal es de suma importancia para la comunidad, ya que es uno de los servicios que desarrollan un papel fundamental brindando el suministro de agua potable, lo que es esencial para la supervivencia y la salud de las personas, esto reduce la dependencia de fuentes de agua locales que pueden ser inadecuadas e insalubres, los habitantes de esta vereda recurren a la captación del agua de manera inadecuada lo que conlleva al consumo del agua localizada en pequeños pozos excavados por ellos mismos, los cuales provienen de la quebrada La Chorrera ubicada en la parte alta de la vereda.

Como finalidad de este proyecto se desea realizar la propuesta del diseño de un acueducto en la vereda La Hermosa generando estrategias de participación en la gestión comunitaria para el acceso al agua y su calidad, protegiendo así la salud pública y ambiental e implementando la conservación de las fuentes hídricas, de esta manera los habitantes podrán contar con un sistema adecuado y óptimo el cual supla con las necesidades de las viviendas que se encuentran en el lugar, entregando así agua potable.

Debido a que se ha reflejado un crecimiento en la población, a futuro si la captación de agua continuará de la manera tradicional esta no alcanzará a abastecer a toda la comunidad, es por esto que desde la parte de ingeniería civil queremos ayudar a promover el bienestar colectivo creando un sentido de pertenencia y facilitando la construcción de soluciones más efectivas adaptadas a las necesidades locales.

## **1. Objetivos de la investigación**

### **1.1 Objetivo general**

Presentar a la comunidad y a las entidades territoriales el diseño de un acueducto veredal el cual sea óptimo para la vereda La Hermosa cumpliendo con los estándares de calidad mencionada en la norma vigente entregando así agua potable a la vereda mencionada.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Identificar los problemas de infraestructura que presenta la comunidad en la obtención del recurso hídrico.
- Plantear el diseño de un acueducto veredal como propuesta para mejorar la calidad de vida de los habitantes.
- Diseñar la red de acueducto veredal el cual sea óptimo para brindar agua potable a la vereda La Hermosa cumpliendo con los estándares de calidad mencionada en la norma vigente.

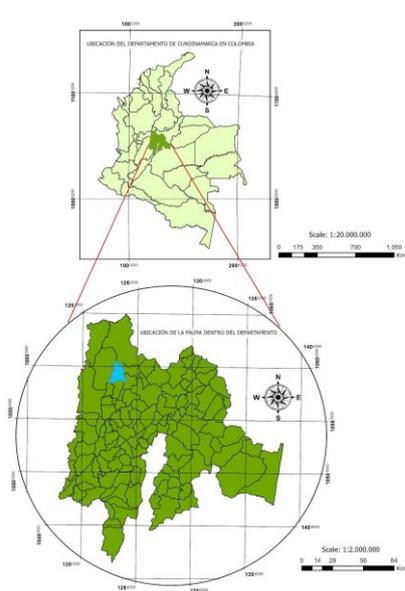
## 2. Marco geográfico

### 2.1 Ubicación de la Palma

La Palma ubicada al noroccidente del Departamento de Cundinamarca, a 150 km de la ciudad de Bogotá, cuenta con 56 veredas y el casco urbano lo conforman 26 barrios, limita al norte con el municipio de Yacopí, al oriente con Topaipí, al sur con Utica y La Peña, al occidente con Caparrapí. Su clima oscila entre los 25°C y se podría clasificar como un clima templado. Debido a su zona geográfica su relieve es montañoso, el municipio es bañado por el rio Murca, Rio negro y numerosas quebradas.

El municipio cuenta con un área total de 19621, 7 hectáreas (ha) de las cuales la Vereda de la Hermosa ocupa 212,9 ha equivalentes al 1,09% de su territorio.

#### Ilustración 1. Ubicación de La Palma

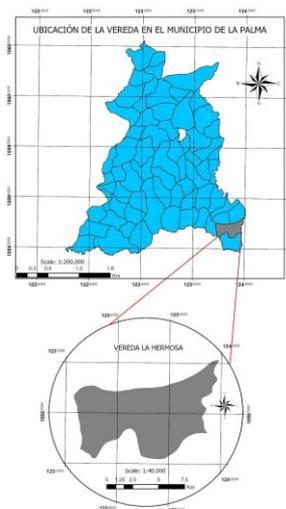


Fuente: Elaboración propia

### 2.2 Ubicación de la vereda la hermosa

La vereda de la hermosa se ubica en la parte sur del municipio, casi al límite con el municipio de la Peña, otra característica es que a la vereda la atraviesa la carretera intermunicipal (la más importante del municipio) que la conecta con el municipio de Pacho y posteriormente con Zipaquirá y Bogotá.

## Ilustración 2. Ubicación de la vereda



Fuente: Elaboración propia

### 2.3 Límites de la vereda

La vereda La Hermosa limita al norte con la vereda de El Potrero y la vereda Montañas Pastales, al sur con la vereda Rionegro, al oriente con el Río Murca que la separa con el municipio de El Peñón y al occidente con la vereda Hinche Bajo.

### 2.4 Vegetación y uso del suelo

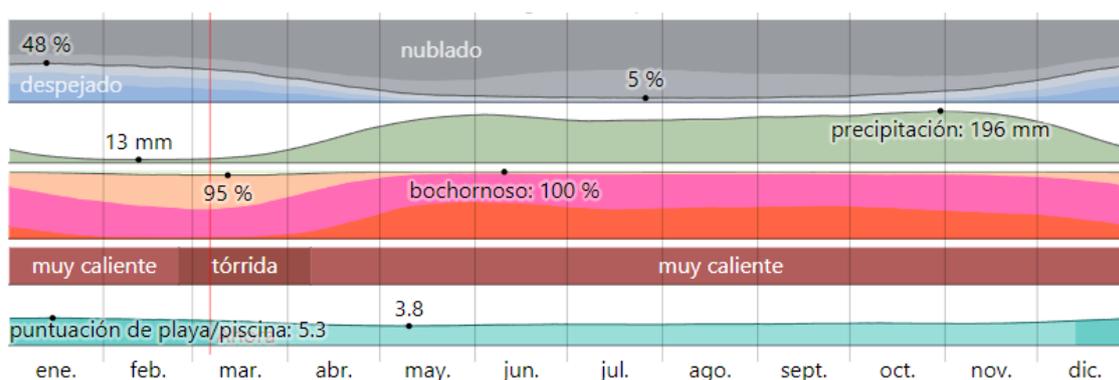
El suelo es un recurso natural fundamental que desempeña un papel crítico en la vida de las personas y el funcionamiento de los ecosistemas. Es importante destacar que el uso del suelo debe llevarse a cabo de manera responsable y sostenible para preservar su calidad y evitar la degradación del suelo, que puede tener efectos negativos a largo plazo en la producción de alimentos, la salud del ecosistema y el medio ambiente en general. “El 31% del área del municipio está cubierto por bosques ubicados en las partes altas del municipio y generalmente correspondientes a bosques andinos y subandinos. Los cultivos permanentes herbáceos y arbustivos (caña panelera, plátano, yuca, maíz, café) con un 36,58% que se distribuyen en todo el municipio. Los pastos son una cobertura representativa y ocupan generalmente el sector oriental del municipio.” (EOT, 2003)

Para llegar a esta vereda se hace por medio de la vía que comunica el municipio de Pacho con el centro urbano de La Palma, dicha vía atraviesa la vereda, como medio de transporte público existe flota de buses que opera todos los días saliendo de Bogotá a partir de las 4 de la mañana hasta las 4 de la tarde, con un intervalo de tiempo entre buses de una hora aproximadamente.

## 2.5 Aspectos climatológicos

En el municipio de la Palma Cundinamarca los veranos se presentan de manera corta y mayormente son nublados; los inviernos se presentan por temporadas largas, calurosos, mojados y esta opresivo durante todo el año. La temperatura generalmente varía de 21°C a 36°C y pocas veces menos de 19°C o sube más de 38°C. (Weather Spark)

**Ilustración 2. Clima del municipio La Palma**



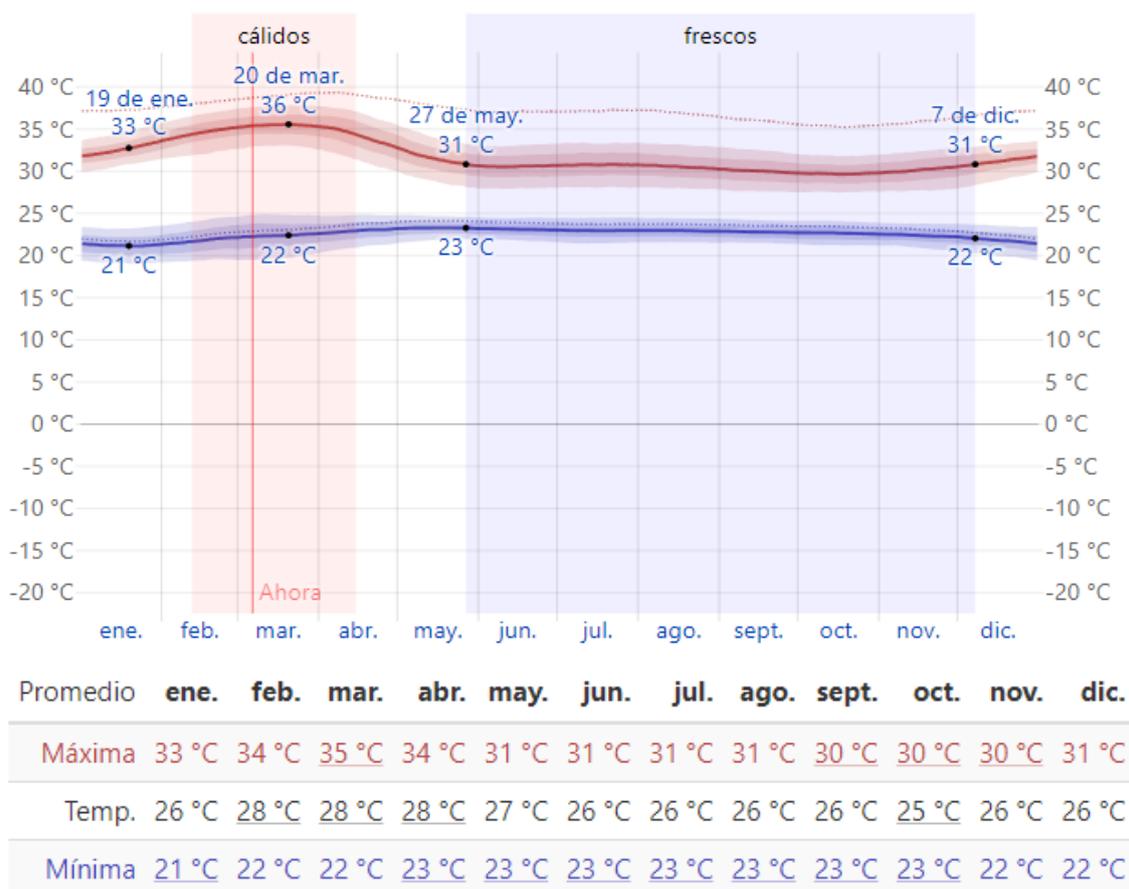
Fuente: WeatherSpark.com

### 2.5.1 Temperatura

En la temporada calurosa dura aproximadamente 2,1 meses, entre febrero y abril, y la temperatura máxima promedio diaria es de 34°C. El mes más cálido del año es en el mes de marzo, con una temperatura máxima de 35°C y mínima de 22°C.

La temporada fresca dura 6,4 meses, entre mayo y diciembre, siendo la temperatura máxima promedio diaria es menos de 31°C. El mes más frío del año es octubre, con una temperatura mínima de 23°C y máxima de 30°C. (Weather Spark)

**Ilustración 3. Temperatura del municipio La Palma**



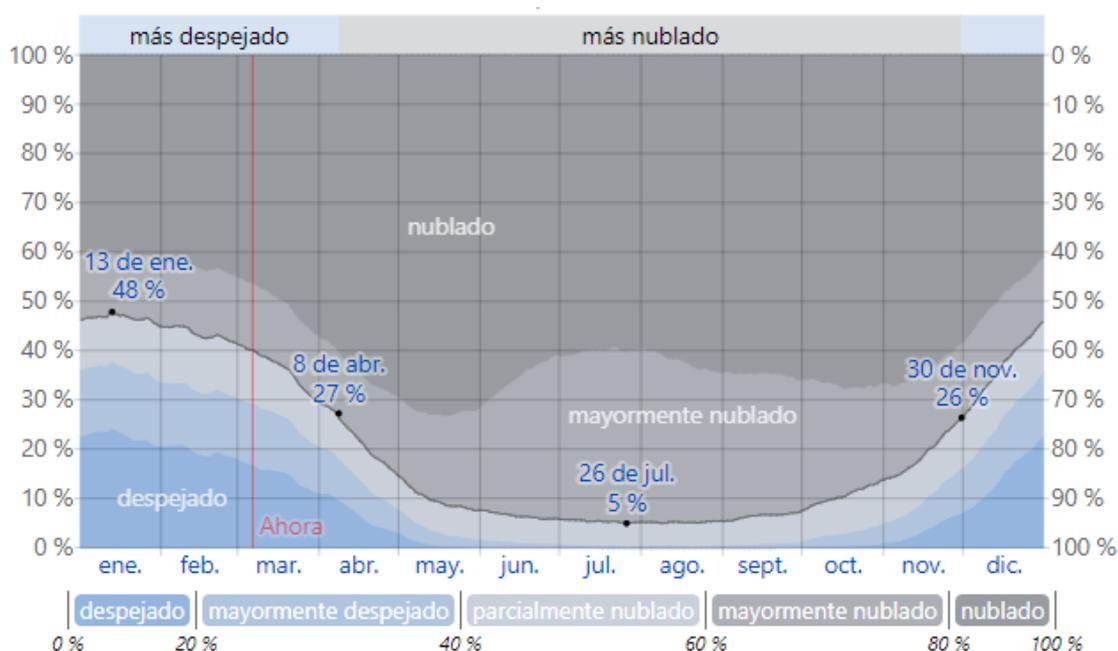
Fuente: WeatherSpark.com

### 2.5.2 Nubes

En el municipio el porcentaje del cielo cubierto con nubes varía considerablemente en el transcurso del año. La parte más despejada del año se da en el mes de noviembre y dura 4,3 meses y se termina a inicios del mes de abril.

En el mes de enero se presenta menor porcentaje de nubosidad, en promedio el cielo está despejado o parcialmente nublado el 47% del tiempo y el mes donde se presenta mayor nubosidad es en agosto. (Weather Spark)

#### Ilustración 4. Categorías de nubosidad en el municipio La Palma



El porcentaje de tiempo pasado en cada banda de cobertura de nubes, categorizado según el porcentaje del cielo cubierto de nubes.

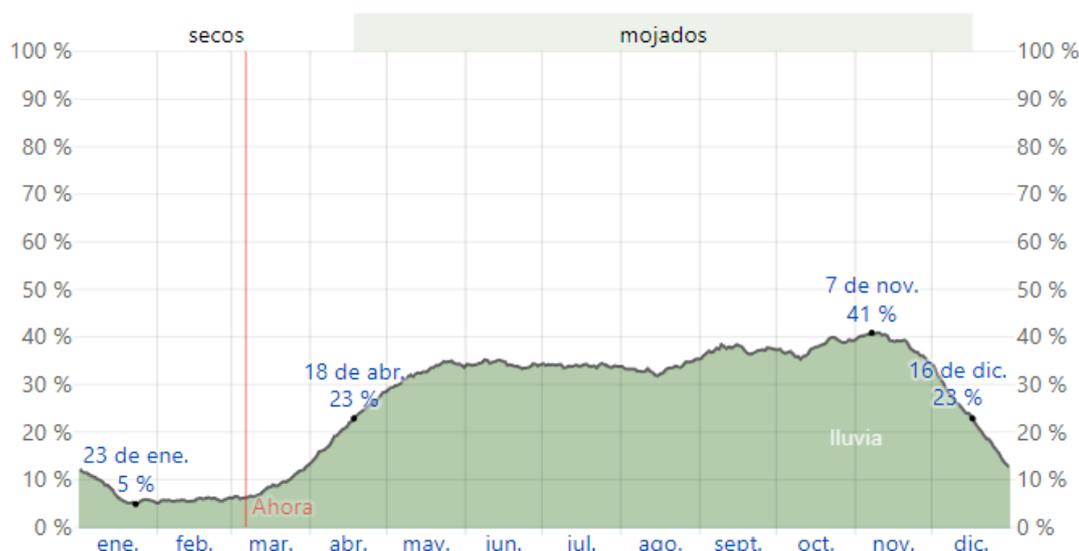
Fracción	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Más nublado	53 %	57 %	64 %	78 %	90 %	93 %	95 %	95 %	94 %	89 %	81 %	63 %
Más despejado	47 %	43 %	36 %	22 %	10 %	7 %	5 %	5 %	6 %	11 %	19 %	37 %

Fuente: WeatherSpark.com

### 2.5.3 Precipitación

La temporada más mojada dura 8 meses, de abril a diciembre, el mes con más precipitación es noviembre, con un promedio 11,6 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. En base a esta categorización, el tipo de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 41% en noviembre. (Weather Spark)

### Ilustración 5. Precipitación diaria



El porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitación, excluidas las cantidades ínfimas: solo lluvia, solo nieve, mezcla (llovió y nevó el mismo día).

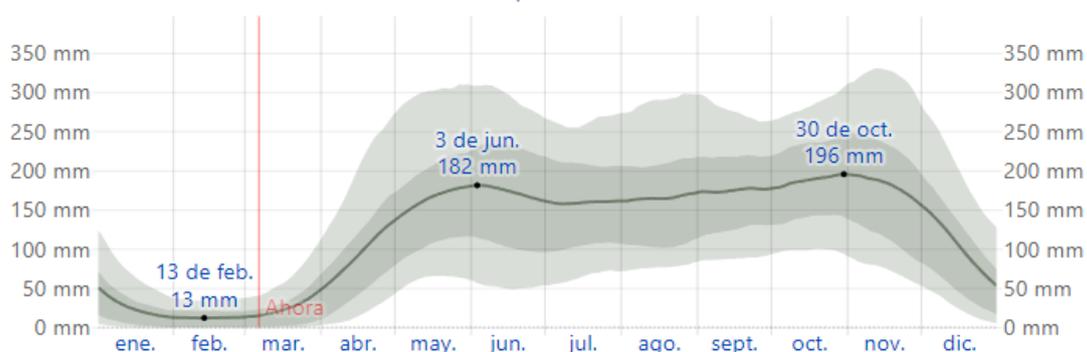
Días de	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.
Lluvia	2,4 días	<u>1,7 días</u>	2,7 días	6,4 días	10,1 días	10,3 días	10,5 días	10,4 días	11,2 días	<u>11,7 días</u>

Fuente: WeatherSpark.com

#### 2.5.4 Lluvia

El mes con más lluvia es octubre con un promedio de 189 milímetros de lluvia y el mes con menos lluvia es febrero con un promedio de 13 milímetros de lluvia. (Weather Spark)

### Ilustración 6. Promedio mensual de lluvia



La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo de 31 días en una escala móvil, centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°. La línea delgada punteada es la precipitación de nieve promedio correspondiente.

