

DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUA POTABLE DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE LA PAZ  
SANTANDER

JORGE ENRIQUE ORTIZ RUIZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2023

DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUA POTABLE DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE LA PAZ  
SANTANDER

JORGE ENRIQUE ORTIZ RUIZ

Proyecto de grado para obtener el título de Ingeniero Mecánico

Director:

Ing. Mecánico Manuel de Jesús Martínez

PhD Mecánica Computacional

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA, SANTANDER

2023

2

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto, a una persona que duda de sus habilidades pero que aun así decide ponerlas a prueba, que sueña en grande, pero que sabe que llegar a aquellos sueños tienen un costo y es todo un proceso, que es optimista, aunque la vida en su desarrollo tienda algunas veces a desanimarlo, y que cuando se equivoca y se cae, decide aprender del error, levantarse y seguirlo intentando, que vive la vida con mucha velocidad, pero que aprendió que a veces es necesario bajarle un cambio para seguir avanzando, quiero dedicar este proyecto a él joven que fui cuando decidí estudiar ingeniería...

***Jorge Enrique Ortiz Ruiz***

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, a la vida, a mi mamá, a mis hermanos, a mi papa, al amor, a los amigos, a la ciencia, al conocimiento adquirido, a la UIS, al estado y su financiación, a la música que me acompañó por largas horas en la construcción del proyecto, a los sueños que me trajeron hasta aquí, y aquellos que me motivan a seguir avanzando.

***Jorge Enrique Ortiz Ruiz***

# CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>20</b>
<b>4.MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
4.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE .....	22
4.1.1 <i>Planta de tratamiento de agua potable convencionales</i> .....	22
4.1.2 <i>Plantas de tratamiento compactas</i> .....	22
4.2 REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO(RAS).....	23
4.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE BOMBEO .....	23
4.3.1 <i>Tipos de electrobombas</i> .....	24
4.4 FÓRMULAS DE PERDIDAS POR FRICCIÓN.....	24
4.4.1 <i>Pérdidas por fricción en tuberías Hazen – Williams</i> .....	24
4.4.2 <i>Potencia requerida</i> .....	25
4.4.3 <i>Ecuación de Continuidad</i> .....	26
4.4.4 <i>Eficiencia de la bomba</i> .....	26
4.4.5 <i>Cabeza dinámica total</i> .....	27
4.5 BOCATOMAS .....	28
4.5.1 <i>Bocatomas directas</i> .....	28
4.6 TIPOS DE CAPTACIONES.....	28
4.6.1 <i>Toma de rejilla</i> .....	28
4.7 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN.....	29
4.7.1 <i>Proyección de la población según nivel de complejidad</i> .....	29
4.7.2 <i>Método de cálculo según la densidad poblacional del municipio</i> .....	30
4.7.2.1 <i>El método aritmético</i> .....	31
4.8 DOTACIÓN NETA .....	32
4.8.1 <i>Dotación Neta por Suscriptores</i> .....	32
4.8.2 <i>Dotación Neta por Habitante</i> .....	33
4.8.3 <i>Dotación Bruta</i> .....	33
4.9 PROYECCIÓN DE CAUDAL .....	34
4.9.1 <i>Caudal medio diario suscriptores</i> .....	34
4.9.2 <i>Caudal medio diario habitantes</i> .....	34
4.9.3 <i>Caudal Máximo Diario</i> .....	35
4.9.4 <i>Caudal máximo horario</i> .....	35
4.9.5 <i>Caudal de incendios</i> .....	36
4.9.5.1 <i>Demanda mínima contra incendios para el nivel de complejidad del sistema bajo y medio</i> .....	36