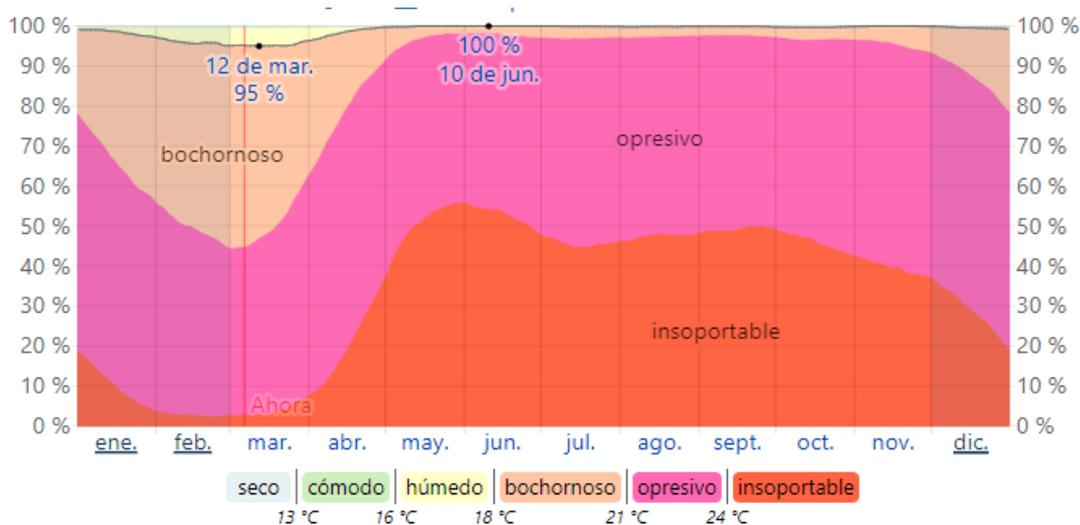
	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.
Lluvia	23,0mm	<u>12,5mm</u>	22,8mm	90,5mm	167,8mm	175,0mm	159,8mm	164,8mm	175,1mm	<u>188,8mm</u>

Fuente: WeatherSpark.com

### 2.5.5 Humedad

El nivel de humedad percibido en La Palma no varía considerablemente durante el año y permanece entre el 3% y el 98%.(Weather Spark)

**Ilustración 7. Niveles de comodidad de la humedad**

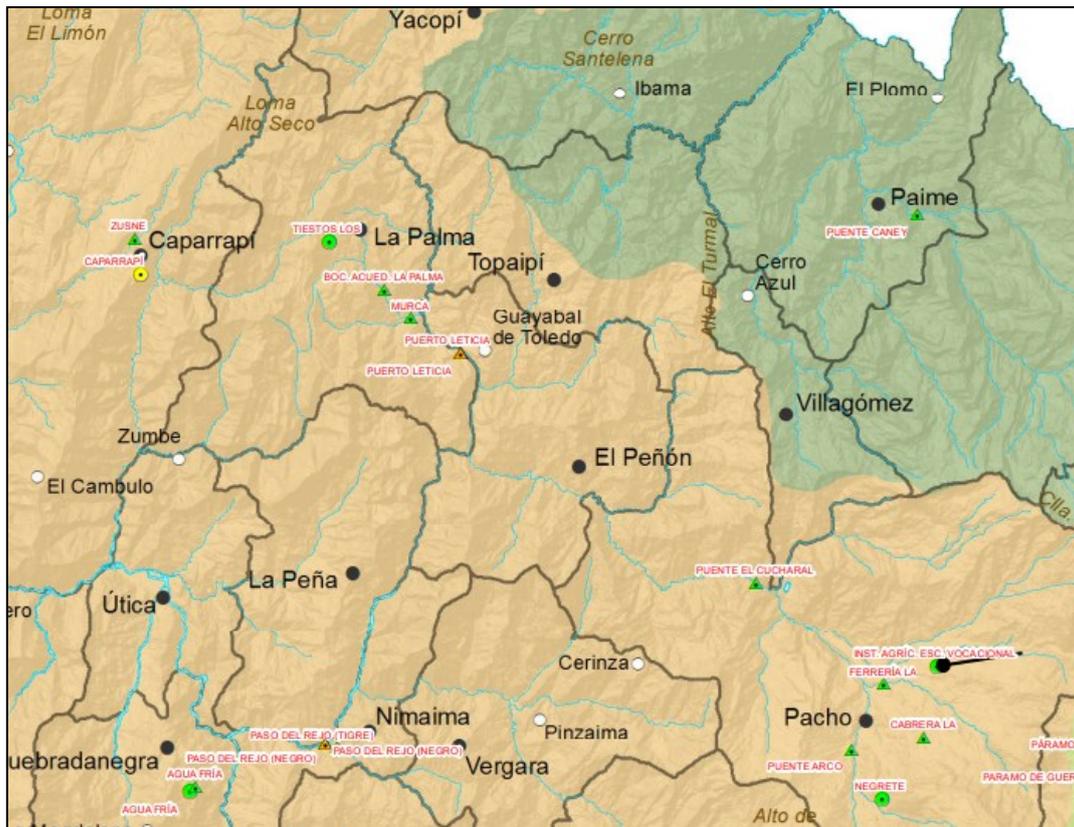


Fuente: WeatherSpark.com

### 2.5.6 Información meteorológica

En el municipio de la Palma existe la estación pluviométrica Los Tiestos instalada en el año 2002 y la estación pluviométrica Puerto Leticia instalada en el año 2006, las cuales se encuentran ubicadas en las veredas El Hato y Puerto Leticia respectivamente, estas estaciones nos brindaron información importante sobre valores mensuales máximos de precipitación en 24 horas y valores totales mensuales de precipitación en milímetros los cuales serán utilizados para la estimación de la intensidad.

### Ilustración 8. Estaciones hidrometeorológicas cercanas



Fuente: CAR, (5d27bcc108fde.pdf (car.gov.co))

## 3. Marco teórico

### 3.1 Acueducto veredal

Es una infraestructura de suministro de agua creada para abastecer de agua potable a los habitantes de una vereda o área rural. Una vereda es una subdivisión de un municipio o territorio rural que generalmente consta de un número limitado de viviendas dispersas en zonas rurales. Los acueductos veredales se diseñan y construyen para proporcionar agua potable a las comunidades rurales que no tienen acceso a sistemas de suministro de agua potable de las ciudades.

Dependiendo de las necesidades y recursos de la comunidad el acueducto pueden ser simples o más elaboradas, por lo general, implican la construcción de tuberías, canales o sistemas de conducción de agua que captan agua de fuentes naturales como ríos, arroyos o manantiales, la purifican si es necesario y la distribuyen a las viviendas y otros puntos de uso en la vereda. Los acueductos veredales son esenciales para garantizar que las comunidades rurales tengan acceso a agua limpia y segura para el consumo humano y otras necesidades básicas.

La implementación y mantenimiento de acueductos veredales suelen ser responsabilidad de las autoridades locales, organizaciones comunitarias o instituciones gubernamentales, a menudo se llevan a cabo en colaboración con agencias de desarrollo o financiamiento. Finalmente se mejoran las condiciones de vida, garantizando un acceso confiable y seguro.

### **3.2 Parámetros para el diseño de acueducto**

#### **3.2.1 Población de diseño**

Es el número de personas o unidades para las cuales se dimensiona y planifica el sistema de agua potable, se usa para determinar la capacidad y la infraestructura necesaria para suplir perfectamente las necesidades de agua potable.

#### **3.2.2 Periodo de diseño**

Se refiere en este caso, al periodo de tiempo para el que se planifica una infraestructura de abastecimiento de agua potable, es decir establece la duración que se espera que la infraestructura y sistemas de agua potable satisfagan las necesidades de la población y mantengan los estándares de calidad y seguridad establecidos en el reglamento técnico.

El RAS establece lo siguiente: “Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño 25 años”

#### **3.2.3 Demanda del sistema**

Se refiere en este caso a la cantidad de agua potable que necesita la población servida. La determinación de la demanda del sistema es un aspecto fundamental en el diseño, planificación y operación de los sistemas de agua potable, ya que permite dimensionar adecuadamente la infraestructura y los recursos necesarios para satisfacer las necesidades de la población de manera eficiente y sostenible.

#### **3.2.4 Dotación neta máxima**

La dotación neta máxima debe determinarse utilizando datos históricos sobre el consumo de agua potable de los habitantes. Se debe utilizar un valor de dotación que no supere los establecidos en la siguiente tabla.

**Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida**

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

Fuente: Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RES 330 de 2017 y 799 de 2021)

### 3.2.4.1 Ajuste por población flotante

Según el RAS debe ajustarse la dotación neta dado a factores turísticos, laborales, industriales y/o comerciales que representen población flotante.

### 3.2.5 Dotación bruta

Se refiere a la cantidad total de agua asignada por persona antes de considerar cualquier tipo de desperdicio.

$$D_{Bruta} = \frac{d_{neta}}{(1 - \%p)}$$

Donde:

$D_{Bruta}$  = Dotación bruta en L/Hab\*día.

$d_{neta}$  = Dotación neta en L/Hab\*día.

$\%p$  = Porcentaje de pérdidas máximas para diseño.

### 3.2.6 Caudales de diseño

Son flujos de agua calculados y dimensionados para el diseño y la operación correcta de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, se calculan teniendo en cuenta factores, como la población, periodo de diseño, altura sobre el nivel del mar, entre otros.

Pueden variar según el tipo de infraestructura y las características de la población a la que se diseña. Son esenciales para garantizar un correcto funcionamiento.

### 3.2.6.1 Caudal medio diario (Qmd)

Es una medida usada para representar la cantidad promedio de agua que fluye por un sistema de acueducto en un día normal, depende directamente de la dotación bruta y de la proyección de la población:

Siendo su ecuación:

$$Qmd = \frac{P * d_{bruta}}{86400}$$

Donde:

P= Población proyectada

$d_{bruta}$  = Dotación bruta en L/Hab\*día.

### 3.2.6.2 Caudal máximo diario (QMD)

Es una medida usada para representar la cantidad máxima de agua que fluye en un tiempo determinado a través de un sistema de abastecimiento de agua potable.

$$QMD = Qmd * K_1$$

Donde:

$K_1$  = Coeficiente de consumo máximo diario, se determina según la población, el RAS establece que para una población proyectada menor o igual de 12500 habitantes el valor de  $K_1$  no será mayor de 1.3 y para una población mayor a 12500 habitantes no será superior a 1.2.

### 3.2.6.3 Caudal máximo horario (QMH)

Es la demanda máxima estimada durante una hora específica del día, sin tener en cuenta el caudal de incendio. Es importante que un sistema de acueducto esté capacitado para cubrir adecuadamente estos picos de demanda sin comprometer la calidad del servicio.

$$QMH = QMD * K_2$$

Donde:

$QMD$  = Caudal máximo diario.

$K_2$  = Coeficiente de consumo máximo horario.

### **3.3 Componentes del sistema de acueducto**

#### **3.3.1 Bocatoma**

La Bocatoma es una estructura diseñada para captar el agua de una fuente natural, dirigiéndola hacia un sistema de distribución de agua, como un acueducto. En esta estructura se encuentran empotradas las rejas que permiten el paso de agua y retienen los sólidos flotantes. (OPS, 2004)

##### **3.3.1.1 Requisitos para el diseño de estructuras de captación de agua**

Según la Resolución 0330 de 2017 y 799 de 2021, para el diseño de las obras de captación de agua para el consumo humano deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Los diseños deben contemplar de manera integral el conocimiento de la hidrología, la geomorfología, y la hidráulica de la fuente de captación, se debe evitar la modificación o alteración de los cauces de agua.
2. La captación de agua debe ubicarse en tramos rectos del cauce, cuando esto no sea posible, debe localizarse en la orilla extrema de una curva o en una zona susceptible de erosión.
3. El diseño deberá garantizar la altura de los muros de protección y la estabilidad de la obra ante crecientes con periodos de retorno de 100 años, de igual manera se debe efectuar un estudio de riesgo ante deslizamientos, volcamientos, socavación y subpresión.
4. Las obras deben localizarse en zonas de acceso fáciles.
5. En los casos donde se requieran equipos de bombeo se debe garantizar la disponibilidad de energía eléctrica, ya sea por sistema interconectado o por otras alternativas.
6. Se debe garantizar que la zona cuente con los medios de protección necesarios, evitando la entrada de personas o animales.

### 3.3.1.2 Ecuaciones para el diseño de la bocatoma

Para el diseño de la bocatoma se aplican las ecuaciones de canales, a continuación, se describe el procedimiento para diseñar este tipo de captaciones:

#### 1. Caudal de entrada a la rejilla

Para determinar el caudal mínimo que para por la zona central de la rejilla es necesario partir del caudal mínimo que abastece la cuenca, este dato se obtendrá del estudio hidrológico. La ecuación empleada es la siguiente:

$$Q_1 = \frac{Q_{min}}{\left(\frac{W}{b}\right)}$$

Donde:

$Q_1$  = Caudal de entrada a la rejilla ( $L^3/t$ )

$Q_{min}$  = Caudal mínimo de la fuente de abastecimiento ( $L^3/t$ )

$W$  = Ancho total de la garganta del vertedero (L)

$b$  = Ancho de la rejilla (L)

#### 2. Caudal de captación

Según la Resolución 0330 de 2017 y la 799 de 2021, establece en el artículo 47 los caudales de diseño de cada uno de los componentes del acueducto, según las variaciones diarias y horarias que puedan presentar, se establecen en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Caudales de diseño**

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

Fuente: Resolución de 0330 de 2017 y 799 de 2021.

Se calculará el caudal de captación por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_{dis} = 2 * QMD$$

Donde:

$Q_{dis}$  = Caudal de diseño o caudal de captación ( $L^3/t$ )

QMD = Caudal máximo diario ( $L^3/t$ )

### 3. Caudal de salida

El caudal de salida de la rejilla se obtiene al calcular la diferencia existente entre el caudal de entrada y el caudal de captación, la ecuación se muestra a continuación:

$$Q_2 = Q_1 - Q_{dis}$$

Donde:

$Q_2$ = Caudal de salida ( $L^3/t$ )

$Q_1$ = Caudal de entrada a la rejilla ( $L^3/t$ )

$Q_{dis}$ = Caudal de diseño o caudal de captación ( $L^3/t$ )

### 4. Altura crítica

La altura crítica en el canal se puede determinar a partir de la ecuación de Froude (Fr).

En esta ecuación encontramos la relación de las fuerzas inerciales y gravitacionales ( $F_i/F_g$ ) y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{V^2}{gD}$$

Donde:

Fr= Numero de Froude (Adimensional)

V= Velocidad de flujo (L/t)

D= Profundidad hidráulica (L)

Reemplazando la ecuación por continuidad que es  $Q=V*A$  se reemplaza en la ecuación y queda así:

$$Fr = \frac{Q^2}{gD * A^2}$$

Reemplazando que  $D=A/T$  queda

$$Fr^2 = \frac{Q^2 T}{g * A^3}$$

Donde:

F= Numero de Froude (Adimensional)

Q= Caudal a transportar por el canal ( $L^3/t$ )

T= Ancho superficial (L)

g= Gravedad ( $L/t^2$ )

A= Área del canal ( $L^2$ )

Como el flujo crítico es  $Fr=1$  y  $Fr^2 = 1^2 = 1$  para el caso de los canales rectangulares el ancho en la superficie (T) es igual a la base del canal (b), de esta manera reemplazando:

$$1^2 = \frac{Q^2 * b}{g * b^3 * yc^3}$$

$$1 = \frac{Q^2}{g * b^2 * yc^3}$$

Como  $q= Q/b$  y llamando a esta expresión caudal unitario:

$$q = \frac{Q}{b}$$

$$1 = \frac{q^2}{g * yc^3}$$

Quedando como ecuación final

$$Yc = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Donde:

$Q1=$  Caudal de entrada a la rejilla ( $L^3/t$ )

$b=$  Ancho del canal (L)

$Yc=$  Altura crítica (L)

$q=$  Caudal unitario para canales rectangulares ( $L^3/L * t$ )

$g=$  Gravedad ( $L/t^2$ )

##### 5. Velocidad crítica

A partir de la altura crítica ( $Yc$ ) y el caudal de entrada ( $Q1$ ) es posible calcular la condición de velocidad crítica del canal, por medio de la siguiente ecuación:

$$Vc = \frac{Q1}{Ac} = \frac{Q1}{b * Yc}$$

Donde:

$Q1=$  Caudal de entrada a la rejilla ( $L^3/t$ )

$Ac=$  Área de canal ( $L^2$ )

$b=$  Ancho del canal (L)

$Yc=$  Altura crítica (L)

##### 6. Energía crítica o mínimo

Es el punto donde hay menor energía, depende de la profundidad y velocidad crítica, la ecuación se presenta así:

$$E_c = Y_c + \frac{V_c^2}{2g}$$

Donde:

$E_c$ = Energía crítica o mínima (L)

$Y_c$ = Altura crítica (L)

$V_c$ = Velocidad crítica (L/T)

$g$ = Gravedad ( $L/T^2$ )

#### 7. Energía específica al inicio de la rejilla

El cálculo de la energía en la entrada dependerá de la altura de la lámina de agua, la cual puede ser asumida como un valor cercano a la altura crítica.

$$E = Y_1 + \left(\frac{V^2}{2g}\right) = Y_1 + \left(\frac{Q^2}{2 * g * b^2 * Y_1}\right)$$

Donde:

$E$ = Energía específica al inicio de la rejilla (L)

$Y_1$ = Altura lámina de agua a inicio de la rejilla (L)

$V$ = Velocidad en la rejilla (L/t)

$g$ = Gravedad ( $L/T^2$ )

$Q$ = Caudal de entrada a la rejilla ( $L^3/t$ )

$b$ = Ancho de la rejilla (L)

#### 8. Altura del agua a la entrada de la rejilla

La altura de la lámina de agua antes de la rejilla depende de la energía específica y de la altura supuesta. En la siguiente tabla se relaciona la altura de la lámina de agua con la energía y la altura crítica.

**Tabla 3. Valores de  $Y/Y_c$  vs  $Y/E$  en bocatomas sumergidas**

Relación	Rango						
	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.99
$Y_1/Y_c$	0.47	0.50	0.53	0.56	0.60	0.63	0.66

Fuente: Acueductos teoría y diseño

A partir de las relaciones anteriores es posible calcular la altura de la lámina, mediante la siguiente ecuación:

$$Y_1 = Y_c * \left(\frac{Y_1}{Y_c}\right)$$

Donde:

Y1= Altura lámina de agua inicio de la rejilla (L)

Yc= Altura crítica en el canal (L)

#### 9. Coeficiente de descarga en la rejilla

Para determinar este coeficiente es importante definir el tipo y la inclinación de la rejilla que se desea implementar en la estructura, a partir de esto será posible determinar mediante la siguiente tabla dicho coeficiente.

**Tabla 4. Valores del coeficiente de descarga en rejillas (bocatoma sumergida)**

Tipo de rejilla	Inclinación ( $\phi$ )	Coficiente ©
Barras paralelas	1:05	0.435
	Horizontal	0.497
Lámina perforada	1:05	0.75
	Horizontal	0.80

Fuente: Acueductos teoría y diseño

#### 10. Numero de barras

Para determinar el número de barras para la rejilla, es necesario q el diámetro de las barras y el espacio entre ellas, contando con los datos anteriores, se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$n = \left( \frac{b - s}{\phi + s} \right)$$

Donde:

n= Número de barras

b= Ancho de la rejilla (L)

$\phi$ = Diámetro de barras (L)

s= Espacio entre barras (L)

#### 11. Comprobación del ancho

La comprobación del ancho permite determinar la idoneidad del diámetro, espacio y numero de barras. Esta verificación se obtiene con la siguiente ecuación:

$$b = (n * \phi) + (s * (n + 1))$$

Donde:

b= Ancho de la rejilla (L)

n= Numero de barras

$\phi$ = Diámetro de barras (L)

s= Espacios entre barras (L)

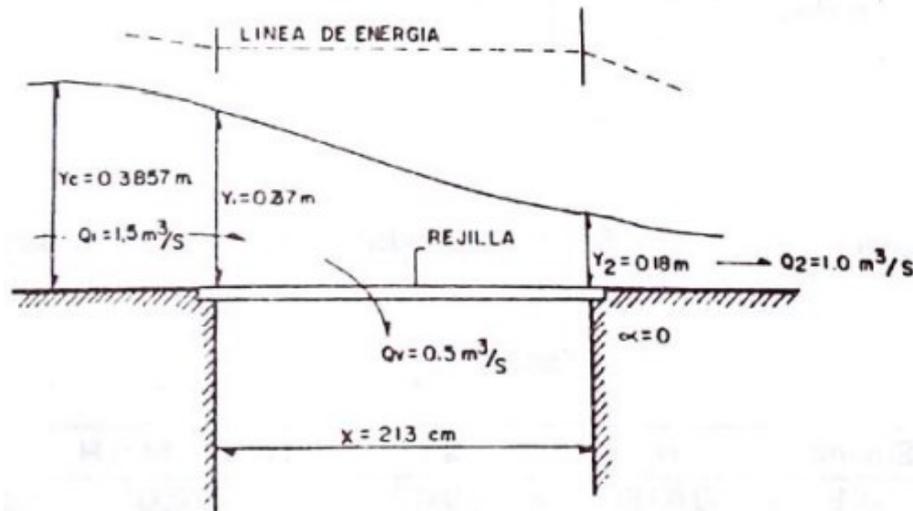
#### 12. Relación entre el área de abertura y el área total

La relación entre el área ocupada por cada abertura y el área total de la rejilla, permite determinar la longitud de la misma. Se determina con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{(n + 1) * s}{b}$$

En la siguiente imagen se podrá ver el esquema de flujo sobre el vertedero y la rejilla

**Ilustración 9. Esquema de flujo sobre vertedero y rejilla**



Fuente: Acueductos- Teoría y diseño

### 13. Diseño del canal recolector

Es el canal encargado de recoger el agua o de captar la descarga final, este se debe diseñar considerando el caudal de diseño de la estructura ( $Q_1$ ).

Para hallar las variables críticas del canal recolector se deberán tener en cuenta las ecuaciones de altura crítica, velocidad crítica y energía crítica.