4.9.6 Caudal de diseño .....	37
4.10 RED DE DISTRIBUCIÓN .....	37
4.10.1 Materiales para las Tuberías de la Red de Distribución .....	37
4.10.2 Presiones en la Red de Distribución.....	38
4.10.3 Diámetros de las tuberías en la red de distribución. ....	39
4.10.3.1 Diámetros nominales mínimos en la red matriz.....	39
4.10.4 Velocidades en las tuberías de la red de distribución.....	39
4.11 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	40
4.11.1 Investigación Exploratoria.....	40
4.11.2 Investigación documental .....	41
4.11.3 Investigación de diseño .....	41
4.12 TIPOS DE MANTENIMIENTOS INDUSTRIALES.....	42
4.12.1 Mantenimiento Correctivo .....	42
4.12.2 Mantenimiento Preventivo.....	42
4.12.3 Mantenimiento Predictivo.....	42
<b>5. METODOLOGÍA DE TRABAJO DE GRADO.....</b>	<b>43</b>
5.1 INFORMACIÓN DEL MUNICIPIO.....	43
5.2 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA .....	52
5.2.1 Aspectos a revisar.....	53
5.2.1.1 Facilidad de operación y mantenimiento .....	54
5.2.1.2 Lejanía de toda fuente de contaminación .....	54
5.2.1.3 Aprovechamiento de la infraestructura existente .....	55
5.2.1.4 Desviación de cursos .....	55
5.2.1.5 Accesos.....	55
5.2.1.6 Cerramientos.....	56
5.2.1.7 Iluminación.....	56
5.3 CONDICIONES ACTUALES DEL SISTEMA.....	57
5.3.1 Bocatoma Hoyo Marianos.....	59
5.3.2 Bocatoma Pedraza .....	63
5.3.3 Bocatoma La Pavita.....	65
5.4 CALIDAD DEL AGUA .....	69
<b>6. ESTRUCTURACIÓN DE ALTERNATIVAS.....</b>	<b>70</b>
6.1 PROYECCIÓN POBLACIÓN DEL CASCO URBANO .....	70
6.1.1 Cálculo Dotación neta por suscriptores.....	73
6.1.2 Dotación Neta por habitante.....	74
6.1.3 Dotación Neta según el uso del agua .....	75
6.1.4 Cálculo Población Proyectada .....	79
6.1.4.1 Método Aritmético .....	80
6.2 ALTERNATIVAS .....	82
6.2.1 Criterios de selección .....	83
6.2.1.1 Relación de Consumo .....	83
6.2.1.2 Diámetro de Tubería .....	83
6.2.1.3 Condiciones Proyectadas del Sistema.....	85
6.3 CÁLCULO CAPACIDAD DE CONSUMO DIARIO .....	86
6.3.1 Cálculo Dotación bruta.....	87

6.3.2 Cálculo Caudal medio diario.....	87
6.3.3 Cálculo Caudal Máximo Diario .....	87
6.3.4 Cálculo Caudal Máximo Hora.....	88
6.3.5 Cálculo Caudal de diseño.....	90
<b>6.4 ALTERNATIVAS SISTEMA DE BOMBEO .....</b>	<b>91</b>
6.4.1 Alternativa 1.....	97
6.4.2 Alternativa 2.....	99
6.4.3 Alternativa 3.....	100
6.4.3.1 Presión Máxima de Trabajo.....	101
<b>6.5 SELECCIÓN SISTEMAS DE BOMBEO .....</b>	<b>103</b>
6.5.1 Equipo de Bombeo Alternativa 1.....	103
6.5.2 Equipo de Bombeo Alternativa 2.....	107
6.5.2.1 Bomba Multietapas Vertical SSXV – Electrobomba de superficie EVANS.....	108
6.5.2.2 Bombas multietapas horizontales IHM Ture Serie D .....	111
6.5.3 Equipo de Bombeo Alternativa 3.....	114
<b>6.6 ESTUDIO FINANCIERO ALTERNATIVAS.....</b>	<b>116</b>
6.6.1 Análisis costo de inversión inicial de las alternativas .....	116
6.6.2 Análisis costos de operación del sistema de bombeo.....	121
6.6.3 Análisis costos de mantenimiento del sistema de bombeo .....	124
<b>6.7 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....</b>	<b>125</b>
<b>7. ANALISIS EPANET .....</b>	<b>129</b>
<b>8.CONCLUSIONES .....</b>	<b>132</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>135</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>138</b>
<b>TRABAJO A FUTURO .....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>142</b>

## LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Métodos de cálculo permitidos según nivel de complejidad del sistema de la población.....	30
Figura 2. Método según densidad poblacional.....	31
Figura 3. Dotación por suscriptor según el nivel de complejidad del sistema.....	32
Figura 4. Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema.....	33
Figura 5. Diámetros nominales mínimos de la red matriz.....	39
Figura 6. Velocidades máximas según material de tuberías.....	40
Figura 7. Ubicación geográfica municipio La Paz Santander.....	43
Figura 8. Población desagregada por área.....	44
Figura 9. Catastró predios y avalúos por municipio.....	46
Figura 10. Porcentaje por valor agregado por actividades.....	47
Figura 11. Principales cultivos transitorios.....	48
Figura 12. Tasa de mortalidad.....	48
Figura 13. Comparativo mortalidad y fecundidad.....	49
Figura 14. Cobertura acueducto y alcantarillado.....	50
Figura 15. Distribución porcentual de asignación SGP.....	51
Figura 16. Mapa de servicios de acueducto y alcantarillado en La Paz.....	52
Figura 17. PTAP Actual acueducto casco urbano del municipio.....	59
Figura 18. Bocatoma hoyos Marianos.....	61
Figura 19. Bocatoma Pedraza.....	64
Figura 20. Bocatoma La Pavita.....	66
Figura 21. Cuarto de Bombeo Bocatoma La Pavita.....	68
Figura 22. Asignación del nivel de complejidad.....	71
Figura 23. Periodo de diseño según nivel de complejidad del sistema.....	72
Figura 24. Nivel de complejidad por suscriptor.....	73
Figura 25. Dotación por habitante según nivel de complejidad.....	74
Figura 26. Crecimiento población urbana casco urbano la paz.....	77
Figura 27. Cobertura acueducto según REC.....	79
Figura 28. Método por nivel de complejidad.....	80
Figura 29. Parámetros matriz de perdidas por fricción.....	92
Figura 30. Perdidas por fricción para tubería PAVCO.....	93
Figura 31. Tabla catalogo perdidas por fricción en accesorios.....	95
Figura 32. Vista renderizada Casco urbano La Paz.....	96
Figura 33. Matriz RDE 21 PAVCO para cálculos por de pérdidas de fricción en accesorios y tramo de tubería.....	98
Figura 34. Parámetros de diseño Alternativa 3, matriz de perdidas por fricción.....	102
Figura 35. Puntos de Operación alternativa 1.....	103
Figura 36. Curva de operación electrobomba sumergible Pedrollo.....	105

Figura 37. Campos de prestación Modelo electrobombas sumergibles. ....	106
Figura. 38 Montaje electrobomba sumergible 6" pedrollo. ....	106
Figura 39. Puntos de Operación alternativa 2. ....	107
Figura 40. Curva de operación electrobombas de superficie vertical. ....	109
Figura 41. Campos de prestación Modelo electrobombas de superficie. ....	110
Figura 42 Ilustración montaje electrobombas alternadas de superficie. ....	110
Figura 43. Ilustración montaje electrobombas alternadas de superficie horizontal. ....	112
Figura 44 Curvas de operación electrobomba IHM. ....	113
Figura 45. Puntos de Operación alternativa 3. ....	114
Figura 46. Curva de operación electrobomba sumergible pedrollo. ....	114
Figura 47. Campos de prestación Modelo electrobombas de sumergible. ....	115
Figura 48. Análisis costo de inversión inicial Alternativa 1. ....	118
Figura 49 Análisis costo de inversión inicial Alternativa 2. ....	119
Figura 50. Análisis costo de Inversión inicial Alternativa 3. ....	120
Figura 51. Montaje Esquema Alternativa # 1. ....	128
Figura 52. Montaje simulación sistema de bombeo Epanet. ....	129
<i>Figura 53. Curva perfil longitudinal de presión por nodo. ....</i>	<i>130</i>
Figura 54. Parámetros tubería de descarga por longitud. ....	131

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Asignación variable formula. ....	25
Tabla 2. Asignación variable formula Potencia Requerida.....	25
Tabla 3. Asignación variables formula eficiencia de la bomba.....	27
Tabla 4. Asignación variables formula cabeza dinámica. ....	27
Tabla 5. Asignación variables método aritmético. ....	31
Tabla 6. Asignación variables caudal medio diario. ....	34
Tabla 7. Crecimiento poblacional por año.....	78
Tabla 8. Asignación variables método aritmético.....	81
Tabla 9. Asignación variables diámetro de tubería. ....	84
Tabla 10. Parámetros Alternativa 1.....	97
Tabla 11. Tiempo aproximado de llenado. ....	99
Tabla 12. Valor total por Alternativa. ....	121
Tabla 13. Tabla Comparativa mantenimiento por alternativa.....	125
Tabla 14. Comparativo valor comercial por alternativa .....	127

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Planta de tratamiento de agua potable convencional.....	142
Anexo B. Planta De Tratamiento De Agua Potable Compacta. ....	143
Anexo C. Bocatoma De Rejilla. ....	144
Anexo D. Planta De Tratamiento Compacta Actual Casco Urbano. ....	145
Anexo E. Tanque PTAP Compacta Actual Casco Urbano.....	146
Anexo F. Características Equipo De Bombeo Alternativa 1.....	147

## GLOSARIO

**ESTACIÓN DE BOMBEO:** son estructuras destinadas a elevar un fluido desde un punto o nivel energético inicial a otro nivel energético mayor.

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP):** conjunto de sistemas y procesos de ingeniería en los que se realiza el tratamiento químico del agua, la eliminación de contaminantes hasta llegar a límites considerables de potabilidad para su transporte y aprovechamiento a la población.

**PRESIÓN DE TRABAJO:** se refiere a la presión máxima de operación de la tubería en cada nivel para la operación segura del sistema de tubería.

**POTABILIDAD:** referencia sobre los parámetros mínimos del agua que permite ser consumida o utilizada para la preparación de alimentos.

**RONDA HÍDRICA:** comprende el área de protección o conservación del cauce permanente de ríos o lagos, hasta 30 metros de ancho.

**REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (RAS):** Documento normativo colombiano que recopila y define los parámetros mínimos de calidad y operación para la elaboración de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia.

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE LA PAZ SANTANDER \*

**AUTOR:** JORGE ENRIQUE ORTIZ RUIZ \*\*

**PALABRAS CLAVE:** ACUEDUCTO, BOCATOMA, DISPONIBILIDAD HÍDRICA POTABILIDAD.

**DESCRIPCIÓN:** En este estudio se analiza la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio de La Paz Santander, la cual presenta deficiencias en su servicio debido a varias condiciones, como el tipo de planta, su capacidad, los años de operación y la demanda hídrica del área urbana. También se enfrenta a múltiples problemas en las zonas de captación que suministran el caudal necesario para su tratamiento. Estos factores ponen en peligro el suministro de agua potable.

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar alternativas de sistemas de bombeo para mejorar el servicio del acueducto. Actualmente, la única opción de respaldo hídrico es la quebrada LA PAVITA, ya que otros afluentes han sufrido reducciones significativas en su caudal. Sin embargo, la ubicación de esta quebrada presenta desafíos, ya que el suministro de agua implica almacenamiento y transporte a través de una motobomba. Esto genera problemas operativos y riesgos ambientales debido a las emisiones de gases y el ruido del motor.

El proyecto propone soluciones y recomendaciones basadas en los conceptos del RAS y la experiencia del docente Manuel de Jesús, así como en el conocimiento de ingeniería mecánica. Estas medidas tienen como objetivo mejorar la disponibilidad y calidad del servicio de agua potable para los usuarios del área urbana, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional proyectado hasta el año 2048.

En resumen, se busca abordar las deficiencias actuales de la PTAP mediante la implementación de sistemas de bombeo más eficientes. Se reconoce que la quebrada LA PAVITA es la única fuente de respaldo, pero su ubicación plantea desafíos logísticos y ambientales. Con el uso de enfoques como el RAS y la experiencia en ingeniería mecánica, se pretende mejorar el suministro de agua potable, garantizando un servicio de calidad y considerando las necesidades futuras de una población en crecimiento.

---

\*Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas .Escuela de Ingeniería Mecánica. Programa académico Ingeniería Mecánica. Director: Manuel de Jesús Martínez. PhD Mecánica Computacional.