### 14. Altura del agua al final del canal recolector

Calculando la altura crítica para el canal recolector será posible determinar la altura de la lámina de agua, esto se calcula con la siguiente ecuación:

$$H_2 = 1.1 Y_c$$

Donde:

$H_2$ = Altura lámina de agua al final del canal recolector (L)

$Y_c$ = Altura crítica (L)

### 15. Velocidad final del canal recolector

El diseño debe garantizar que la condición del flujo sea subcrítico, por este motivo se debe realizar un chequeo en el que se garantice la velocidad al final del canal, esta

condición garantiza que la velocidad crítica sea mayor que la velocidad al final del canal.

Se calculará de la siguiente manera:

$$V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{b * H_2}$$

Donde:

$V_2$ = Velocidad al final del canal recolector (L)

$Q$ = Caudal de diseño o caudal de captación ( $L^3/t$ )

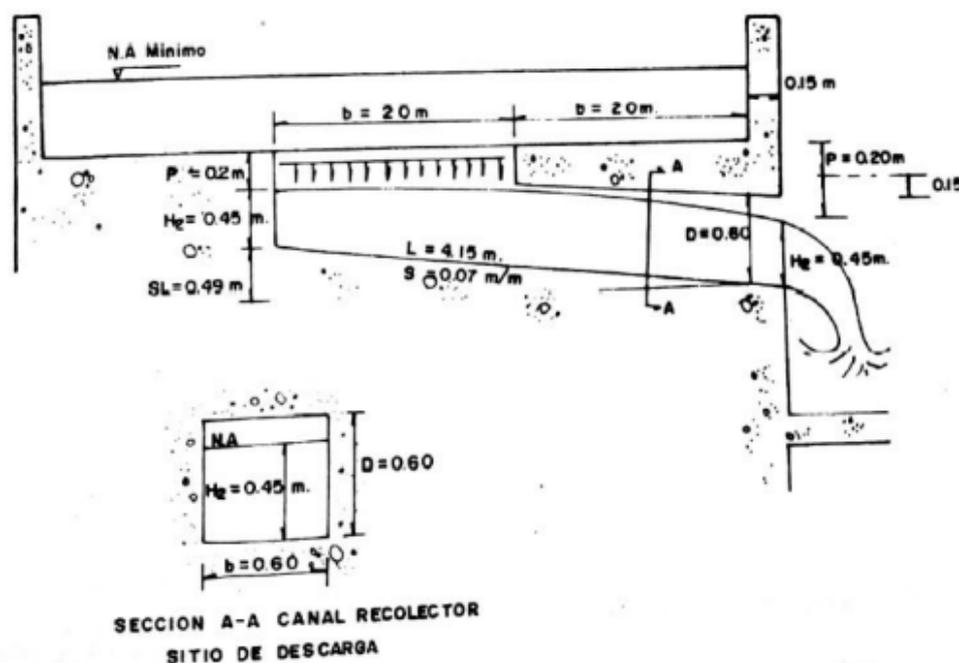
$A$ = Área de canal recolector ( $L^2$ )

$B$ = Ancho del canal recolector (L)

$H_2$ = Altura lámina de agua al final del canal recolector (L)

A continuación, se muestran las dimensiones del canal recolector

**Ilustración 10. Esquema general dimensiones el canal recolector**



Fuente: Acueductos-Teoría y diseño

### 3.3.2 Aducciones y conducciones

“Los sistemas de aducción y conducción deben contar con un cálculo hidráulico que contemple diferentes condiciones operativas o de expansión, tomando como referencia el trazado sobre planos topográficos a escala adecuada de la conducción

existente y de las alternativas de conducción propuestas por el diseñador” (RES 0330 de 2017 y 799 de 2021, Artículo 56)

### **3.3.2.1 Requisitos para el diseño de aducciones y conducciones**

Según la Resolución 0330 de 2017, para el diseño de tuberías encargadas de la aducción y conducción, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Estos sistemas deben contar con un cálculo hidráulico que cuente con diferentes condiciones operativas o de expansión, teniendo en cuenta los planos topográficos y las alternativas propuestas por el diseñador.
2. Se deberán analizar las presiones de acuerdo a la elección del diámetro, las velocidades de flujo, la longitud de la línea y la estabilidad geotécnica del corredor.
3. El trazado de la línea de captación hasta la red de distribución debe ser lo más corto posible, este trazado se debe realizar en vías o senderos públicos, evitando zonas de deslizamientos e inundaciones.
4. La velocidad mínima debe ser de 0.5 m/s y la velocidad máxima no debe sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material y/o accesorios correspondientes.
5. El diseño debe contemplar sitios de salida para la toma de muestras piezométricas y de caudal, deben localizarse al inicio y al final de las líneas, en intervalos de máximo 1.500 m cuando la longitud de la tubería sea mayor a 2.000 m.
6. En los proyectos que se realizan en zonas rurales, el diseñador debe proyectar líneas de aducción o conducción que garanticen presiones dinámicas en las viviendas superiores a 5 mca, generando un mismo caudal domiciliar por medio de cámaras o estructuras distribuidoras independiente de la cota en la que se encuentre la vivienda.

### **3.3.3 Desarenador**

Esta estructura tiene como objetivo separar del agua la arena y partículas gruesas, con el fin de evitar que se produzcan depósitos en las obras de conducción, de esta manera se protegerán las bombas de la abrasión y se evitara sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. (OPS, 2005)

### 3.3.3.1 Requisitos para el diseño de desarenadores

Para retirar la arena que queda en el agua, se coloca lo más cerca posible del punto de recolección, la tubería de suministro se coloca en el eje longitudinal de la estructura, cuenta con un dispositivo de desbordamiento a través de una presa lateral ubicada cerca. La entrada del desarenador debe tener un cerramiento y debe excluir el ingreso de personas no autorizadas. Además, deberá cumplir con los siguientes requisitos: (Resolución 0330 de 2017)

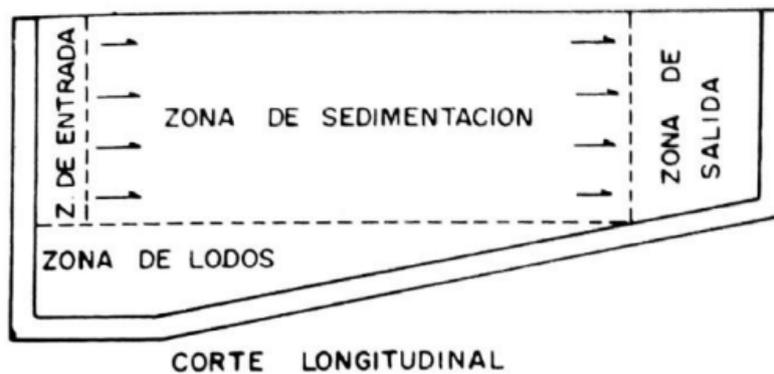
1. Para el diseño se necesita prever la eliminación de partículas con diámetro mínimo de 0.1 mm, con una velocidad de asentamiento vertical calculada en función de la temperatura del agua y un peso específico, deberá mantener una velocidad de asentamiento horizontal inferior a 0.25 m/s.
2. El peso específico de las partículas de arena por remover será de  $2.65 \frac{g}{cm^3}$ , la relación entre la velocidad horizontal y la velocidad de asentamiento vertical será inferior.
3. El tiempo de retención de las partículas muy finas no debe ser menor de 20 min.
4. Las estructuras deben contar con suficiente almacenamiento de arenas y contar con sistemas hidráulicos con pendientes superiores al 10% para obtener una eficiente evacuación del producto de desarenado.
5. La unidad debe tener un sistema de paso directo con la capacidad para operar el caudal de diseño cuando la estructura este en limpieza, además, deberá contar con descargas adecuadas a fuentes que reciban exceso de corriente y producto de disposición

### 3.3.3.2 Diseño de desarenadores

Para el diseño de la estructura, se deben tener en cuenta las recomendaciones planteadas en el RAS 2000 y los parámetros exigidos en la Resolución 0330 de 2017.

El desarenador está compuesto por cuatro zonas esenciales que permiten su funcionamiento: sedimentación, entrada, lodos y salida. A continuación, se describe el procedimiento a seguir para el diseño de cada una de las zonas que lo conforman.

### Ilustración 11. Zonas del desarenador



Fuente: Acueductos, teoría y diseño

#### Zonas de sedimentación:

Es la zona que permite la remoción de sólidos en el agua, la velocidad horizontal del fluido en el desarenador está por debajo de la velocidad de arrastre de lodos, por tanto, las partículas que lleguen al fondo permanecerán ahí. (Acueductos Teoría y diseño, 1993)

##### 1. Caudal de diseño

De acuerdo a los caudales de diseños establecidos en la Resolución 0330 de 2017, a partir del Caudal Máximo Diario (QMD) del periodo de diseño, se diseñará la totalidad de las zonas de la estructura.

##### 2. Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación es el parámetro más importante para el diseño del desarenador, este depende de la densidad y diámetro de la partícula a remover, así como la viscosidad del agua. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{(p_s - p) * d^2 * g}{18 * \nu}$$

Donde:

$V_s$ = Velocidad de sedimentación (L/T)

$P_s$ = Densidad de la partícula de arena (M/L<sup>3</sup>)

$P$ = Densidad del agua (M/L<sup>3</sup>)

$d$ = Diámetro de la partícula de arena (L)

$g$ = Gravedad (M/t<sup>2</sup>)

$\nu$ = Viscosidad cinemática del agua (L<sup>2</sup>/t)

##### 3. Velocidad de sedimentación teórico

Existen valores de velocidad de sedimentación teóricos, los cuales dependen del régimen del agua y el diámetro límite que se espera, estos resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 5. Relación entre diámetro de partículas y velocidad de sedimentación**

Material	Ø Partícula Límite	Número de Reynolds	Velocidad Sedimentación	Régimen	Ley aplicada
Grava	1 cm	>10.000	≈100 cm/s	Turbulento	Newton
Arena gruesa y media	0.10 cm	≈1.000	10.0 cm/s	Transición	Allen
	0.08 cm	≈660	8.3 cm/s	Transición	
	0.05 cm	≈380	6.3 cm/s	Transición	
	0.05 cm	≈27	5.3 cm/s	Transición	
	0.04 cm	≈17	4.2 cm/s	Transición	
	0.03 cm	≈10	3.2 cm/s	Transición	
	0.02 cm	≈4	2.1 cm/s	Transición	
Arena fina	0.015 cm	≈2	1.5 cm/s	Transición	Stokes
	0.010 cm	≈0.8	0.8	Laminar	
	0.008 cm	≈0.5	0.6	Laminar	
	0.006 cm	≈0.24	0.4	Laminar	
	0.005 cm	<1.0	0.3	Laminar	
	0.004 cm	<1.0	0.2	Laminar	
	0.003 cm	<1.0	0.13	Laminar	
0.002 cm	<1.0	0.06	Laminar		
0.001 cm	<1.0	0.015	Laminar		

Fuente: Acueductos, teoría y diseño

#### 4. Velocidad de sedimentación para el diseño

Para obtener un valor de la velocidad de sedimentación, se procede a promediar el valor teórico calculado, esto se hará por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{sd} = \frac{V_s + V_{st}}{2}$$

Donde:

$V_{sd}$ = Velocidad de sedimentación para el diseño (L/t)

$V_s$ = Velocidad de sedimentación calculada (L/t)

$V_{st}$ = Velocidad de sedimentación teórica (L/t)

#### 5. Tiempo que demora la partícula en tocar el fondo

El tiempo que tarda una partícula en tocar el fondo del sedimentador dependerá de la velocidad de sedimentación y la altura del sedimentador.

La altura del sedimentador se podrá calcular con la siguiente ecuación:

$$H = V_{sd} * t$$

Donde:

H= Altura del desarenador (L)

$V_{sd}$ =Velocidad de sedimentación para el diseño (L/t)

t= Tiempo que demora la partícula en tocar el fondo (t)

A partir de esta ecuación se puede despejar el tiempo, la ecuación de tiempo se muestra a continuación:

$$t = \frac{H}{Vsd}$$

Donde:

t= Tiempo que demora la partícula en tocar el fondo (t)

H= Altura del desarenador (L)

Vsd=Velocidad de sedimentación para el diseño (L/t)

#### 6. Relación a/t

Esta relación depende del estado de las pantallas deflectoras, así como el porcentaje de remoción que se pretende lograr, estos valores son presentados en la siguiente tabla:

**Tabla 6. Valores de a/t**

Condiciones	Remoción 50%	Remoción 75%	Remoción 87.5%
Máximo Teórico	0.500	0.750	0.875
Depósitos con muy buenos deflectores	0.730	1.520	2.370
Depósitos con buenos deflectores	0.760	1.660	2.750
Depósitos con deficientes deflectores o sin ellos	1.000	3.000	7.000

Fuente: Acueductos, teoría y diseño

#### 7. Tiempo de sedimentación de acuerdo al estado de las pantallas deflectoras

Posterior a la elección del porcentaje de remoción, es posible conocer la relación a/t y despejar a, entendida como el tiempo que tardan las partículas en sedimentar acorde con el estado de las pantallas deflectoras, el despeje de la ecuación se presenta a continuación:

$$\frac{a}{t} = x$$

Donde:

a/t= Relación adimensional obtenida en la tabla 5

x= Valor asumido para la relación a/t, acorde con el porcentaje de remoción y estado de deflectores (Adimensional)

De la anterior ecuación es posible despejar a, quedando:

$$a = x*t$$

Donde:

a= Tiempo de sedimentación teórica acorde con el estado de las pantallas deflectoras (T)

$x$ = Valor asumido para la relación  $a/t$ , acorde con el porcentaje de remoción y estado de los deflectores (Adimensional)

$t$ = Tiempo que demora la partícula en tocar el fondo (T)

#### 8. Volumen o capacidad del desarenador

El volumen del desarenador se determina por medio del tiempo de sedimentación ( $a$ ) y del caudal de diseño de la unidad, con la siguiente ecuación:

$$V = Q * a$$

Donde:

$V$ = Volumen o capacidad del desarenador ( $L^3$ )

$Q$ = Caudal de diseño ( $L^3/t$ )

$a$ = Tiempo de sedimentación teórica acorde con el estado de las pantallas deflectoras (T)

#### 9. Área del desarenador

El área del desarenador se podrá hallar a partir del volumen de la estructura y la profundidad que recorre la partícula crítica, empleando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{V}{H}$$

Donde:

$A$ = Área del desarenador ( $L^2$ )

$V$ = Volumen o capacidad del desarenador ( $L^3$ )

$H$ = Profundidad que recorre la partícula crítica (L)

#### 10. Área requerida

A partir del caudal de diseño y la velocidad de sedimentación, es posible calcular el área de sedimentación mínima que se requiere para el diseño del desarenador, por medio de la siguiente ecuación:

$$Ar = \frac{Q}{Vsd}$$

Donde:

$Ar$ = Área requerida ( $L^2$ )

$Q$ = Caudal de diseño ( $L^3/t$ )

$Vsd$ = Velocidad de sedimentación para el diseño (L/t)

Si el área calculada es mayor al área requerida, se asume el cumplimiento del diseño.

#### 11. Ancho de la zona de sedimentación

La relación sugerida entre el ancho y el largo de la unidad, indica que el largo debe ser cuatro veces el ancho, a partir de esto es posible despejar el ancho de la ecuación del área, de la siguiente manera:

$$A = L * b$$

Donde:

A= Área de la zona de sedimentación ( $L^3$ )

L= Longitud de la zona de sedimentador (L)

b= Ancho de la zona de sedimentación (L)

Reemplazando  $L=4b$ , se tiene

$$A = 4b * b$$

Despejando b, se obtiene:

$$b = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

#### 12. Longitud zona de sedimentación:

Aplicando la relación mencionada en el paso 11 y considerando el ancho calculado con anterioridad, es posible hallar la longitud del sedimentador por medio de la ecuación:

$$L = 4 * b$$

Donde:

L= Largo de la zona de sedimentación (L)

b= Ancho de la zona de sedimentación (L)

#### 13. Velocidad horizontal

La velocidad horizontal es la aceleración es la aceleración que tarda la partícula en recorrer la zona de sedimentación considerando la altura de la estructura, se calculara por medio de la siguiente ecuación:

$$Vh = \frac{Qd}{b * H}$$

Donde:

Vh= Velocidad horizontal (L/t)

Qd= Caudal de diseño ( $L^3/t$ )

b= Ancho de la zona de sedimentación (L)

H= Profundidad que recorre la partícula crítica (L)

#### 14. Relación Vh/Vs

La relación entre la velocidad horizontal y de sedimentación, indica el adecuado dimensionamiento de la estructura, por lo tanto, es un parámetro que indica el cumplimiento del diseño, según la Resolución 0330 de 2017, esta relación debe ser menor a 20 y se obtendrá al dividir las velocidades obtenidas.

### **Zona de entrada:**

“Es la cámara donde se disipa la energía del agua que llega con alguna velocidad de la captación. En esta zona se orientan las líneas de corriente mediante un dispositivo denominado pantalla deflectora a fin de eliminar turbulencias en la zona de sedimentación” (Acueductos, teoría y diseño, 1993).

Para los cálculos de la zona de entrada al desarenador, se diseñará una pantalla deflectora, para esto, es necesario la velocidad de paso a través de los orificios, ancho de la pantalla, longitud de la pantalla, altura, borde de la canaleta y diámetro de los orificios, a partir de estos parámetros se calcularán los factores esenciales para el diseño de la pantalla con las ecuaciones que se presentan a continuación:

#### 1. Altura total de la canaleta

Es el valor de la suma entre la altura y el borde libre propuestos, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$HT = HT + BL$$

Donde:

HT= Altura total de la canaleta (L)

HC= Altura propuesta para la canaleta (L)

BL= Borde libre propuesto para la canaleta (L)

#### 2. Área efectiva de orificios

Considerando que la pantalla cuenta con una geometría rectangular, su área se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ae = \frac{Qd}{V}$$

Donde:

Ae= Área efectiva de los orificios ( $L^2$ )

Qd= Caudal de diseño ( $L^3/t$ )

V= Velocidad de paso a través de los orificios (L/t)

#### 3. Área de cada orificio

A partir del diámetro de los orificios, será posible calcular el área de estos por medio de la siguiente ecuación:

$$A_o = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A<sub>o</sub>= Área de cada orificio (L<sup>2</sup>)

D= Diámetro de cada orificio (L)

#### 4. Numero de orificios

El número de orificios con los que contara la pantalla deflectora se calcula con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{A_e}{A_o}$$

Donde:

N= Numero de orificios

A<sub>e</sub>= Área efectiva de los orificios (L<sup>2</sup>)

A<sub>o</sub>= Área de cada orificio (L<sup>2</sup>)

#### 5. Espacio de los orificios

El espacio de los orificios dependerá de la longitud de la pantalla y del número de orificios calculados, a partir de esto se calculará con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{(L_p - 0.40)}{\left(\frac{N}{3}\right)}$$

Donde:

e= Espaciamiento de orificios (L)

L<sub>p</sub>= Longitud de la pantalla deflectora (L)

N= Número de orificios

### **Zona de lodos:**

Es la zona del sedimentador encargada de recibir y almacenar los lodos sedimentados, para el diseño de esto es necesario asumir la altura de lodos de la estructura, la pendiente y la salida acorde con lo exigido por la normativa vigente. El proceso de diseño se presenta a continuación:

#### 1. Distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada del desarenador

Según el diseño expuesto en el libro Acueductos Teoría y diseño, se sugiere que esta distancia sea la tercera parte del largo de la zona de sedimentación, para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$x = \frac{L}{3}$$

Donde:

$x$ = Distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada al desarenador (L)

$L$ = Largo zona de sedimentación (L)

## 2. Volumen de la tolva

Según el diseño expuesto en el libro Acueductos Teoría y diseño, el volumen de la tolva de lodos debe ser el 20% del volumen de la zona de sedimentación. Se calculará con la siguiente ecuación:

$$V_t = V * 20\%$$

Donde:

$V_t$ = Volumen tolva de lodos ( $L^3$ )

$V$ = Volumen o capacidad del desarenador ( $L^3$ )

## 3. Distancia de entrada

La longitud depende de la distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada del desarenador, así como la pendiente planteada para el mismo. A partir de esto es posible hallar la distancia de entrada con la siguiente ecuación:

$$D_e = x * P_e$$

Donde:

$D_e$ = Distancia de entrada (L)

$x$ = Distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada al desarenador (L)

$P_e$ = Pendiente de entrada

## 4. Distancia de salida

La distancia de salida de la tolva de lodos es el resultado de la diferencia entre la longitud de la zona de sedimentación y la distancia de entrada, para hallar se usa la ecuación que se muestra:

$$D_s = (L - X) * P_s$$

Donde:

$D_s$ = Distancia de salida (L)

$L$ = Largo zona de sedimentación (L)

$x$ = Distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada al desarenador (L)

$P_s$ = Pendiente de salida

## 5. Carga superficial

La carga superficial es la velocidad crítica de sedimentación, esta puede obtenerse realizando ensayos de sedimentación o puede ser calculada a partir de la relación entre caudal y área, como se muestra a continuación:

$$CS = \frac{Qd * 86.400}{A}$$

Donde:

CS= Carga superficial ( $L^3 / L^2 / t$ )

Qd= Caudal de diseño ( $L^3 / t$ )

A= Área del desarenador ( $L^2$ )

### **Zona de salida**

Es la zona encargada de recoger el agua clarificada desde un vertedero de la salida, el cual es el parámetro más importante de diseño para esta zona. El procedimiento se expone a continuación:

1. Longitud de la canaleta de salida

Se emplea una longitud igual al ancho del desarenador y el largo de la pantalla deflectora de la zona de entrada.

2. Velocidad máxima del agua en la zona de salida

Se asume la misma velocidad de paso establecido en la zona de entrada del desarenador.

3. Altura de la lámina de agua sobre la cresta

Para determinar la altura de la lámina de agua sobre la cresta, se utiliza la ecuación de Francis para vertederos rectangulares, se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = \left( \frac{Qd}{1.84 * L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

h= Altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero de salida (L)

Qd= Caudal de diseño ( $L^3 / T$ )

L= Longitud de la canaleta de salida (L)

4. Área de la canaleta de salida

Teniendo en cuenta la ecuación de continuidad es posible despejar para hallar el área, como se muestra en la ecuación:

$$Ac = \frac{Qd}{Vs}$$

Donde:

Ac= Área de la canaleta de salida ( $L^2$ )

Qd= Caudal de diseño ( $L^3 / t$ )

Vs= Velocidad máxima del agua en la canaleta de salida (L/t)

5. Ancho de la canaleta de salida

El ancho de la canaleta deberá ser 1.5 veces la altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero de salida, por lo tanto, se calcula con la siguiente ecuación:

$$bc = 1.5 * h$$

Donde:

bc=Ancho de la canaleta de salida (L)

h= Altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero de salida (L)

6. Altura del vertedero de salida

La altura del vertedero se calculará como la relación entre el área y el ancho de la canaleta de salida

$$hv = \frac{Ac}{bc}$$

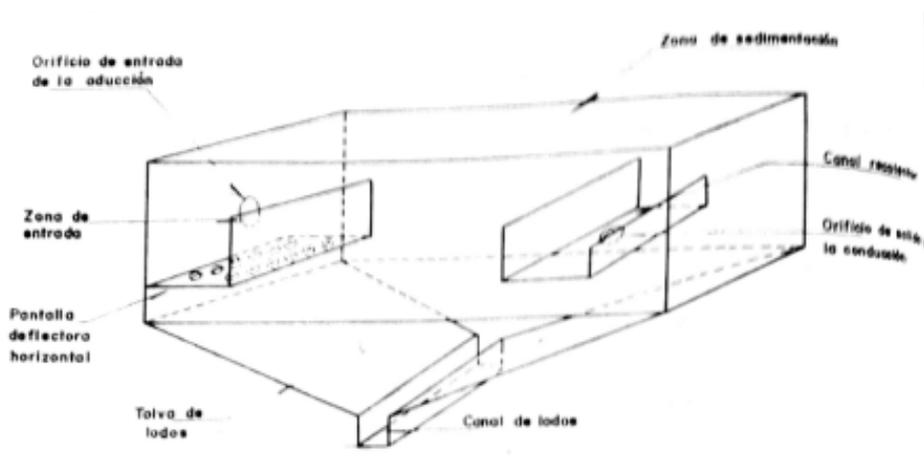
Donde:

Ac= Área de la canaleta de salida ( $L^2$ )

bc= Ancho de la canaleta de salida (L)

El esquema general de la zona de sedimentación se puede ver a continuación:

### Ilustración 12. Esquema del desarenador



Fuente: Acueductos, teoría y diseño

### 3.3.4 Tanque de almacenamiento

Esta estructura desempeña un rol importante en los sistemas de distribución de agua, los tanques de agua ubicados en zonas rurales compensan las variaciones de los consumos que se producen durante el día y mantiene las presiones en el servicio de la red de distribución. (Guías para el diseño de reservorios elevados de agua potable, 2005)

### 3.3.4.1 Requisitos para el diseño de tanques de almacenamiento

1. El volumen del tanque de almacenamiento deberá ser la mayor cantidad obtenida entre la capacidad de regulación y la capacidad de almacenamiento.
2. La capacidad de almacenamiento debe ser igual a 1/3 del volumen distribuido. La capacidad de regulación se debe evaluar en función de los patrones de consumo de cada zona establecida, utilizando métodos gráficos y analíticos.
3. El volumen de almacenamiento se debe incrementar para el control de incendios estructurales en los siguientes porcentajes:
  - 25% riesgo alto
  - 20% riesgo medio
  - 15% riesgo bajo
4. Los tanques deben funcionar hidráulicamente con esquema de mezcla tipo FIFO.
5. La tubería de salida debe ubicarse de manera que los niveles mínimos de operación no generen entrada de aire a la red, ni se permita la resuspensión de sedimentos.
6. Los tanques deben tener sistemas de renovación de aire, los elementos de ventilación deberán contar con sistemas que impidan la entrada de sustancias contaminantes.
7. El borde libre debe tener como mínimo 0.3 m.

### 3.3.4.2 Diseño del tanque de almacenamiento

El diseño del tanque de almacenamiento se realiza teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la Resolución 0330 de 2017, el procedimiento se detalla a continuación:

#### 1. Caudal de diseño

El caudal de diseño del tanque de almacenamiento es el Caudal Máximo Diario (QMD), de acuerdo a lo establecido en la Resolución 0330 de 2017.

#### 2. Tiempo de abastecimiento

El diseño del tanque de almacenamiento se realizará considerando un día de abastecimiento.

#### 3. Volumen máximo diario

Es el volumen que tendrá la estructura para el tiempo de abastecimiento planteado, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$VMD = Qd * t$$

Donde:

VMD= Volumen Máximo Diario ( $L^3$ )

Qd= Caudal de diseño ( $L^3/t$ )

t= Tiempo de abastecimiento (t)

#### 4. Volumen de almacenamiento

Según la Resolución 0330 de 2017, el volumen o capacidad de almacenamiento con la que debe contar el tanque corresponde a 1/3 del volumen máximo diario, se calcula así:

$$V = VMD * \frac{1}{3}$$

Donde:

V= Volumen de almacenamiento ( $L^3$ )

VMD= Volumen Máximo Diario ( $L^3$ )

#### 5. Volumen sistema contra incendios

De acuerdo a los porcentajes de caudales de incendio, se debe considerar un porcentaje adicional acorde con el riesgo que presente el municipio ante un incendio, la ecuación para hallarlo es:

$$VSCI = V * \% \text{ Acorde al riesgo}$$

Donde:

VSCI= Volumen del sistema contra incendios ( $L^3$ )

V= Volumen de almacenamiento ( $L^3$ )

% Acorde al riesgo eventual incendio

#### 6. Volumen de almacenamiento total

El volumen total de almacenamiento es la sumatoria entre el volumen del sistema contra incendios y de almacenamiento, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$VT = V + VSCI$$

Donde:

VT= Volumen de almacenamiento total ( $L^3$ )

V= Volumen de almacenamiento ( $L^3$ )

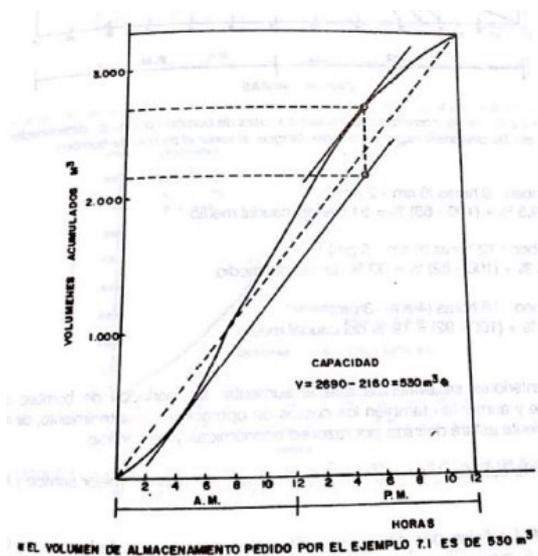
VSCI= Volumen del sistema contra incendios ( $L^3$ )

#### 7. Volumen de regulación

Este dependerá de los patrones de consumo con los que cuente el área de estudio, en este caso no existe una micromedición o información sobre el consumo y será necesario adoptar un patrón de consumo.

El método para establecer este volumen de regulación del tanque se muestra en la siguiente ilustración:

### Ilustración 13. Curva de consumos acumulados



Fuente: Acueductos, teoría y diseño

Se tendrá que calcular el factor de consumo horario en la hora de máxima demanda, se utiliza la siguiente ecuación:

$$FHM = \frac{QMH}{MMD}$$

Donde

FHM= Factor en la hora de máximo consumo (Adimensional)

QMH= Caudal Máximo Horario del periodo de diseño ( $L^3/t$ )

QMD= Caudal Máximo Diario del periodo de diseño ( $L^3/t$ )

#### 8. Volumen de diseño

Según la Resolución 0330 de 2017, el volumen total del tanque de almacenamiento a elegir será el mayor entre la capacidad de almacenamiento y la regulación calculada.

#### 9. Longitud y ancho del tanque

De acuerdo al área disponible el diseñador deberá proponer el largo y ancho que tendrá el tanque de almacenamiento.

#### 10. Área del tanque de almacenamiento

El área se calcula a partir de los valores asumidos para el largo y ancho del desarenador, se calcula con la siguiente ecuación:

$$AT = b * L$$

Donde:

AT= Área del tanque de almacenamiento ( $L^2$ )

b= Ancho del tanque de almacenamiento (L)

L= Largo del tanque de almacenamiento (L)

### 11. Altura del tanque de almacenamiento

Para calcular la altura del tanque, se tendrá en cuenta el volumen de diseño y el área de este. Se emplea la siguiente ecuación:

$$H = \frac{VD}{AT}$$

Donde:

H= Altura del tanque de almacenamiento (L)

VD= Volumen de diseño del tanque de almacenamiento ( $L^3$ )

AT= Área del tanque de almacenamiento ( $L^2$ )

### 12. Altura total del tanque de almacenamiento

Según la Resolución 0330 de 2017, se debe adicionar mínimo 0.30 m como borde libre y se calcula con la siguiente ecuación:

$$HT = H + BL$$

Donde:

HT= Altura total del tanque de almacenamiento (L)

H= Altura del tanque de almacenamiento (L)

BL= Borde libre del tanque de almacenamiento (L)

### 13. Área del desagüe

El área del desagüe podrá ser calculado con la ecuación de tiempo de vaciado del tanque de almacenamiento. La ecuación es la siguiente:

$$T = \frac{2 * AT * \sqrt{H}}{m * a * \sqrt{2g}}$$

Donde:

T= Tiempo de vaciado del tanque de almacenamiento (T)

AT= Área del tanque de almacenamiento ( $L^2$ )

H= Altura del tanque de almacenamiento o carga hidráulica sobre el desagüe (L)

m= Coeficiente de contratación del desagüe (Adimensional)

a= Área del desagüe ( $L^2$ )

g= Gravedad ( $L/T^2$ )

A partir de esto el diseñador tendrá que plantear un tiempo de vaciado que sea inferior a 8 horas, despejando esta ecuación para hallar el área quedaría así:

$$a = \frac{2 * AT * \sqrt{H}}{m * T * \sqrt{2g}}$$

#### 14. Radio de la tubería de desagüe

Con el área del desagüe se podrá despejar el radio de la tubería, aplicando la siguiente ecuación:

$$a = \pi * r^2$$

Donde:

a= Área del desagüe ( $L^2$ )

r= Radio de la tubería de desagüe (L)

Para conocer el radio de la tubería a instalar se despejará la ecuación del área del desagüe quedando:

$$r = \sqrt{\frac{a}{\pi}}$$

#### 15. Diámetro de la tubería de desagüe

El diámetro de la tubería de desagüe se obtendrá al duplicar el radio, es decir:

$$\emptyset = 2 * r$$

Donde:

$\emptyset$ = Diámetro de la tubería de desagüe (L)

r= Radio de la tubería de desagüe (L)

#### 16. Velocidad de vaciado

La velocidad de vaciado dependerá del tiempo de vaciado, así como la profundidad calculada, para su cálculo se tendrá en cuenta la siguiente ecuación:

$$V = \frac{H}{T}$$

Donde:

V= Velocidad de vaciado del tanque (L/t)

H= Altura del tanque de almacenamiento (L)

T= Tiempo de vaciado del tanque (T)

#### 17. Diámetro de entrada y salida

Depende de la red de distribución y a la posición que tendrá el tanque dentro de la misma será posible determinar el diámetro de las tuberías de ingreso y salida de la estructura.

### 3.3.5 Red de distribución

Es el conjunto de tuberías las cuales están destinadas al suministro y ruta de agua potable a las viviendas y establecimientos de la vereda. Estas redes parten de los tanques de almacenamiento, cuentan con todos, válvulas de control, válvulas reguladoras de

presión y los demás accesorios y estructuras necesarias para la correcta operación del sistema. (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS)

### **3.3.5.1 Modelación hidráulica**

Para el proceso de la modelación hidráulica el uso de programas basados en la ingeniería es muy importante. Es por esto que se recomienda emplear el software más famoso en el campo de la hidráulica: Epanet, este programa realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad de agua en redes de distribución a presión.

La metodología utilizada por el software calcula los caudales en las tuberías y alturas piezométricas en los nudos, bajo la consideración de conservación de masa y energía. Las ecuaciones que se generan en el proceso son conocidas por su no linealidad, por lo cual se hace uso del método del gradiente para su solución.

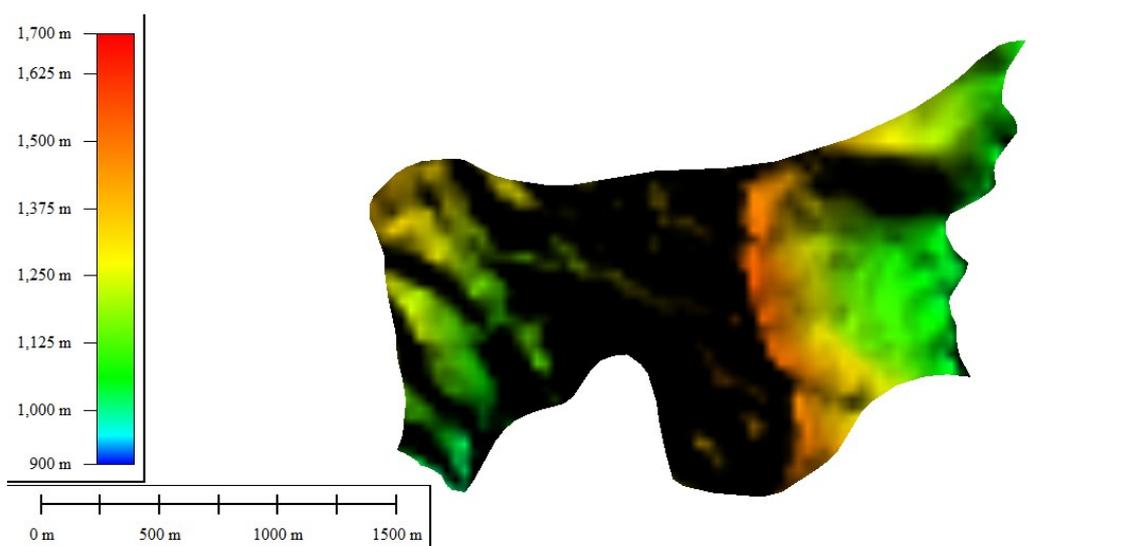
El objetivo de esta simulación es evaluar el cumplimiento de parámetros como lo es la presión en los nodos, la velocidad en las tuberías teniendo en cuenta la normatividad vigente y la posibilidad de optimizar accesorios en la red. (Ejercicios prácticos en Epanet, 2017).

## **3.4 Datos hidrológicos**

### **3.4.1 Información cartográfica**

Se realiza un mapa topográfico de la zona de estudio de la cuenca de la quebrada La Chorrera con base a un modelo digital de terreno (MDT) el cual representa la distribución espacial de una variable.

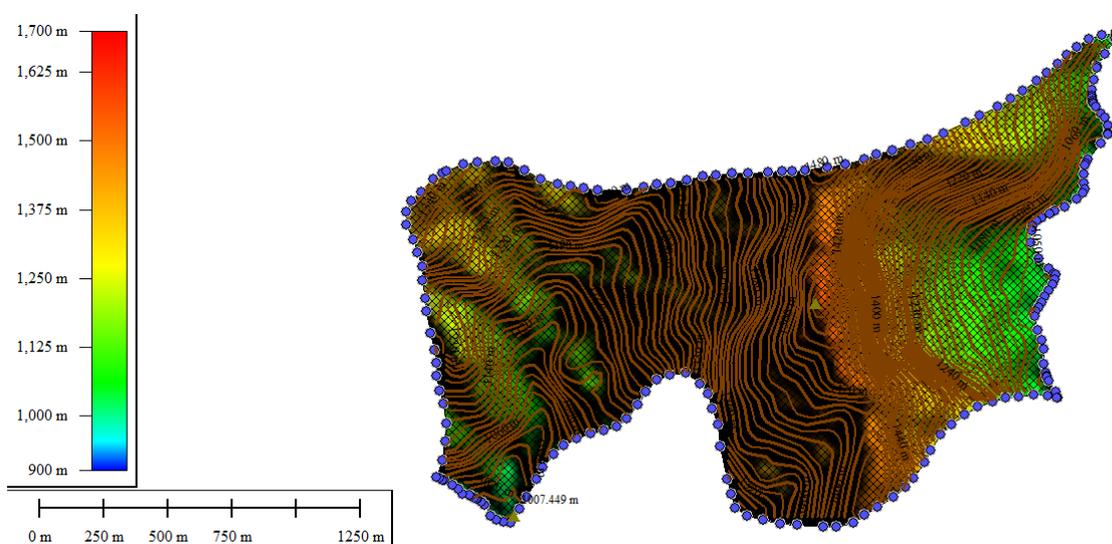
**Ilustración 14. Mapa de modelo digital de terreno**



Fuente: Elaboración propia

Con base al modelo de elevación mostrado en la ilustración 8, por medio del programa Global Mapper se generan las curvas de nivel como se muestra a continuación.

**Ilustración 15. Mapa de curvas de nivel**



Fuente: Elaboración propia

Al calcular las curvas de nivel para la zona de estudio se procede a calcular la altitud, en la ilustración se muestra la clasificación de las altitudes, las cuales presentan valores entre los 1010 y 1535 msnm.

### **3.4.2 Morfometría de cuencas**

Es un área de estudio dentro de la geomorfología que se centra en la medición y análisis de las características físicas y geométricas de una cuenca hidrográfica. Estas características incluyen la forma, tamaño, pendiente, relieve, patrones de drenaje y otros parámetros que influyen en el comportamiento hidrológico de la cuenca.

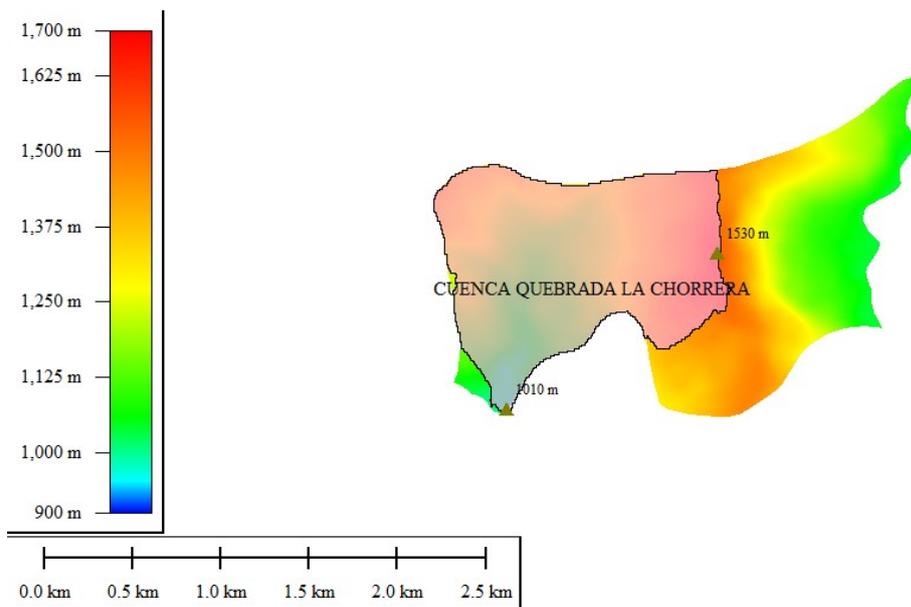
La morfometría de cuencas es una disciplina multidisciplinaria que combina conceptos de hidrología, geomorfología, ciencias ambientales y tecnología geoespacial para entender la forma y el funcionamiento de las cuencas hidrográficas, lo que es esencial para la gestión y conservación de los recursos hídricos y el medio ambiente.