## ABSTRACT

**TITLE:** PUMPING SYSTEM DESIGN FOR THE NEW POTABLE WATER TREATMENT PLANT IN THE URBAN LOCATION OF LA PAZ, SANTANDER\*

**AUTHOR:** JORGE ENRIQUE ORTIZ RUIZ \*\*

**KEY WORDS:** AQUEDUCT, HIDRYC AVAILABILITY, INTAKE, POTABILITY.

**DESCRIPTION:** This study examines the water treatment plant (PTAP) in the urban area of La Paz Santander municipality, which currently faces deficiencies in its service due to various factors such as the type of plant, its capacity, years of operation, and the water demand of the urban area. Additionally, there are multiple issues in the catchment areas that supply the necessary flow for treatment, jeopardizing the provision of clean water.

The main objective of this project is to develop alternative pumping systems to enhance the aqueduct's service. Currently, the only backup water source available is the LA PAVITA stream, as other water sources have experienced significant reductions in flow. However, the location of the stream presents challenges as it requires storing and transporting water using a motor pump. This operational inconvenience poses environmental risks due to exhaust emissions and noise pollution from the motor's operation.

The project proposes solutions and recommendations based on concepts such as RAS (Remote Access Systems) and the expertise of Manuel de Jesús, a professor in the field of mechanical engineering. The aim is to improve the availability and quality of the water service for urban users, considering the projected population growth until 2048.

In summary, the study addresses the current deficiencies of the PTAP by implementing more efficient pumping systems. While the LA PAVITA stream serves as the only backup source, logistical and environmental challenges arise due to its location. By incorporating approaches such as RAS and leveraging knowledge from mechanical engineering, the project seeks to enhance the provision of clean water, ensuring a high-quality service that meets the future needs of the growing population.

---

\*Degree work

\*\*Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Manuel de Jesús Martínez. PhD Mecánica Computacional.

## INTRODUCCIÓN

La crisis del agua, es sin duda alguna una de las principales preocupaciones del mundo entero, su disponibilidad y aprovechamiento pone en vilo la vida y el desarrollo de las civilizaciones como históricamente ya ha ocurrido, esta crisis ha obligado al mundo a desarrollar tecnología y políticas públicas globales que enmarcan como reto la disponibilidad del recurso hídrico en un planeta donde apenas el 1 % es dulce, y del cual dependemos 8000 mil millones de habitantes y todas las actividades liberales que desarrollamos, así como los ecosistemas de donde se extrae y se conserva. pensar en un planeta o territorio sin recurso hídrico es pensar en un planeta sin vida, es por lo anterior que el objetivo de desarrollo sostenible de agua limpia y saneamiento básico, es sin duda alguna una meta obligatoria a alcanzar de manera ecuménica, obligando a los gobernantes y lo gobernados pensar en el racionamiento, el cuidado de las fuentes hídricas y sus ecosistemas, el aprovechamiento y el uso responsable, el transporte y la distribución, y sobre todo la sanidad que se debe manejar para el consumo humano.

Es por esta razón que de la mano de la ingeniería y de instrumentos públicos como el Reglamento Técnico del Sector de Agua de Colombia (RAS) diseñaremos un sistema de bombeo para una de las bocatomas de la planta de tratamiento de agua potable del casco urbano de La Paz uno de los 87 municipios de Santander con ubicación en la provincia de Vélez al Sur del departamento, con población aproximada de 5009 habitantes , de vocación agrícola y comercial, y en donde la disponibilidad del recurso hídrico por condiciones ambientales, de transporte, almacenamiento, tratamiento y calidad del agua al día de hoy, pone en riesgo la salud de sus habitantes, sus vidas, los ecosistemas, la natalidad de los paceños y el desarrollo económico del municipio en su territorio.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Una de las principales problemáticas para la vida humana siempre ha sido el recurso hídrico que nos mantiene con vida, el agua, recurso que constituye un 60 % de nuestro cuerpo, y que está en un 70 % del planeta compuesto por ecosistemas, territorios y maritorios conformados por ríos, quebradas, lagos, pozos, cascadas, mares, y que sumados todos estos afluentes, sin duda alguna es una cifra exorbitante de millones de litros de agua, pero que en el proceso potabilizarla o tratarla para su aprovechamiento y consumo humano se ha convertido en todo un reto, sobre todo cuando de proporcionar el recurso mínimo en litros por persona como lo indica la OMS para algunas regiones de Colombia se pone en riesgo por las condiciones atmosféricas del territorio, su habitad, su transporte e incluso muchas veces la negligencia de los gobiernos y el abuso o robo del recurso público que podría dar respuesta de la mano de la academia y sus investigaciones las soluciones a la escasez, la disponibilidad y sobre todo su calidad, esto se ha convertido en todo un reto, sobre todo cuando el desaprovechamiento del recurso, los malos hábitos de consumo, la contaminación de los afluentes de donde proviene, la destrucción de los ecosistemas que hacen parte del ciclo de producción del agua, así como un sin número de problemas para lograr canalizar, tratar y transportarla, terminan alejando a las comunidades de obtener la disponibilidad del recurso y afectando su calidad de vida, y llevándolos muchas veces a consumir agua en condiciones no actas para el consumo humano que en muchas ocasiones termina llevándolos a enfermedades e incluso a la muerte según reportes de la OMS.