### **3.4.3 Delimitación de la cuenca hidrográfica**

La delimitación de una cuenca hidrográfica es un proceso que consiste en identificar y definir los límites geográficos de una región de drenaje natural, donde todas las corrientes de agua fluyen hacia un mismo punto, como un río principal, un lago, o el mar. Para delimitar una cuenca se deben identificar y mapear los ríos, arroyos y cuerpos de agua dentro del área de estudio, teniendo esta información se trazan los límites de la cuenca, asegurándose que todas las aguas superficiales dentro de esos límites fluyan hacia un único punto de salida. Se analiza la red de drenaje dentro de la cuenca, incluyendo la longitud y densidad de los cuerpos de agua, la pendiente del terreno y otros parámetros hidrológicos, en la actualidad se pueden utilizar modelos hidrológicos para simular el comportamiento de la cuenca en respuesta a diferentes condiciones climáticas y usos del suelo.

Para realizar la respectiva delimitación de la cuenca del municipio de la Palma, se utiliza el software Global mapper y se obtiene el polígono de la cuenca. Ver ilustración 16.

### Ilustración 16. Cuenca hidrográfica



Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.4 Parámetros generales de la cuenca

##### 3.4.4.1 Área de la cuenca

El área de la cuenca hidrográfica es fundamental para conocer y gestionar eficazmente los recursos hídricos, de esta manera se puede comprender la cantidad de agua que entra y sale de la cuenca, así como su disponibilidad para diferentes usos.

De acuerdo a los resultados obtenidos por medio de la modelación realizada en Global mapper, el área de la cuenca de la Quebrada La Chorrera es de  $1.54 \text{ Km}^2$ .

##### 3.4.4.2 Longitud de la cuenca

La longitud de una cuenca hidrográfica se refiere a la distancia total o el largo del curso del agua principal desde su fuente hasta el punto de salida de la cuenca, donde el agua fluye hacia otro cuerpo de agua. La longitud de la cuenca es un parámetro importante para comprender la extensión del sistema fluvial, para la cuenca de la quebrada La Chorrera la longitud máxima de la cuenca es de 1.954 Km, que equivale a la longitud del cauce principal cómo se puede ver en la siguiente ilustración.

### 3.4.4.3 Ancho de la cuenca

El ancho de la cuenca es la distancia horizontal entre los puntos más alejados dentro de esta. El ancho de la cuenca puede variar significativamente dependiendo los factores como la topografía, el clima, la geología y la vegetación. El ancho de la cuenca es la relación entre el área y la longitud de la cuenca. De forma que el ancho medio de la cuenca es de:

$$W = \frac{A}{L}$$

Donde:

A= Superficie de la cuenca en Km<sup>2</sup>

L= Longitud de la cuenca en Km

$$W = \frac{1.54Km^2}{1.954Km} = 0.786 Km$$

### 3.4.4.4 Desnivel longitudinal

Se refiere a la variación de altitud a lo largo del cauce principal de un sistema fluvial dentro de la cuenca hidrográfica. Este desnivel se calcula midiendo la diferencia de altura entre el punto más alto de la cuenca y el punto más bajo, así que la diferencia teniendo en cuenta que el punto más alto de la cuenca es de 1530 m y el punto más bajo es 1010 m el resultado que nos da es de 520 m.

### 3.4.4.5 Perímetro longitudinal

Es una medida de la longitud total del curso principal de un sistema fluvial dentro de una cuenca hidrográfica. Se refiere a la distancia a lo largo de la línea de agua desde el punto de origen en las cabeceras del río hasta el punto donde el río termina su curso, ya sea en otro cuerpo de agua o en el mar. El perímetro de la cuenca es de 7.07 km.

## 3.4.5 Parámetros para la caracterización del relieve de la cuenca

### 3.4.5.1 Altura media de la cuenca

Este es un parámetro importante en hidrología y geomorfología, ya que influye en diversos aspectos del ciclo hidrológico, incluyendo la precipitación, la evotranspiración y el escurrimiento superficial, la altura media de la cuenca es de 1263.51 m.s.n.m.

### 3.4.5.2 Pendiente media de la cuenca

Es un parámetro relativo al relieve, este permite conocer el tiempo de concentración del agua en determinados puntos del cauce, dando una velocidad media de la esorrentía entre otros valores.

La cuenca presenta una pendiente media de 37.98%, este parámetro brinda un índice de velocidad media de esorrentía y su poder de arrastre.

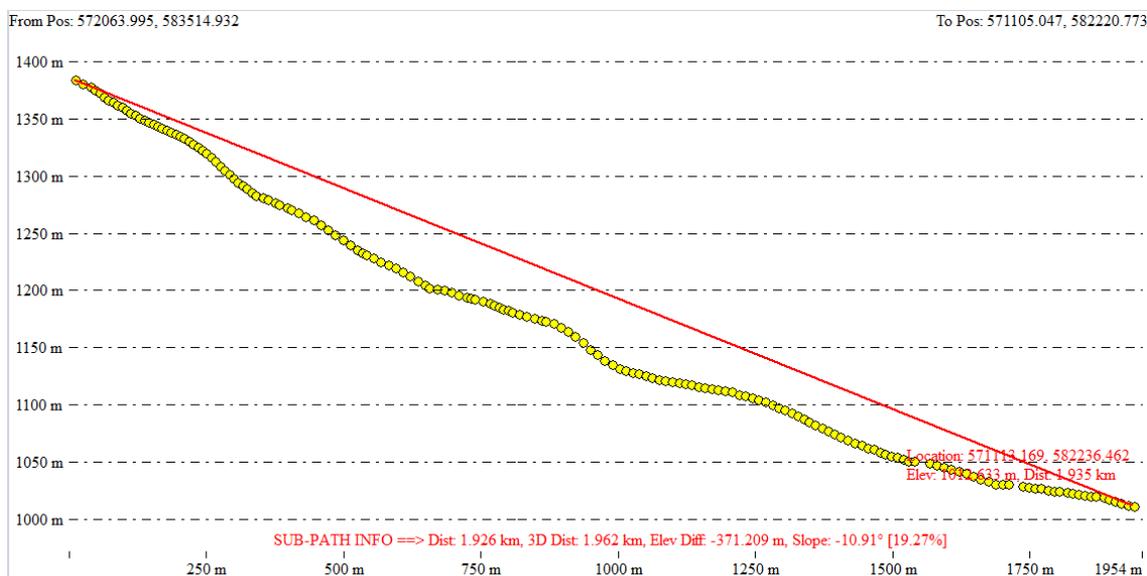
### 3.4.5.3 Pendiente media de del cauce principal

Es la inclinación promedio del lecho del rio o arroyo a lo largo de la longitud principal. Se calcula dividiendo el cambio en elevación entre dos puntos a lo largo del cauce por la distancia horizontal entre esos puntos.

Esta pendiente puede ser un factor importante en la hidrología y la geomorfología de una región, ya que influye en la velocidad del flujo del agua, la erosión del suelo, y la formación de características del paisaje.

La pendiente media del cauce principal es de 19.27% según se puede observar en la siguiente ilustración.

**Ilustración 17. Perfil longitudinal del cauce principal**



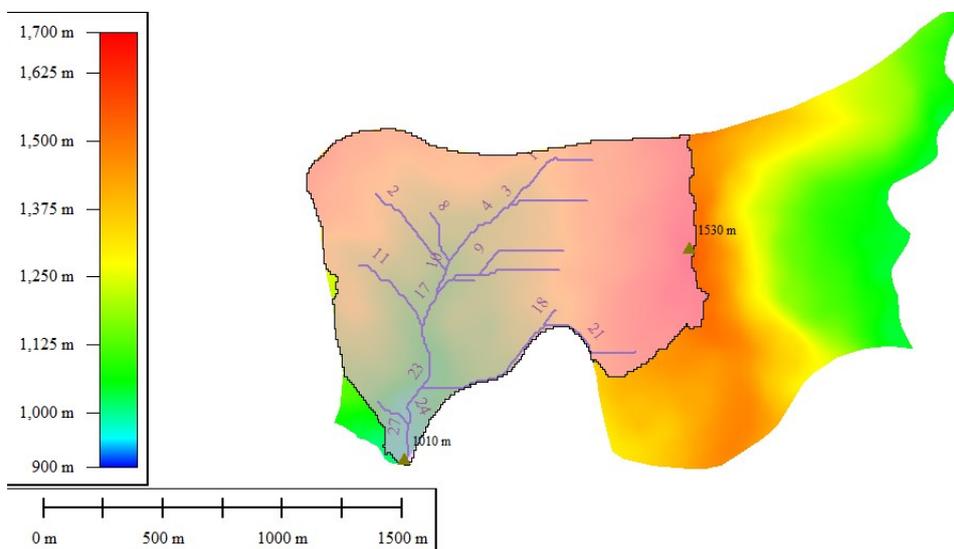
Fuente: Elaboración propia

### 3.4.5.4 Orden de drenaje

El orden de drenaje es una clasificación utilizada para describir la jerarquía de un sistema fluvial, entre ríos y arroyos que se unen a otros para formar cursos de agua más

grandes. La clasificación del orden del drenaje se basa en el principio de que cuando dos arroyos se unen forman un arroyo de orden superior. Para la cuenca de la quebrada la Chorrera, el orden de drenaje se podrá ver en la siguiente imagen.

**Ilustración 18. Orden de drenaje de la cuenca de estudio**



Fuente: Elaboración propia

### 3.4.5.5 Densidad de drenaje

Esta medida es utilizada en hidrología para describir la cantidad de canales de drenaje en la relación con el área de la cuenca hidrográfica. Esta medida proporciona información sobre la eficiencia con la que el agua fluye a través de la cuenca y puede influir en varios aspectos del ciclo hidrológico y del paisaje. Se obtuvo una densidad de drenaje de:

$$D = \frac{L}{A}$$

Donde:

L= Longitud de los cauces en Km

A= Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

$$D = \frac{1.54Km^2}{5.62Km} = 3.658 Km$$

### 3.4.5.6 Cálculo de caudal según el área de la cuenca

Se utiliza este método, cuando no se encuentra información directa de caudales de drenaje en la zona, es decir, no existe una estación limnigráfica en la zona de estudio, por ello utilizando datos como escorrentía superficial, históricos de lluvia de corta

duración, características geométricas de la cuenca, del suelo y vegetación, se calcula el caudal máximo de la zona.

Para ello existen dos procedimientos:

- 1) El método racional que según varios autores se utiliza en cuencas hidrográficas cuya área de drenaje se encuentre entre 0.65 y 12.5  $Km^2$ .
- 2) Método del hidrograma de escorrentía superficial: este es utilizado en cuencas con áreas mayores a 2.5  $Km^2$ .

Dado que nuestra cuenca cuenta con un área de 1.43569  $Km^2$  se utilizará el método racional.

### 3.4.5.7 Factor de escorrentía (C)

Para el valor de escorrentía utilizaremos tablas elaboradas para tal fin, esta vez tomada del manual de drenaje de carreteras del Invias.

**Tabla 7. Coeficiente de escorrentía**

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
<b>BOSQUES</b>			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
<b>PASTOS</b>			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
<b>TIERRAS CULTIVADAS</b>			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.			

Fuente: Manual de drenaje de carreteras del INVIAS

Teniendo cuenta que las características de la zona, se observa que es boscosa montañosa de suelo limo arcilloso y el coeficiente escorrentía es de 0.60.

### 3.4.5.8 Intensidad de la lluvia.

Al no contar con datos específicos de precipitación de la zona, se halla la intensidad de la lluvia calculando la curva IDF (intensidad – duración - frecuencia) de la estación climatológica Los Tiestos operada por la CAR ubicada cerca de la cuenca de estudio.

La expresión a utilizar para el cálculo de la intensidad es la siguiente:

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{(t/60)^c}$$

Donde:

$i$  = es la intensidad de la lluvia en milímetros por hora  $\frac{mm}{h}$

$T$  = Periodo de retorno (años).

$M$  = Precipitación máxima promedio anual en 24h (mm).

$t$  = Duración de la lluvia (min).

$a, b, c, d$  = Parámetros de ajuste (obtenidos de la tabla 2.12 de manual de drenaje de invias).

**Tabla 8. Parámetros de ajuste de la regresión.**

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Manual de drenaje de carreteras del INVIAS

### 3.4.5.9 Análisis de la variación temporal de la precipitación

Para datos hidrometeorológicos se utiliza las estaciones meteorológicas, las cuales suministran datos completos de la zona de estudio. El primer análisis que se realiza corresponde a la evolución de la precipitación anual, con el fin de establecer los ciclos de años húmedos y secos. A continuación, se encuentran los datos de valores máximos mensuales en 24 horas de precipitación para la estación Los Tiestos, ubicada cerca de la zona de estudio y es operada por la Corporación Autónoma Regional (CAR), obteniendo así la siguiente tabla.

**Tabla 9. Precipitación máxima en 24 horas (mm)**

<b>C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA</b>												
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica												
<b>PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)</b>												
ESTACIÓN : 2306039 LOS TIESTOS												
<b>AÑO</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRE</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOST</b>	<b>SEPTI</b>	<b>OCTUB</b>	<b>NOVIE</b>	<b>DICIE</b>
2007			69	70	21	20	22	40	21	55	45	30
2008	65	44	64	41	58	35	47	51	29	65		15
2009	17	46	43	62	55	70	26	17	15	25	35	21
2010	37	25	90	60	61	34	85	17	77	30	68	41
2011	12	30	58	69	95	36	10	28	70	30	56	32
2012	54	21	27	54	12	8	22	6	29	46	31	64
2013	25	37	59	59	71	30	19	56	72	43	54	60
2014	50	33	81	25	73	38	12	30	35	55	42	20
2015	26	30	65	59	18	27	22	5	20	25	17	5
2016	15	19	15	25	22	17	10	30	15	40	50	26
2017	50	32	29	71	58	37	29	25	31	30	39	22
2018	20	10	54	42	60	43	36					
2019	13	65	62,5	62,3	38	36,2	17,4	4	43,4	63,4	25,3	42,1
2020	24,5	54	26,5	29,7	48,3	91,5	20,7			62	55,6	25,7
2021	31,8	32,5	53,8	44,6	57,2	52	18,5	142,4	46,5	47,6	26,4	53

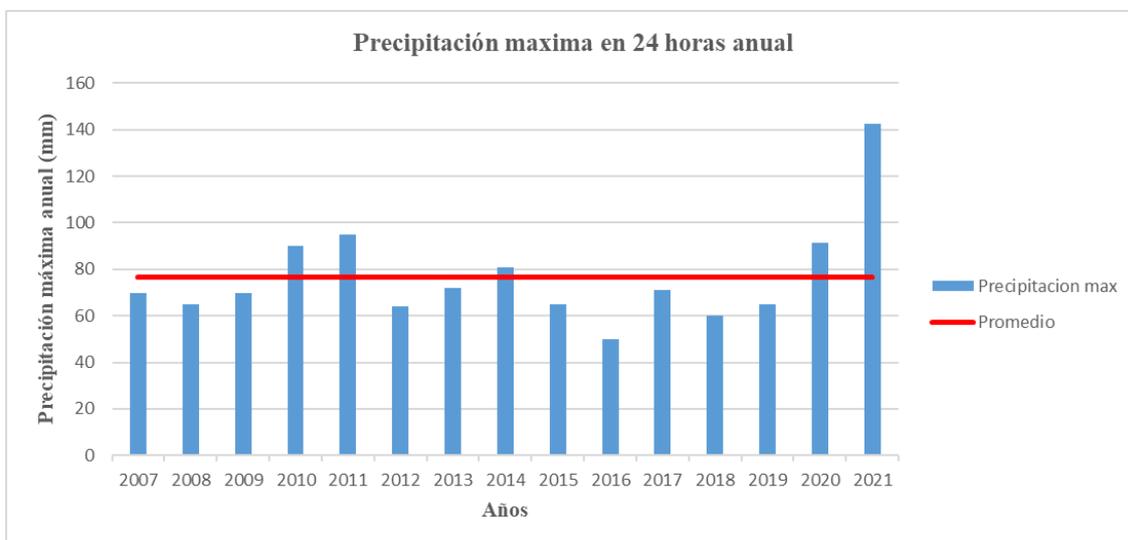
Fuente: Car – Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca

De la cual se extrajeron los valores máximos registrados en cada año y se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 10. Precipitación máxima (mm)**

AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA (mm)
2007	70
2008	65
2009	70
2010	90
2011	95
2012	64
2013	72
2014	81
2015	65
2016	50
2017	71
2018	60
2019	65
2020	91,5
2021	142,4
PROMEDIO	76,79

Fuente: Propia

**Ilustración 19. Precipitación máxima en 24 horas – estación Los Tiestos.**

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la ilustración anterior se ve reflejada la precipitación máxima en 24 horas anual comprendida entre los años 2007 y 2021 para la estación Los Tiestos, siendo este valor de 76,79 mm.

### 3.4.5.10 Tiempos de concentración

Se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma. (INVIAS, 2011)

A continuación, se muestra el cálculo realizado implementando las diferentes ecuaciones, en donde se obtiene un promedio de 27,67 minutos como el tiempo de concentración de la cuenca en estudio.

**Tabla 11. Tiempos de concentración**

Nombre de método o ecuación		Tc	
		Horas	Minutos
1	Ecuación Kirpich	0,19	11,29
2	Ecuación temez	0,26	15,42
3	Ecuación Johnstone y Cross	0,91	54,63
4	Ecuación de giandotti	0,5	30,12
5	Ecuación de SCS-Ranser	0,19	11,29
6	Ecuación de V.T Chow	0,65	39,00
7	Ecuación del cuerpo de ingenieros del ejército de los EE.UU	0,57	34,53
8	Ecuación de Federal Aviation Administration	0,42	25,08
PROMEDIO		0,46	27,67

Fuente: Propia

### 3.4.5.11 Curvas I.D.F

De acuerdo al manual de drenaje para carreteras INVIAS se calcula la precipitación promedio máxima en 24 horas multianual la cual nos arroja un valor de 76.79 mm y de acuerdo a la regionalización descrita en la metodología, la cuenca se encuentra en la Región Andina. A continuación, se establecen los resultados de la intensidad para un tiempo de hasta 3 horas y un periodo de retorno de hasta al menos 500 años:

$$i = \frac{0.94 * T^{0.18} * 76.7933^{0.83}}{(t/60)^{0.66}}$$

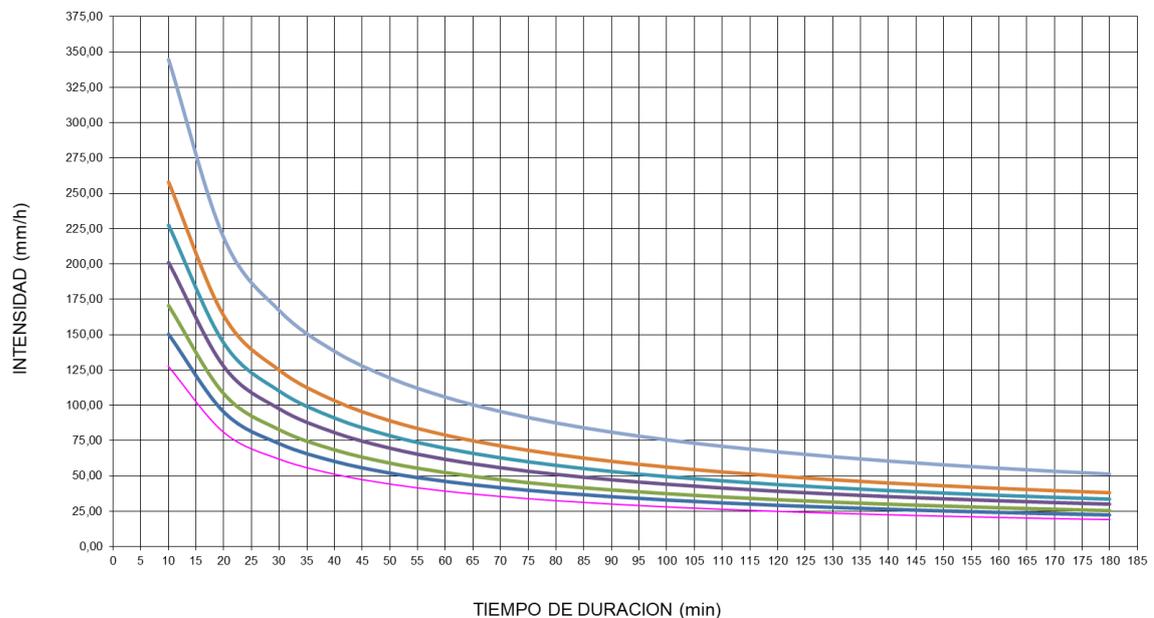
**Tabla 12. Cálculo intensidad**

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia de repetición							
Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
10	127,56	150,43	170,42	200,98	227,69	257,94	344,62
20	80,73	95,20	107,86	127,20	144,10	163,25	218,10
27,67	65,16	76,84	87,06	102,67	116,31	131,76	176,04
30	61,77	72,85	82,53	97,33	110,27	124,92	166,89
40	51,09	60,25	68,26	80,50	91,20	103,32	138,03
50	44,10	52,00	58,91	69,48	78,71	89,17	119,13
60	39,10	46,11	52,23	61,60	69,78	79,06	105,62
70	35,31	41,65	47,18	55,64	63,03	71,41	95,41
80	32,33	38,13	43,20	50,95	57,72	65,39	87,36
90	29,92	35,28	39,97	47,14	53,40	60,50	80,82
100	27,91	32,91	37,28	43,97	49,81	56,43	75,39
110	26,21	30,90	35,01	41,29	46,78	52,99	70,80
120	24,74	29,18	33,06	38,98	44,17	50,03	66,85
130	23,47	27,68	31,36	36,98	41,89	47,46	63,41
140	22,35	26,36	29,86	35,21	39,89	45,19	60,38
150	21,35	25,18	28,53	33,65	38,12	43,18	57,69
160	20,46	24,13	27,34	32,24	36,53	41,38	55,29
170	19,66	23,19	26,27	30,98	35,09	39,76	53,12
180	18,93	22,33	25,30	29,83	33,80	38,29	51,15

Fuente: Propia

En la siguiente figura se podrán observar los resultados presentados en la tabla anterior, obteniendo así las curvas de intensidad, frecuencia y duración para la Quebrada Chorrera en Cundinamarca.

**Ilustración 20. Curvas IDF**



Fuente: Propia

Con estos datos, se procede a calcular el caudal máximo para el tiempo de concentración de la cuenca y para cada periodo de retorno.

**Tabla 13. Caudal máximo para el tiempo de concentración de la cuenca**

Periodo de retorno	Caudal
2 años	15,59
5 años	18,39
10 años	20,83
25 años	20,83
50 años	27,83
100 aos	31,53
500 años	41,13

Fuente: Propia

#### 3.4.5.12 Análisis de caudales medios

La información hidrológica es escasa o nula en la zona de estudio, sin embargo, existen las estaciones hidrológicas que pertenecen a las cuencas aledañas que pueden brindar información.

Los datos de las estaciones hidrológicas cercanas a la zona cuentan con las siguientes características:

**Tabla 14. Características de las cuencas aledañas a la zona de estudio**

ESTACIÓN	CORRIENTE	ÁREA CUENCA (Km <sup>2</sup> )	ELEVACIÓN (msnm)	CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /s)
Charco largo	Rio medio negro	162,27	940	6,88
Puerto leticia	Rio murca	219,68	1152	9,47
El Cucharal	Rio alto negro	489,46	1360	19,2

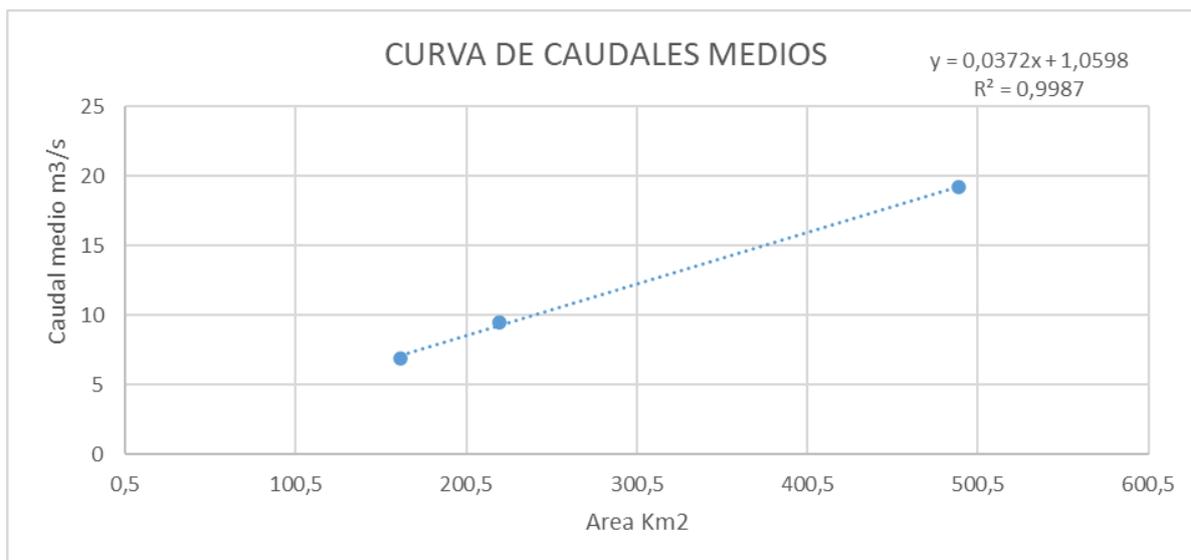
Fuente: Propia

#### 3.4.5.13 Caudal medio mensual multianual

Para estimar el caudal medio mensual multianual de la cuenca de la quebrada La Chorrera en el sitio de la bocatoma, se usó el método regional de caudales, el cual, se relaciona el caudal medio mensual registrado en las estaciones hidrológicas cercanas a la zona de estudio, con el fin de encontrar una relación funcional entre caudal y el área de la cuenca por el método estadístico de mínimos cuadrados.

Con esta relación funcional se estima el caudal medio multianual en una cuenca. En la gráfica se puede observar la relación funcional de tipo lineal de la estación hidrológica de la zona de estudio.

### Ilustración 21. Curva de caudales mínimos multianuales



Fuente: Propia

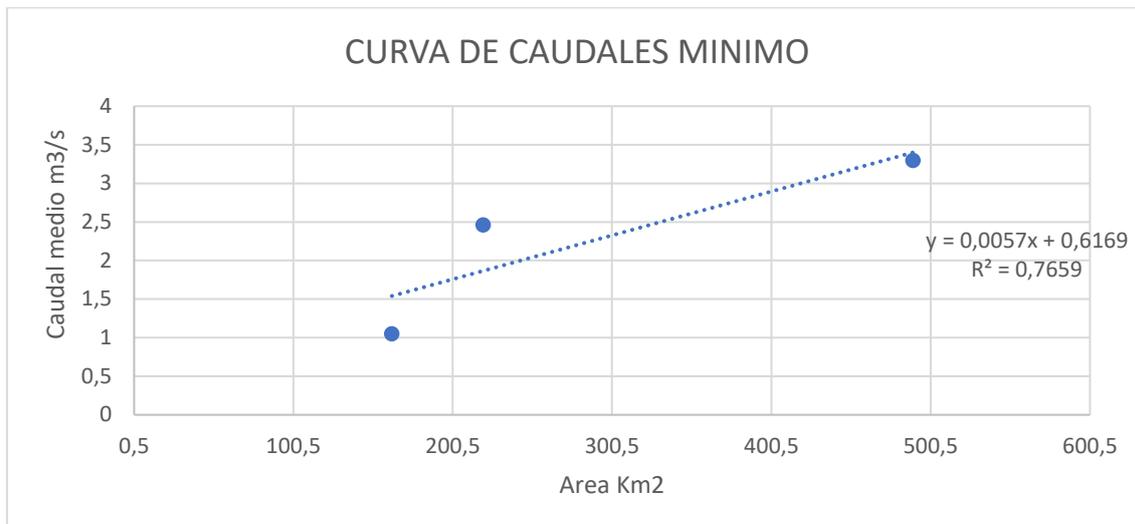
Para el área de  $1.43569 \text{ Km}^2$  que tiene la cuenca de estudio para el respectivo punto de captación propuesto, el caudal medio es de:

$$Q = 1,112 \frac{m^3}{s}$$

#### 3.4.5.14 Cálculo de niveles mínimos

Para estimar el caudal mínimo en el lugar, es necesario estimar el caudal medio mínimo multianual, que se obtiene siguiendo un procedimiento similar al anterior, para ello se debe utilizar los registros históricos de caudales mínimos de la estación. Para esta serie de tiempo se calculó el caudal medio mínimo y se relacionaron con el área aferente, los resultados se muestran a continuación:

### Ilustración 22. Curva de caudales mínimos multianuales



Fuente: Propia

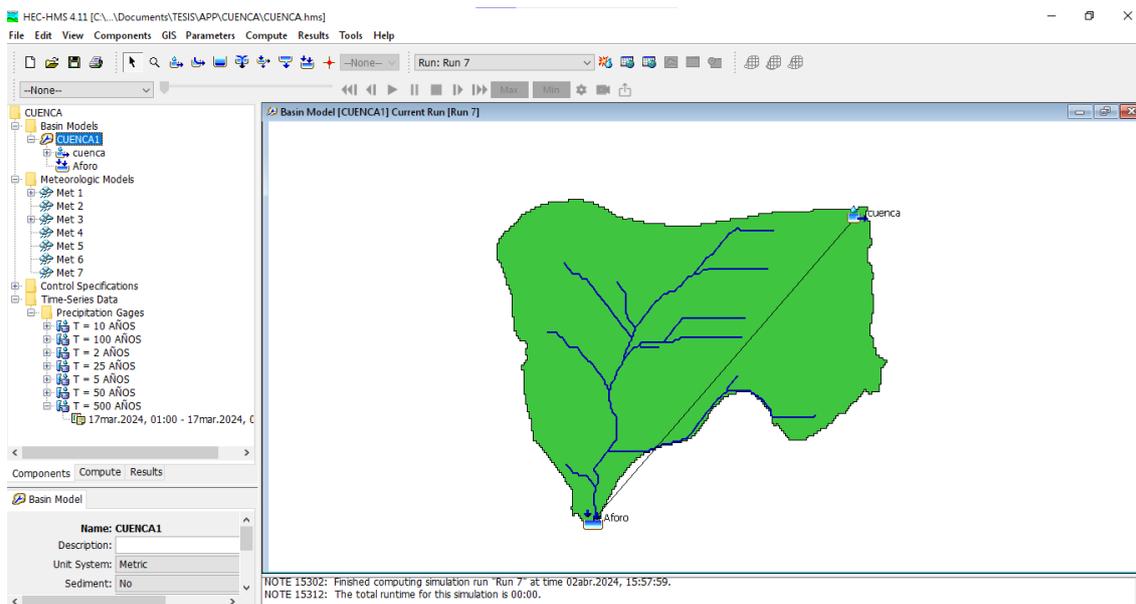
De acuerdo con esta gráfica, el caudal mínimo multianual estimado para la cuenca de 1.43569 Km<sup>2</sup> es de:

$$Q = 1,112 \frac{m^3}{s}$$

#### 3.4.5.15 Cálculo de niveles máximos

Para analizar los respectivos caudales encontrados con base en las IDF, encontrados por medio de la metodología del INVIAS y los hietogramas resultados de estas, se realiza la modelación hidrológica por medio de la metodología del SCS con el respectivo numero de la curva establecido para los diferentes usos y tipos de suelos encontrados en la cuenca hidrográfica. A continuación, se anexa ilustración del modelo base de la cuenca para la modelación HEC HMS para la vereda La Hermosa.

### Ilustración 23. Modelación HEC HMS para la vereda La Hermosa.



Fuente: Propia

Por medio del software de modelación hidrológica HEC-HMS se realizó el correspondiente estudio hidrológico de la cuenca a manera de confirmar los caudales máximos hallados anteriormente.

#### 4. Diseño metodológico

Los cálculos y el diseño del sistema de acueducto de la vereda La Hermosa, se realizará teniendo en cuenta el procedimiento del marco teórico y los datos hidrológicos hallados.

##### 4.1 Información demográfica

La comunidad en la vereda de la Hermosa, ubicada en el municipio de La Palma en el departamento de Cundinamarca, consta de 107 habitantes según los datos recopilados en un censo del SISBÉN. En consecuencia, se ha establecido un periodo de diseño de 25 años para el desarrollo de proyectos, considerando que presenta un nivel de complejidad bajo, se utiliza el método geométrico, aritmético y exponencial para evaluar la proyección hasta el año 2048.

**Tabla 15. Población SISBÉN**

Población Segun SISBÉN			
Vereda La Hermosa	Población		
	2018	2023	2048
	100	107	146

Fuente: SISBÉN

**4.2 Cálculo de la población futura**

Para el cálculo de la población futura se utilizarán los tres métodos sugeridos para el nivel de complejidad de la vereda.

**4.2.1 Método aritmético**

Asumiendo que en el año 2023 la población último censo es de 107 habitantes, la población censo inicial es de 100 habitantes la población del año 2048 como último censo, considerando el periodo de diseño de 25 años como lo establece la Resolución 0330 de 2017, los datos que se van a obtener son los siguientes:

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

Reemplazando con los datos que se tienen:

$$P_f = 107 + \frac{107-100}{2023-2018} * (2048 - 2023) = 142 \text{ habitantes}$$

**4.2.2 Método geométrico**

Teniendo en cuenta la tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}} - 1$$

$$r = \left( \frac{107}{100} \right)^{\frac{1}{(2023-2018)}} - 1 = 0.013$$

Se obtiene una población de:

$$P_f = 107 (1 + 0.013)^{2048-2023} = 150.07 \approx 150$$

Se obtiene una población de:

$$P_f = 107 (1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

### 4.2.3 Método exponencial

Para hallar  $k$  como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, se obtiene:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

$$k = \frac{\ln 107 - \ln 100}{2023 - 2018} = 0.013$$

Para el método exponencial, se tiene:

$$P_f = 100 * e^{0.013 * (2048 - 2018)} = 150$$

Teniendo en cuenta el RAS 2000, se debe calcular el promedio de los tres métodos y así obtener la población de diseño, esta se calculará de la siguiente manera:

$$Poblacion\ de\ diseño\ 2048 = \frac{(142 + 150 + 150)}{3} = 146\ habitantes$$

Es importante determinar el cálculo de la población flotante, esta se determinará a partir de la cantidad de días en el año en el que el municipio cuenta con afluencia de visitantes. El ajuste por población flotante es del 10% sin sobrepasar el 20% que recomienda el RAS, por lo tanto, se tiene:

$$P_f = 146 + (146 * 0,1) = 161\ habitantes$$

En la siguiente tabla se presenta la proyección de población calculada por los tres métodos:

**Tabla 16. Cálculo de población proyectada a 2048, por el método aritmético, geométrico y exponencial**

TIEMPO (AÑOS)	AÑO	POB (ARITMETICA)	POB (GEOMETRICA)	POB (EXPONENCIAL)	PROMEDIO
0	2023	107	107	107	107
1	2024	108	108	108	108
2	2025	110	110	110	110
3	2026	111	111	111	111
4	2027	113	113	113	113
5	2028	114	114	114	114
6	2029	115	116	116	116
7	2030	117	118	118	117
8	2031	118	119	119	119
9	2032	120	121	121	120
10	2033	121	123	123	122
11	2034	122	124	124	124
12	2035	124	126	126	125
13	2036	125	128	128	127
14	2037	127	129	129	128
15	2038	128	131	131	130
16	2039	129	133	133	132
17	2040	131	135	135	133
18	2041	132	137	137	135
19	2042	134	138	138	137
20	2043	135	140	140	139
21	2044	136	142	142	140
22	2045	138	144	144	142
23	2046	139	146	146	144
24	2047	141	148	148	145
25	2048	142	150	150	146

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3 Cálculo de la dotación neta

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos en el marco teórico, la dotación neta se calculará de la siguiente manera:

$$Dotacion\ neta = 130 \frac{L}{hab * dia}$$

**Tabla 17. Dotación neta según m.s.n.m**

VEREDA	ELEVACIÓN	DOTACION NETA MAXIMA
VEREDA LA HERMOSA, LA PALMA, CUNDINAMARCA	1265 m	130 L/HAB*DIA

Fuente: Ministerio de vivienda, 2017

Dada la elevación de la vereda, seleccionamos la dotación neta máxima la cual es 130 litros por habitante día (130 L/HAB\*DIA).

La dotación neta asignada para la población flotante se calculará de la siguiente manera:

$$Dotacion\ neta\ ajustada = 130 \frac{L}{hab * dia} * 0,1 = 13 \frac{L}{hab * dia}$$

$$Dotacion\ neta\ ajustada = 143 \frac{L}{hab * dia}$$

#### 4.4 Cálculo de la dotación bruta

Según la Resolución 0330 de 2017, el porcentaje de pérdidas técnicas máximas no debe superar el 25%, se tiene:

$$D_{Bruta} = \frac{143 \frac{L}{hab * dia}}{(1 - 25\%)} = 191,66 \frac{L}{hab * dia}$$

#### 4.5 Cálculo de caudales

##### 4.5.1 Caudal medio diario

Con la población proyectada para el año 2048, aplicando la ecuación se obtiene:

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

$$Q_{md} = \frac{161 * 190,66 \frac{L}{hab * dia}}{86400} = 0.355 \frac{L}{s}$$

#### 4.5.2 Caudal máximo diario

Teniendo en cuenta el caudal medio diario y el coeficiente de consumo máximo diario, se calcula el caudal de la siguiente manera:

**Tabla 18. Factor de mayoración K1**

Factor de mayoración "K1"	Población
1,2	> 12500
1,3	<= 12500

Fuente: RAS

La población estudiada es de 161 habitantes por lo tanto el K1 corresponde a 1,3. Teniendo en cuenta esto se tiene:

$$QMD = Qmd * K_1$$

$$QMD = 0,355 * 1,3 = 0,4615 \frac{L}{s}$$

#### 4.5.3 Caudal máximo horario

Con el caudal máximo diario calculado y adoptando el valor del coeficiente máximo horario, se calcula el caudal de la siguiente ecuación:

**Tabla 19. Factor de mayoración K2**

Factor de mayoración "K2"	Población
1,5	> 12500
1,6	<= 12500

Fuente: RAS

Con esta información se procede a calcular el caudal máximo horario de la vereda La Hermosa, ya que su población es menor a la estipulada en la tabla, utilizamos el factor de mayoración  $K_2 = 1,6$ .

$$QMH = QMD * K_2$$

$$QMH = 0,4615 * 1,6 = 0,739 \frac{L}{s}$$

**Tabla 20. Factor cálculo de caudales de diseño en función de la población**

AÑO	POBLACIÓN	DOTACIÓN BRUTA	Qmd	QMD	QMH
		L/HAB*DIA	L/S	L/S	L/S
2023	107	190,6666667	0,2361265	0,3069645	0,4911432
2024	108	190,6666667	0,2383333	0,3098333	0,4957333
2025	110	190,6666667	0,2427469	0,315571	0,5049136
2026	111	190,6666667	0,2449537	0,3184398	0,5095037
2027	113	190,6666667	0,2493673	0,3241775	0,518684
2028	114	190,6666667	0,2515741	0,3270463	0,5232741
2029	116	190,6666667	0,2559877	0,332784	0,5324543
2030	117	190,6666667	0,2581944	0,3356528	0,5370444
2031	119	190,6666667	0,262608	0,3413904	0,5462247
2032	120	190,6666667	0,2648148	0,3442593	0,5508148
2033	122	190,6666667	0,2692284	0,3499969	0,5599951
2034	123	190,6666667	0,2714352	0,3528657	0,5645852
2035	125	190,6666667	0,2758488	0,3586034	0,5737654
2036	126	190,6666667	0,2780556	0,3614722	0,5783556
2037	128	190,6666667	0,2824691	0,3672099	0,5875358
2038	129	190,6666667	0,2846759	0,3700787	0,5921259
2039	131	190,6666667	0,2890895	0,3758164	0,6013062
2040	133	190,6666667	0,2935031	0,381554	0,6104864
2041	134	190,6666667	0,2957099	0,3844228	0,6150765
2042	136	190,6666667	0,3001235	0,3901605	0,6242568
2043	138	190,6666667	0,304537	0,3958981	0,633437
2044	139	190,6666667	0,3067438	0,398767	0,6380272
2045	141	190,6666667	0,3111574	0,4045046	0,6472074
2046	143	190,6666667	0,315571	0,4102423	0,6563877
2047	144	190,6666667	0,3177778	0,4131111	0,6609778
2048	146	190,6666667	0,3221914	0,4188488	0,670158
POBLACION FLOTANTE	161	190,6666667	0,3552932	0,4618812	0,7390099

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.4 Caudal de diseño por componente

Teniendo en cuenta los caudales calculados anteriormente será posible hallar el caudal de diseño, de acuerdo a los parámetros establecidos, según la Resolución 0330 de 2017 los caudales de diseño de cada uno de los componentes del sistema se pueden reflejar en la siguiente tabla:

**Tabla 21. Caudales de diseño**

COMPONENTE	CAUDAL (L/S)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /S)
Captación fuente superficial	0,923762346	0,000923762
Captación fuente subterránea	0,461881173	0,000461881
Desarenador	0,461881173	0,000461881
Aducción	0,461881173	0,000461881
Conducción	0,461881173	0,000461881
Tanque	0,461881173	0,000461881
Red de distribución	0,739009877	0,00073901

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6 Diseño de la bocatoma

Para el diseño de la bocatoma se tiene en cuenta los datos hidrológicos hallados anteriormente y el procedimiento expuesto en el marco teórico, a continuación, se realiza el desarrollo

##### 1. Caudal de entrada a la rejilla

Para el cálculo del caudal de entrada a la rejilla se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

**Tabla 22. Datos hidrológicos “Quebrada La Hermosa”**

Caudal máximo	28,88 m <sup>3</sup> /s
Altura máxima	1530 m
Caudal mínimo	1,11 m <sup>3</sup> /s
Altura mínima	1010 m

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 23. Criterios de diseño para el cálculo de caudal a la entrada de la rejilla**

Parámetro	Valor
Caudal mínimo	1,11 m <sup>3</sup> /s
Ancho total de la garganta del vertedero	2,18 m
Ancho de la rejilla	1 m

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el cálculo de la rejilla se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$Q1 = \frac{Q_{min}}{\left(\frac{W}{b}\right)}$$

$$Q1 = \frac{1,11 \frac{m^3}{s}}{\left(\frac{2,18m}{1m}\right)} = 0,509 \frac{m^3}{s}$$

## 2. Caudal de captación

El cálculo del caudal de captación se hará por medio de la siguiente formula y se obtiene:

$$Q_{dis} = 2 * QMD$$

$$Q_{dis} = 2 * 0,000462 \frac{m^3}{s} = 0,000924 \frac{m^3}{s}$$

## 3. Caudal de salida

Teniendo en cuenta el valor calculado del caudal de captación y aplicando la siguiente ecuación, se obtiene:

$$Q2 = Q1 - Q_{dis}$$

$$Q2 = 0,509 \frac{m^3}{s} - 0,000924 \frac{m^3}{s} = 0,508 \frac{m^3}{s}$$

## 4. Altura crítica

Considerando la geometría rectangular del canal y teniendo en cuenta que caudal unitario es  $q=Q/b$ , se obtiene:

$$q = \frac{Q}{b}$$

$$q = \frac{0,509 \frac{m^3}{s}}{1 m} = 0,509 \frac{m^3}{s} * m$$

Quedando como ecuación final

$$Yc = \sqrt[3]{\frac{\left(0,509 \frac{m^3}{s} * m\right)^2}{9,8 \frac{m}{s^2}}} = 0,297 m$$

## 5. Velocidad crítica

Con los valores calculados en el numeral anterior se calcula la velocidad critica por medio de la siguiente ecuación:

$$Vc = \frac{Q1}{b * Yc}$$

$$Vc = \frac{0,509 \frac{m^3}{s}}{1m * 0,297m} = 1,713 \frac{m}{s}$$

### 6. Energía crítica o mínima

A partir de la profundidad y la velocidad crítica, se emplea la siguiente ecuación y se obtiene:

$$E_c = Y_c + \frac{V_c^2}{2g}$$

$$E_c = 0,297 \text{ m} + \frac{\left(1,713 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,367 \text{ m}$$

### 7. Energía específica al inicio de la rejilla

Para calcular la energía específica se debe asumir una altura inicial que este cerca al valor de la altura crítica, de esta manera se asume que  $Y_1 = 0,040 \text{ m}$ , teniendo este valor se emplea la siguiente ecuación:

$$E = Y_1 + \left( \frac{Q^2}{2 * g * b^2 * Y_1} \right)$$

$$E = 0,040 \text{ m} + \left( \frac{\left(0,509 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1^2 * 0,040 \text{ m}} \right) = 0,370 \text{ m}$$

### 8. Altura del agua a la entrada de la rejilla

El cálculo de la altura de la lámina de agua antes de la rejilla depende de la energía específica y de la altura asumida, este valor permite tener la relación  $Y_1/Y_c$ , expresada así:

$$\frac{Y_1}{E} = \frac{0,040 \text{ m}}{0,370 \text{ m}} = 0,108$$

Teniendo en cuenta los valores  $Y/Y_c$  vs  $Y/E$ , se obtiene un valor de  $Y_1/Y_c$  de 0,154. A partir de esto, se calculará la altura de la lámina con la siguiente ecuación:

$$Y_1 = Y_c * \left( \frac{Y_1}{Y_c} \right)$$

$$Y_1 = 0,297 \text{ m} * 0,154 = 0,045 \text{ m}$$

### 9. Coeficiente de descarga en la rejilla

Para calcular este coeficiente es importante calcular el coeficiente de descarga, el cual depende del tipo de rejilla. Para este proyecto se emplean las barras paralelas con inclinación horizontal, por lo tanto, se asigna un coeficiente de 0,497.

**Tabla 24. Valores del coeficiente de descarga en rejillas (bocatoma sumergida)**

Tipo de rejilla	Inclinación ( $\phi$ )	Coefficiente $C_d$
Barras paralelas	1:05	0.435
	Horizontal	0.497
Lámina perforada	1:05	0.75
	Horizontal	0.80

Fuente: Acueductos teoría y diseño

#### 10. Numero de barras

El número de barras dependerá de varios criterios que se pueden consultar en la siguiente tabla.

**Tabla 25. Criterios para el diseño de la rejilla**

Parámetro	Valor seleccionado
Diámetro de las barras	3/8" $\rightarrow$ 0.010 m
Espaciamiento de barras	0.020 m

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los requisitos expuestos en Acueductos, teoría y diseño, se tendrá un espaciamiento de barras de 0,020 m.

Con estos valores será posible calcular el número de barras con la siguiente ecuación:

$$n = \left( \frac{1m - 0,020m}{0,010 m + 0,020 m} \right) = 33,19 \text{ barras}$$

#### 11. Comprobación del ancho

Para la comprobación del ancho se tendrá en cuenta la siguiente ecuación:

$$b = (n * \phi) + (s * (n + 1))$$

$$b = (33,19 \text{ barras} * 0,010m) + (0,020m * (33,19 \text{ barras} + 1)) = 0,960 m$$

#### 12. Relación entre el área de abertura y el área total

Para obtener esta relación se utilizará la siguiente ecuación:

$$e = \frac{(n + 1) * s}{b}$$

$$e = \frac{(33,19 \text{ barras} + 1) * 0,020}{1 m} = 0,684 m$$

#### 13. Diseño del canal recolector

Es el canal encargado de recoger el agua o de captar la descarga final, este se debe diseñar considerando el caudal de diseño de la estructura (Q1).

Para hallar las variables críticas del canal recolector se deberán tener en cuenta las ecuaciones de altura crítica, velocidad crítica y energía crítica.

- Altura crítica

$$q = \frac{0,509 \frac{m^3}{s}}{1 m} = 0,509 \frac{m^3}{s} * m$$

Quedando como ecuación final

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{\left(0,509 \frac{m^3}{s} * m\right)^2}{9,8 \frac{m}{s^2}}} = 0,297 m$$

- Velocidad crítica

$$V_c = \frac{0,509 \frac{m^3}{s}}{1m * 0,297m} = 1,713 \frac{m}{s}$$

14. Altura del agua al final del canal recolector

Partiendo de la altura crítica, será posible calcular la lámina de agua por medio de la siguiente ecuación:

$$H_2 = 1.1 Y_c$$

$$H_2 = 1.1 * 0,297 m = 0,326 m$$

15. Velocidad final del canal recolector

Se podrá calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$V_2 = \frac{Q}{b * H_2}$$

$$V_2 = \frac{0,509 \frac{m^3}{s}}{1m * 0,326m} = 1,561 \frac{m}{s}$$

Al comparar el valor de la velocidad crítica hallada anteriormente teniendo como resultado  $1,713 \frac{m}{s}$ , es posible comprobar que la velocidad final del canal recolector es menor. Es decir que el diseño garantiza que la condición de flujo sea subcrítica.

#### 4.7 Diseño del desarenador

Se presenta el diseño de las 4 zonas que componen el desarenador.

##### Zonas de sedimentación:

1. Caudal de diseño

Teniendo en cuenta los caudales expuestos en la tabla 23, el caudal de diseño adoptado es  $0,000461 \frac{m^3}{s}$

## 2. Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación es el parámetro más importante para el diseño del desarenador, para hallarlo es necesario conocer algunos datos, los cuales se pueden ver en la siguiente tabla:

**Tabla 26. Parámetros de diseño**

Parámetro	Valor	Fuente
Temperatura del agua	15 °C	
Viscosidad del agua	$0,0131 \frac{cm^2}{s}$	Acueductos, teoría y diseño
Peso específico de la arena	$2,65 \frac{g}{cm^3}$	Resolución 0330 de 2017
Diámetro de la partícula a remover (arena muy fina)	0,002 cm	Tabla 8 – Acueductos, teoría y diseño

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos, se aplica la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{(p_s - p) * d^2 * g}{18 * \nu}$$

$$V_s = \frac{\left(2,65 \frac{g}{cm^3} - 1 \frac{g}{cm^3}\right) * (0,002 \text{ cm})^2 * 9,8 \frac{cm}{s^2}}{18 * 0,0131 \frac{cm^2}{s}} = 0,027 \frac{cm}{s}$$

## 3. Velocidad de sedimentación teórico

Existen valores de velocidad de sedimentación teóricos, de acuerdo al diámetro de la partícula a remover que es de 0,002 cm según la tabla 8 se obtendrá una velocidad de sedimentación de 0,06 cm/s.

## 4. Velocidad de sedimentación para el diseño

Para obtener un valor de la velocidad de sedimentación, se emplea la siguiente ecuación:

$$V_{sd} = \frac{V_s + V_{st}}{2}$$

$$V_{sd} = \frac{0,027 \frac{cm}{s} + 0,06 \frac{cm}{s}}{2} = 0,04 \frac{cm}{s} = 0,0004 \frac{m}{s}$$

## 5. Tiempo que demora la partícula en tocar el fondo

Asumiendo la altura de la estructura de 1,65 m será posible calcular el tiempo que demora la partícula en tocar el fondo como se muestra a continuación:

$$t = \frac{H}{Vsd}$$

$$t = \frac{1,65 \text{ m}}{0,0004 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 62,91 \text{ minutos}$$

Como el tiempo calculado es mayor a 20 min, la altura propuesta cumple con los parámetros de diseño establecidos por la Resolución 0330 de 2017.

#### 6. Relación a/t

Esta relación depende del estado de las pantallas deflectores se espera que la remoción sea más del 80%. Teniendo de referencia los valores de la tabla 9, la relación de a/t será de 2,370.

#### 7. Tiempo de sedimentación acorde con el estado de las pantallas deflectoras

El despeje de la ecuación para el cálculo del tiempo de sedimentación se presenta a continuación:

$$a = x * t$$

$$a = 2,370 * 3774,45 \text{ s} = 8945,44 \text{ s}$$

#### 8. Volumen o capacidad del desarenador

Con la siguiente ecuación se calcula el volumen:

$$V = Qdis * a$$

$$V = 0,000461 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 8945,44 \text{ s} = 4,124 \text{ m}^3$$

#### 9. Área del desarenador

El área del desarenador se podrá hallar empleando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{V}{H}$$

$$A = \frac{4,124 \text{ m}^3}{1,65 \text{ m}} = 2,499 \text{ m}^2$$

#### 10. Área requerida

El área de sedimentación mínima que se requiere para el diseño del desarenador depende del caudal de diseño de la estructura, así como la velocidad y se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Ar = \frac{Q}{Vsd}$$

$$Ar = \frac{0,000461 \frac{m^3}{s}}{0,0004 \frac{m}{s}} = 1,152 m^2$$

Si el área calculada es mayor al área requerida, se asume el cumplimiento del diseño.

#### 11. Ancho de la zona de sedimentación

Se calcula el ancho de la zona de sedimentación con la siguiente ecuación:

$$b = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

$$b = \sqrt{\frac{2,499 m^2}{4}} = 0,790 m$$

#### 12. Longitud zona de sedimentación:

Aplicando la relación mencionada en el paso 11 y considerando el ancho calculado con anterioridad, es posible hallar la longitud del sedimentador por medio de la ecuación:

$$L = 4 * b$$

$$L = 4 * 0,790m = 3,16 m$$

#### 13. Velocidad horizontal

La velocidad se calculará por medio de la siguiente ecuación:

$$Vh = \frac{Qd}{b * H}$$

$$Vh = \frac{0,000461 \frac{m^3}{s}}{0,790 m * 1,65 m} = 0,000353 \frac{m}{s}$$

#### 14. Relación Vh/Vs

Esta relación debe ser menos a 20 y se obtendrá al dividir las velocidades obtenidas, es decir:

$$\frac{Vh}{Vs} = \frac{0,000353 \frac{m}{s}}{0,0004 \frac{m}{s}} = 0,88$$

El valor que se obtiene es de 0,88 por lo tanto se evidencia el cumplimiento en el diseño.

#### Zona de entrada:

**Tabla 27. Parámetros de diseño**

Parámetro	Valor	Fuente
Caudal de diseño	0,000461 $\frac{m^3}{s}$	Tabla 23

Velocidad de paso a través de los orificios	0,20 m/s	Acueductos, teoría y diseño
Diámetro de orificios	2" – 0,051 m	
Ancho de la pantalla deflectora	1 m	Autor
Alto de la pantalla deflectora	0,7 m	Autor
Borde libre de la pantalla deflectora	0,50 m	Autor
Longitud de la pantalla deflectora	0,790 m	Cálculo ancho de la zona de sedimentación

### 1. Altura total de la canaleta

Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$HT = HT + BL$$

$$HT = 0,7 \text{ m} + 0,50 \text{ m} = 1,2 \text{ m}$$

### 2. Área efectiva de orificios

Considerando que la pantalla cuenta con una geometría rectangular, el área efectiva se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ae = \frac{Q}{V}$$

$$Ae = \frac{0,000461 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,00230 \text{ m}^2$$

### 3. Área de cada orificio

A partir del diámetro de los orificios propuestos por el diseñador, será posible calcular el área de estos por medio de la siguiente ecuación:

$$Ao = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$Ao = \frac{\pi * (0,051)^2}{4} = 0,00204 \text{ m}^2$$

### 4. Numero de orificios

El número de orificios con los que contara la pantalla deflectora se calcula con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{Ae}{Ao}$$

$$N = \frac{0,00230 \text{ m}^2}{0,00204 \text{ m}^2} = 1,15 \text{ orificios}$$

#### 6. Espacio de los orificios

Se calculará con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{(Lp - 0.40)}{\left(\frac{N}{3}\right)}$$

$$e = \frac{(0,790 \text{ m} - 0.40)}{\left(\frac{1,15}{3}\right)} = 1,017 \text{ m}$$

#### Zona de lodos:

**Tabla 28. Parámetros de diseño**

Parámetro	Valor	Fuente
Altura de los lodos	0,30 m	Autor
Pendientes de entrada	10%	Resolución 0330 de 2017
Pendientes de salida	10%	Resolución 0330 de 2017

#### 1. Distancia entre el canal recolector de lodos y la entrada del desarenador

Para el cálculo de esta distancia se utiliza la siguiente ecuación:

$$x = \frac{L}{3}$$

$$x = \frac{9,10 \text{ m}}{3} = 3,03 \text{ m}$$

#### 2. Volumen de la tolva

Se calculará con la siguiente ecuación:

$$Vt = V * 20\%$$

$$Vt = 4,124 \text{ m}^3 * 20\% = 0,82 \text{ m}^3$$

#### 3. Distancia de entrada

Con la distancia calculada en el paso 1 y la pendiente asumida del 10%, se calcula la distancia de entrada con la siguiente ecuación:

$$De = x * Pe$$

$$De = 3,03 \text{ m} * 10\% = 0,303 \text{ m}$$

#### 4. Distancia de salida

La distancia de salida de la tolva de lodos es necesario partir de la longitud de la zona de sedimentación y la distancia de entrada al desarenador y el canal recolector de lodos, así como la pendiente de 10% asumida, para hallar se usa la ecuación que se muestra:

$$Ds = (L - X) * Ps$$

$$Ds = (9,10m - 3,03m) * 10\% = 0,607 m$$

#### 5. Carga superficial

Puede ser calculada a partir de la relación entre caudal y área, como se muestra a continuación:

$$CS = \frac{Qd * 86.400}{A}$$

$$CS = \frac{0,000461 \frac{m^3}{s} * 86.400 s}{2,499 m^2} = 0,0159 \frac{m^3}{m^2} / dia$$

#### Zona de salida

Es la zona encargada de recoger el agua clarificada desde un vertedero de la salida, el cual es el parámetro más importante de diseño para esta zona. El procedimiento se expone a continuación:

##### 1. Longitud de la canaleta de salida

Se emplea una longitud igual al ancho del desarenador y el largo de la pantalla deflectora de la zona de entrada. Es decir, el valor de la longitud de la canaleta de salida es de 0,790 m.

##### 2. Velocidad máxima del agua en la canaleta de salida

Se asume la misma velocidad de paso establecido en la zona de entrada del desarenador. Es decir que este valor es de 0,2 m/s.

##### 3. Altura de la lámina de agua sobre la cresta

Para determinar la altura de la lámina se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$h = \left( \frac{Qd}{1.84 * L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$h = \left( \frac{0,000461 \frac{m^3}{s}}{1.84 * 0,790 m} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.00465 m$$

##### 4. Área de la canaleta de salida

Para hallar el área de la canaleta de salida, se aplica la siguiente ecuación:

$$Ac = \frac{Qd}{Vs}$$

$$Ac = \frac{0,000461 \frac{m^3}{s}}{0,20 \frac{m}{s}} = 0,0023 m^2$$

#### 5. Ancho de la canaleta de salida

El ancho de la canaleta deberá ser 1.5 veces la altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero de salida, por lo tanto, se calcula con la siguiente ecuación:

$$bc = 1.5 * h$$

$$bc = 1.5 * 0,00465 \text{ m} = 0,00697 \text{ m}$$

Dado que el resultado obtenido da un valor muy pequeño, se procede a realizar un aumento a 0,150 m, de esta manera se facilitará la limpieza y el mantenimiento del mismo.

#### 6. Altura del vertedero de salida

Para el cálculo de la altura del vertedero de salida se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$hv = \frac{Ac}{bc}$$

$$hv = \frac{0,0023 \text{ m}^2}{0,00697 \text{ m}} = 0,329 \text{ m}$$

### 4.8 Diseño del tanque de almacenamiento

El diseño del tanque de almacenamiento se realiza teniendo en cuenta el procedimiento expuesto anteriormente. A continuación, se desarrolla paso a paso

#### 1. Caudal de diseño

El caudal de diseño del tanque de almacenamiento es el Caudal Máximo Diario (QMD), de acuerdo a lo establecido en la Resolución 0330 de 2017, se asume como caudal de diseño  $0,000461 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 2. Tiempo de abastecimiento

El diseño del tanque de almacenamiento se realizará considerando un día de abastecimiento.

#### 3. Volumen máximo diario

Teniendo en cuenta el tiempo de abastecimiento, el volumen máximo se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$VMD = Qd * t$$

$$VMD = 89,830 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 1 \text{ dia} = 89,830 \text{ m}^3$$

#### 4. Volumen de almacenamiento

Según la Resolución 0330 de 2017, el volumen o capacidad de almacenamiento con la que debe contar el tanque corresponde a 1/3 del volumen máximo diario, se calcula así:

$$V = VMD * \frac{1}{3}$$

$$V = 89,830 \text{ m}^3 * \frac{1}{3} = 29,943 \text{ m}^3$$

#### 5. Volumen sistema contra incendios

De acuerdo a los porcentajes de caudales de incendio, se debe considerar un porcentaje adicional acorde con el riesgo que presente el municipio ante un incendio. La vereda la hermosa tiene un riesgo bajo es decir del 15%, la ecuación para hallarlo es:

$$VSCI = V * \% \text{ Acorde al riesgo}$$

$$VSCI = 29,943 \text{ m}^3 * 15\% = 4,491 \text{ m}^3$$

#### 6. Volumen de almacenamiento total

Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$VT = V + VSCI$$

$$VT = 29,943 \text{ m}^3 + 4,491 \text{ m}^3 = 34,431 \text{ m}^3$$

#### 7. Volumen de regulación

Se tendrá que calcular el factor de consumo horario en la hora de máxima demanda, se utiliza la siguiente ecuación:

$$FHM = \frac{QMH}{MMD}$$

$$FHM = \frac{0,739 \frac{L}{s}}{0,461 \frac{L}{s}} = 1,603$$

El factor de consumo para 1 hora es de 0,16. Para hallar el caudal máximo horario de la hora 1 se utiliza la siguiente ecuación;

$$QMH = 0,461 \frac{L}{s} * 0,16 = 0,0737 \frac{L}{s}$$

Para obtener el volumen del tanque hace se realiza la conversión del QMH hallado y quedaría  $0,265 \text{ m}^3$

De esta manera se podrá calcular el volumen acumulado para cada hora.