Es por todo lo anterior que este tema del agua potable se ha convertido para todo el mundo en uno de los ODS que preocupa y a su vez obliga a los gobiernos a dar soluciones reales e inmediatas a sus comunidades, y es aquí donde desde la gobernanza

entre la academia y el estado mediante el ámbito público y sus recursos económicos, que podemos proyectar soluciones a las necesidades de disponibilidad hídrica, el aprovechamiento racional del recurso que se consume permitiendo prolongar la vida de estas comunidades, y disminuyendo las tasas de mortandad relacionadas con enfermedades derivadas de la calidad del agua, y a su vez permitiendo potencializar estrategias enfocadas en desarrollo de carácter económico, industrial, urbanístico, de salubridad y social que sin duda alguna la disponibilidad del agua en el territorio conlleve a su desarrollo.

En el siguiente proyecto adelantaremos el diseño y proyección del sistema de bombeo para la bocatoma la pavita, una de las zonas de captación de la PTAP del casco urbano, la cual por su ubicación está obligada a transportar el agua que almacena mediante equipos de bombeos, como respaldo a la demanda hídrica del casco urbano con una densidad poblacional de 1000 habitantes y en donde su actual planta de tratamiento de agua potable y todos sus componentes y zonas de captación presenta desgastes e ineficiencia en la calidad del servicio que entrega debido a los años de operación, colocando la disponibilidad hídrica del municipio en riesgo por las condiciones atmosféricas, técnicas y de operación de sus afluentes, de su planta y equipos, y por ende en riesgo la salud de los paceños.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar el sistema de bombeo para la nueva PTAP del casco urbano del municipio de La Paz, Santander.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Recopilar información referente a los caudales, consumo poblacional, boca tomas, cotas de alturas, disponibilidad energética, densidad poblacional, tipo de aguas, y toda aquella información necesaria que cumpla con los parámetros establecidos por el RAS.

Analizar la información recopilada del sistema de bombeo para la PTAP del municipio de la Paz Santander ajustada al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

Diseñar las posibles alternativas de sistemas de bombeo que den solución a las problemáticas presentadas en el transporte del recurso hídrico a la nueva planta de tratamiento de agua potable para el casco urbano del municipio de la Paz Santander a corto, mediano y largo plazo.

Seleccionar la mejor opción de sistema de bombeo y recomendar de la mano del RAS los parámetros y modificaciones al sistema de captación transporte y suministro del recurso hídrico del municipio, para garantizar la disponibilidad hídrica y mejorar la calidad del Agua que se entrega a la población.

Modelar mediante la herramienta CAD EPANET simulación del sistema de bombeo y su red de tubería de transporte para analizar el porcentaje de pérdida por tramos de tubería, la calidad del material y la pérdida que generan los accesorios en el transporte del fluido.