#### 8. Volumen de diseño

Según la Resolución 0330 de 2017, el volumen total del tanque de almacenamiento a elegir será el mayor entre la capacidad de almacenamiento y la regulación calculada, por lo tanto, se asume  $118,95 \text{ m}^3$  del volumen de almacenamiento total

#### 9. Longitud y ancho del tanque

De acuerdo al área disponible el diseñador deberá proponer el largo y ancho que tendrá el tanque de almacenamiento, por lo cual se asume un ancho de 5 m y un largo de 8 m.

#### 10. Área del tanque de almacenamiento

El área se calcula a partir de los valores asumidos para el largo y ancho del desarenador, se calcula con la siguiente ecuación:

$$AT = b * L$$

$$AT = 5m * 8m = 40 m^2$$

#### 11. Altura del tanque de almacenamiento

Para calcular la altura del tanque, se tendrá en cuenta el volumen de diseño y el área de este. Se emplea la siguiente ecuación:

$$H = \frac{VD}{AT}$$

$$H = \frac{118,95 m^3}{40 m^2} = 2,97 m$$

#### 12. Altura total del tanque de almacenamiento

Según la Resolución 0330 de 2017, se debe adicionar mínimo 0.30 m como borde libre y se calcula con la siguiente ecuación:

$$HT = H + BL$$

$$HT = 2,97 m + 0,30 m = 3,27 m$$

#### 13. Área del desagüe

Según el RAS 2000 el coeficiente de contracción del desagüe debe estar entre un valor de 0,50 y 0,60 por lo cual este valor será asumido.

El área del desagüe podrá ser calculado con la ecuación de tiempo de vaciado del tanque de almacenamiento. La ecuación es la siguiente:

$$a = \frac{2 * AT * \sqrt{H}}{m * T * \sqrt{2g}}$$

$$a = \frac{2 * 40 m^2 * \sqrt{2,97 m}}{0,55 * (4 horas * \frac{3600 s}{1 hora}) * \sqrt{2 * 9,8 m/s^2}} = 0,00393 m^2$$

#### 14. Radio de la tubería de desagüe

Con el área del desagüe se podrá despejar el radio de la tubería, aplicando la siguiente ecuación:

$$a = \pi * r^2$$

Para conocer el radio de la tubería a instalar se despejará la ecuación del área del desagüe quedando:

$$r = \sqrt{\frac{a}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,00393 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,0353 \text{ m}$$

15. Diámetro de la tubería de desagüe

El diámetro de la tubería de desagüe se obtendrá al duplicar el radio, es decir:

$$\emptyset = 2 * r$$

$$\emptyset = 2 * 0,0353 \text{ m} = 0,070 \text{ m} = 2\frac{1}{2} \text{ ''}$$

16. Velocidad de vaciado

Su cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{H}{T}$$

$$V = \frac{2,97 \text{ m}}{(4 \text{ horas} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}})} = 0,000206 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

17. Diámetro de entrada y salida del tanque

Sabiendo que el diámetro de la tubería se implementa un diámetro de  $2\frac{1}{2}$  '' de entrada y salida.

Los esquemas del tanque de almacenamiento se presentan a continuación:

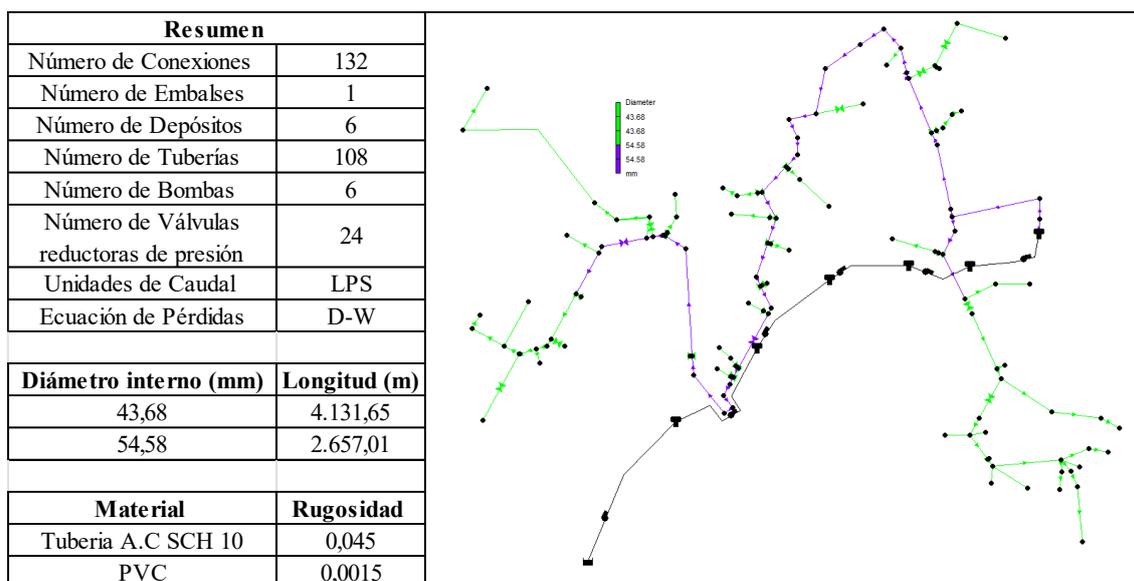
#### **4.9 Diseño de la red de distribución**

##### **4.9.1 Modelación hidráulica**

Por medio del programa EPANET 2.2 se realiza la modelación y simulación de la red hidráulica. Para esto se tienen en cuenta el número de viviendas, iniciando desde el nodo de la bocatoma donde se encuentra la fuente de abastecimiento y se expande a través de cada uno de los puntos que se indican en el plano de la red, todo esto basado en la información de topográfica del lugar.

El sistema de abastecimiento de agua potable está compuesto por las características principales recogidas en la siguiente ilustración.

### Ilustración 24. Red de acueducto



Fuente: Elaboración propia

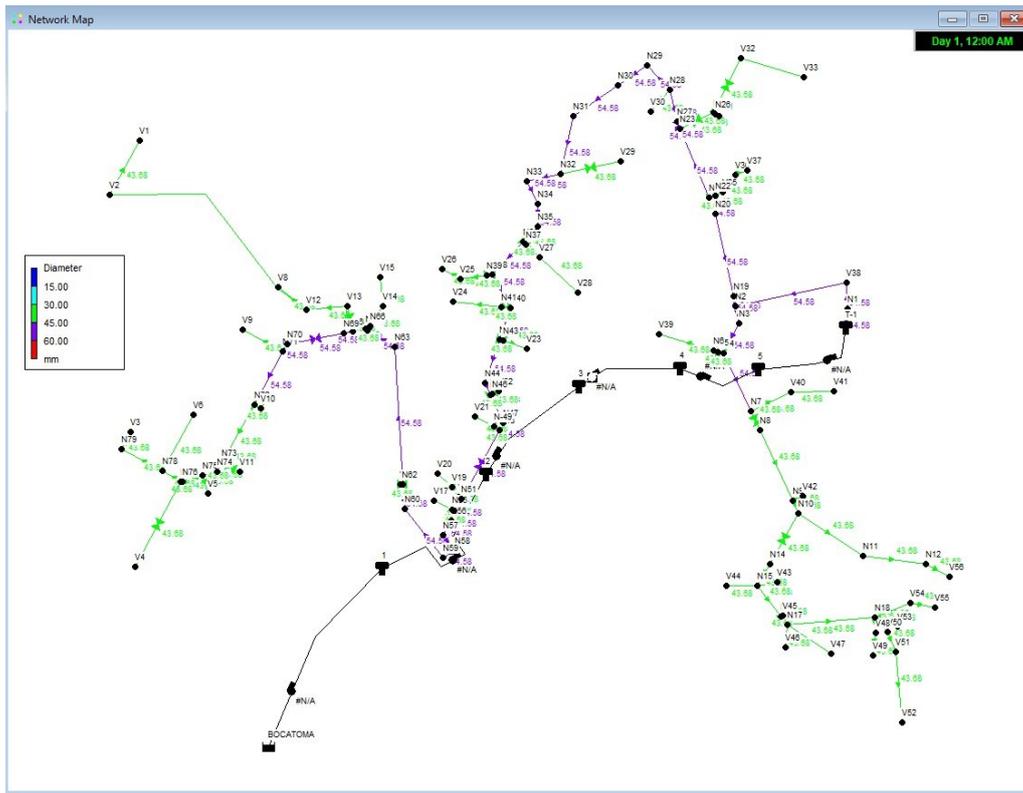
La metodología adoptada para el desarrollo del sistema como primera instancia se estableció la ecuación de pérdidas a utilizar que fue la ecuación de Darcy-Weisbach, posteriormente se importaron la ubicación de los nodos y se asignó sus respectivas alturas y demandas base, debido a las condiciones topográficas y las diferencias en altura del embalse (1009,38 msnm) y la vivienda más elevada (1474,02 msnm), el fluido por sí solo es insuficiente de suplir toda la red de distribución, es por esto que se implementó un sistema de bombeo compuesto por 6 bombas intercaladas con reservorios o tanques para que si una bomba falla no afecte directamente a las demás mientras se soluciona su falla.

#### 4.9.2 Resultados de la modelación hidráulica

Al modelar la red de distribución en el programa se obtienen los siguientes resultados:

- En la red principal los diámetros obtenidos varían entre 43,68 mm (1 ½" diámetro nominal) y 54,58 mm (2" diámetro nominal). Se puede observar en la siguiente imagen.

## Ilustración 25. Diámetros de diseño



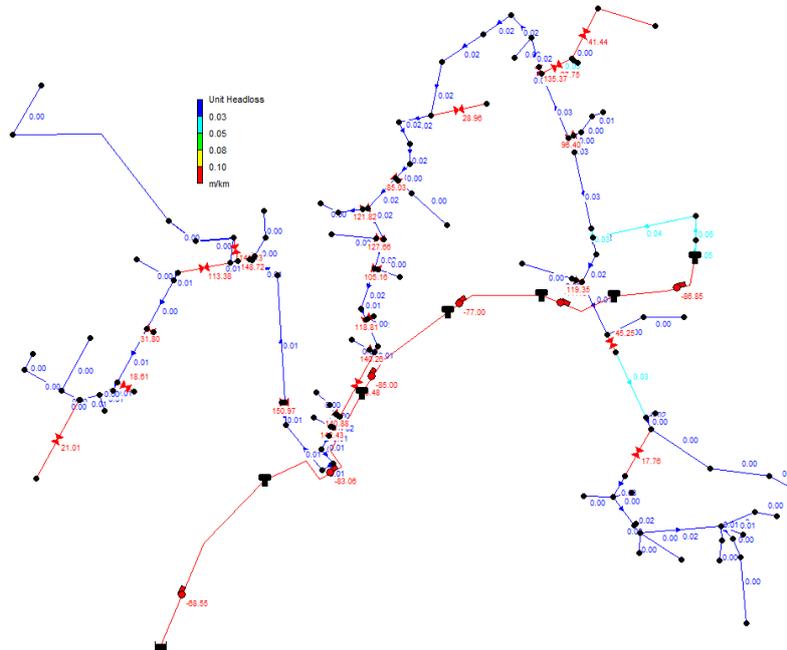
Fuente: Elaboración propia

- Según la Resolución 330 de 2017 en el artículo 61. “Presiones de servicio mínimas en la red de distribución. Se puede abastecer con una presión dinámica hasta el 5% del área total, siempre que la presión mínima sea superior o igual a 5 m.c.a.” y teniendo en cuenta el artículo 62. “Presiones de servicio máximas en la red de distribución. Para sistemas nuevos u optimizaciones, la presión estática máxima debe ser de 50 m.c.a. el área para abastecer con una presión estática superior puede corresponder al 10% del área de la zona de presión, desde que o sobrepase una presión de 55 m.c.a.”



cada vivienda, es por esto que en la siguiente imagen en los lugares donde existe válvula muestra una caída importante en las presiones.

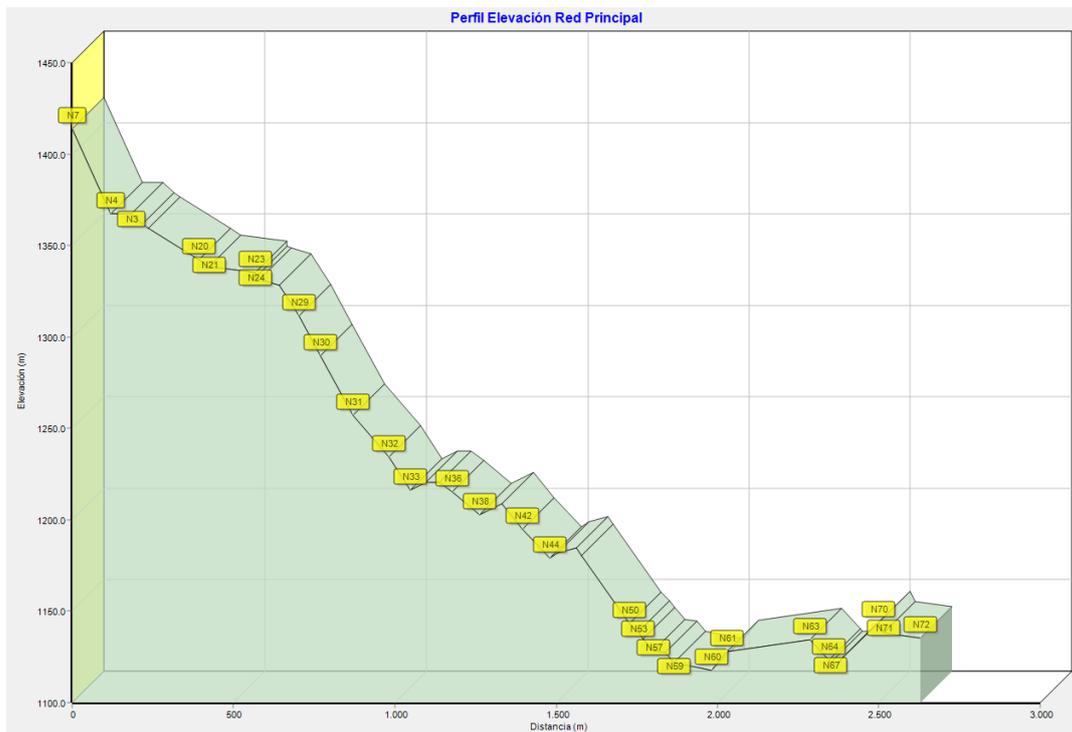
### Ilustración 27. Ubicación de válvulas reguladoras



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se puede observar que en la tubería con presencia de bombas que indica valor en negativo hace referencia que se está ganando presión.

### Ilustración 28. Perfil de elevación de la red principal



Fuente: Elaboración propia

- Dado que en la red principal se presentan presiones por fuera de lo estipulado en la norma debido a su diferencia de alturas a medida que avanza, como se puede observar en la figura (X), y ya que no se puede regular mediante válvulas porque caerían las presiones en los nodos V1 hasta V15 por debajo de lo mínimo permitido, se recomienda que el material de la red principal (representada en color rojo en epanet) sea de Acero al Carbón SCH 10 y en un diámetro de 2" a diferencia de los demás tramos de tubería en PVC y 1 ½".

### Conclusiones

- Se logró el diseño de una red de acueducto para la vereda hermosa, cumpliendo los parámetros establecidos en el reglamento técnico para el sector agua potable y saneamiento básico – resolución 0330-2017, contando con 6788,66 metros de longitud con un diámetro de 2” en la red principal y 1 ½” en la red secundaria, todo esto modelado en el programa epanet 2.2
- De acuerdo con la investigación realizada se evidenció la carencia de información de la vereda, lo que dificultó el desarrollo del trabajo, no obstante, gracias a los datos de censo suministrados por la alcaldía del municipio de La Palma se logró llevar a cabo la finalidad del proyecto.
- A partir del análisis hidrológico realizado, se obtuvo datos de caudales de la fuente hídrica los cuales nos indican que dicha fuente tiene la capacidad de generar un caudal mayor al caudal de diseño a partir de un periodo de 25 años.
- Debido a la topografía de la zona y la ubicación de la fuente hídrica, no es posible que la población por sus propios medios garantice el transporte del fluido hasta sus viviendas, es por esto por lo que tienen que recurrir a métodos y fuentes que no garantizan la salubridad afectando negativamente el bienestar de los habitantes.
- Según la modelación en EPANET en la hora de mayor consumo es decir a las 8:00 am, nos muestra que el diseño es óptimo ya que en esa hora garantiza lo mínimo estipulado por la resolución 0330 de 2017 de 5 mca, además los datos que incumplen el máximo de presión permitida no supera el 5%.

### **Recomendaciones**

- Realizar una investigación la cual aborde el tema de las características químicas de la quebrada la chorrera y de ser necesario proponer un tratamiento el cual garantice la potabilización del agua.
- Debido a la cantidad de elementos hidráulicos como bombas y válvulas de despresurización se realice un mantenimiento mensual, dado que estos elementos son fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema.
- Realizar un estudio económico que dé un panorama de los recursos a invertir en la ejecución del acueducto, ya que dicho parámetro no esta incluidos en los alcances de este proyecto.
- Hallar alternativas económicas para costear el mantenimiento y/o reparación del sistema y evitar así un costo total o parcial a los habitantes de la vereda.
- Incentivar a la comunidad al buen uso y cuidado de las fuentes hídricas y sus alrededores, ya que es una problemática que actualmente presenta la vereda La Hermosa.

### Bibliografía

- ❖ Escuela Superior de Administración Pública (2003). Esquema de Ordenamiento Territorial La Palma Cundinamarca 2003. Disponible en: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/123456789/10308> (Fecha de consulta: Marzo, 2024)
- ❖ Weather Spark, (S.F). Aspectos climatológicos. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/23384/Clima-promedio-en-LaPalma%C3%AD-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>.
- ❖ OPS, (2004). ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE CAPTACIONES POR GRAVEDAD DE AGUAS SUPERFICIALES. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/e115-04disenocapta.pdf>. (Fecha de consulta: Marzo, 2024)
- ❖ OPS, (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Disponible en: [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf). (Fecha de consulta: Marzo, 2024)
- ❖ OPS, (2005). Guías para el diseño de reservorios elevados de agua potable. Disponible en: [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS%202005c%20Reservorios%20elevados.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005c%20Reservorios%20elevados.pdf). (Fecha de consulta: Marzo, 2024)
- ❖ Ministerio de vivienda. (2022). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>. (Fecha de consulta: Marzo, 2024)
- ❖ Ministerio de vivienda. (2022). Documento compilatorio, Resolución 0330 de 2017, modificada parcialmente por la resolución 799 de 2021. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/abece-compilatorio-rev-sspd-1jalp-1.pdf>. (Fecha de consulta: Marzo, 2024)

- ❖ Duque, J. Corho, F. (1993). Acueductos teoría y diseño. Disponible en: <https://books.google.hn/books?id=194g9lx5vpcC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>. (Fecha de consulta: Marzo, 2024)
- ❖ Solorzano, J. (2017). EJERCICIOS PRÁCTICOS EN EPANET. Disponible en: (<https://www.unipiloto.edu.co/descargas/LibroEpanet.pdf>) (Fecha de consulta: Marzo, 2024)
- ❖ Corporación Autónoma Regional. (S.F) Precipitación Máxima en 24 Horas. Disponible en: (<https://www.car.gov.co/uploads/files/64499ba0d43eb.xlsx>) (Fecha de consulta: Enero, 2024)
- ❖ Corporación Autónoma Regional. (S.F) Caudales Mínimos Medios Mensuales. Disponible en: (<https://www.car.gov.co/uploads/files/64499d393465a.xlsx>) (Fecha de consulta: Enero, 2024)
- ❖ Corporación Autónoma Regional. (S.F) Caudales Medios Mensuales. Disponible en: (<https://www.car.gov.co/uploads/files/64499d84b4245.xlsx>) (Fecha de consulta: Enero, 2024)
- ❖ Corporación Autónoma Regional. (S.F) Caudales Máximos Absolutos Mensuales. Disponible en: (<https://www.car.gov.co/uploads/files/64499db9db5c3.xlsx>) (Fecha de consulta: Enero, 2024)
- ❖ INVIAS. (2013). Manual de drenaje para carreteras. Disponible en: (<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras>) (Fecha de consulta: Enero ,2024)