### 3. JUSTIFICACIÓN

El municipio de la paz Santander, cuenta con una planta de tratamiento de agua potable compacta, la cual permite una entrega de agua tratada de 3 Litros/s, esta planta lleva en servicio 15 años y sus condiciones de operación y vida útil no le permiten entregar la capacidad de recurso hídrico y calidad que se requiere en algunas épocas del año para el casco urbano y sus usuarios, sumado a esto la desactualización en los equipos de bombeo que ayudan a transportar el recurso hídrico hasta la planta desde sus zonas de captación han presentado dificultades por los años de trabajo y operación, las condiciones de acceso al cuarto de máquinas, el suministro de combustible y las emisiones de gases de combustión del motor y su ruido generan daños al afluente y no ayudan en la conservación de su ecosistema generando daños a la zona, incluso colocando en riesgo la salud de los operadores del acueducto, es por lo anterior que nace la necesidad de construir una nueva PTAP en este caso una convencional que permita mejorar la calidad y capacidad de servicio y con esto la proyección de equipos de bombeo y componentes de suministro hídrico que resuelva la demanda actual y permita garantizar a futuro la disponibilidad hídrica y la calidad del agua que se consume en el casco urbano para la población aproximada en 25 años.

Con el fin de analizar y conocer la problemática se realizó varias visitas al acueducto del municipio y todos sus componentes y zonas de captación hídrica con sus afluentes para verificar sus ecosistemas, la calidad del servicio y recopilar algunos datos que nos permite tener claridad de las condiciones hídricas del municipio, la demanda del servicio, las dinámicas de consumo de los habitantes del municipio, y de esta forma nos permita diseñar el nuevo sistema de bombeo para la nueva PTAP de los paceños, por todo adelantaremos el análisis, la proyección y las recomendaciones del sistema que se desea

proyectar para los habitantes del casco urbano de la PTAP que cumpla con los parámetros y normativas contempladas para nuestro país en el RAS para acueductos con dinámicas y poblaciones como las del municipio de la paz.

## 4.MARCO TEÓRICO

### 4.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Son estructuras que tienen como objetivo principal realizar un tratamiento óptimo del recurso hídrico para que este sea apto para el consumo humano, para lograr este objetivo, se deben diseñar plantas de tratamiento acordes con la composición física, química y biológica del agua a tratar y así se tendrá conocimiento de los elementos que se deben abatir y cuales se deben adicionar para obtener un recurso eficiente para su consumo.

**4.1.1 Planta de tratamiento de agua potable convencionales.** Son aquellas plantas donde cada uno de los procesos presentes en la potabilización se generan en estructuras diferentes, está conformada por canales, floculadores, sedimentadores y filtros, los tiempos de residencia del recurso son muy altos y generalmente este tipo de plantas son empleadas para abastecer del recurso a grandes ciudades y municipios (Ver Anexo A).

**4.1.2 Plantas de tratamiento compactas.** Son plantas potabilizadoras de agua donde los procesos de coagulación, floculación y sedimentación ocurren en una misma unidad para posteriormente enviar el agua ya tratada hacia los filtros, el tiempo de residencia del recurso en este tipo de plantas son bajos. Las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) compactas se pueden clasificar en varios tipos dependiendo de la necesidad que desee ser cubierta y el tipo de tratamiento que el recurso requiera. ( Ver Anexo B).

## **4.2 REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO(RAS)**

El reglamento técnico del sector de agua potable es la norma técnica colombiana que define los parámetros mínimos que toda planta de tratamiento de agua potable debe tener a la hora de realizar un diseño, construcción, transporte, puesta en marcha, y mantenimiento de una PTAP en los municipios de Colombia, este permite diseñar y adelantar estos proyectos teniendo en cuenta parámetros de cuidado ambiental en la toma o captación del recurso, hídrico, de su demanda y aprovechamiento, de su almacenamiento así como de la calidad que esta entrega en términos de potabilidad para el consumo humano en las poblaciones a corto, mediano y largo plazo.

## **4.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE BOMBEO**

Los accesorios que componen un sistema de bombeo varían dependiendo del tipo de bomba seleccionada, así como de las condiciones de cotas de alturas, distancia, disponibilidad, almacenamiento, transporte, succión y descarga del sistema, algunos de los accesorios a emplear serán los siguientes:

- Accesorios de Tuberías ( Codos, Tees, Registros, Universales, Manómetro, Válvula Check, Válvula de compuerta, Válvula reguladoras de caudal, Válvulas de Pie, Uniones, Tubería de distribución y succión).
- Elementos de Control (Tablero de control, Protecciones térmicas, Supervisión de Tensión, breakers, variadores de velocidad, elementos de mando y señales, pilotos y testigos, sensores de nivel)

- Disponibilidad Energética: responde a todos los elementos que componen la acometida y la red tensión alta o media de donde se tomara el voltaje para el sistema de bombeo, los componentes de control y el cuarto de máquinas ( Contador, Poste de luz, Transformador, Cableado de diferente numeración, varillas de anclaje, varillas para aterrizaje a tierra, breakers, conectores, tablero de distribución).

**4.3.1 Tipos de electrobombas.** A continuación se nombran los tipos de electrobombas a emplear en la investigación:

- Multietapas Verticales de superficie.
- Multietapas Horizontales de superficie.
- Multietapas Sumergibles tipo Lapicero.

#### 4.4 FÓRMULAS DE PERDIDAS POR FRICCIÓN

**4.4.1 Pérdidas por fricción en tuberías Hazen – Williams.** Podemos usar la fórmula de Hazen – Williams para calcular las pérdidas por fricción expresada así:

$$1) P_f = c \frac{LV^{1.852}}{d^{1.67}} \quad \text{donde} \quad c \frac{LV^{1.852}}{d^{1.67}}$$

Tabla 1. Asignación variable formula.

<b>Variable</b>	<b>Significado</b>
<b>Pf</b>	Pérdidas de carga por fricción ocurridas en una longitud
<b>L</b>	Longitud de tubería en metros
<b>d</b>	Diámetro interior de la tubería en metros
<b>c</b>	Coeficiente de fricción ( para tubería de PVC lisa nueva, c=150)
<b>V.</b>	Velocidad media del agua en metros/seg

Fuente: Barnes Colombia. (s.f.). Eléctricas verticales en acero inoxidable VSE-2. Recuperado de <https://www.barnes.com.co>

#### 4.4.2 Potencia requerida.

$$Bhp = \frac{Q \times H \times S.Gr}{3960 \times Eficiencia\ bomba} = hp$$

Tabla 2. Asignación variable formula Potencia Requerida.

<b>Variable</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidades</b>
<b>BHP</b>	Potencia requerida	<b>HP</b>	<b>HP</b>
<b>H</b>	Altura	<b>pca</b>	<b>mca</b>
<b>Q</b>	Caudal	<b>Gpm</b>	<b>Lps</b>
<b>S.Gr</b>	Gravedad específica para el agua = 1		

Fuente: Barnes Colombia. (s.f.). Eléctricas verticales en acero inoxidable VSE-2. Recuperado de <https://www.barnes.com.co>

#### 4.4.3 Ecuación de Continuidad.

Se basa en que el caudal (Q) del fluido ha de permanecer constante a lo largo de toda la conducción, dado que el caudal es el producto de la superficie de una sección del conducto por la velocidad con que fluye el fluido, tendremos que en dos puntos de una misma tubería se debe cumplir que, el caudal en el punto 1 (Q<sub>1</sub>) es igual que el caudal en el punto 2 (Q<sub>2</sub>).

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2$$

- S es la superficie de las secciones transversales de los puntos 1 y 2 del conducto y V es la velocidad del fluido en los puntos 1 y 2 de la tubería.
- Fuente.                      Formula                      obtenida                      de                      ( [http://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno02/tema08/22\\_ecuacion\\_de\\_continuidad.html](http://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno02/tema08/22_ecuacion_de_continuidad.html) ) .

**4.4.4.Eficiencia de la bomba.** La tomamos de la curva o asumimos una eficiencia de 0,5 ó 50%.

$$\text{Caudal } Q = \frac{V}{t}$$

$$\text{Caudal } Q = VA$$

Tabla 3. Asignación variables formula eficiencia de la bomba.

<b>Variable</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidades</b>
<b>Q</b>	Caudal	<b>gpm, L/ m, L/ s ó m<sup>3</sup> / h</b>
<b>v</b>	Volumen	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>t</b>	Tiempo	<b>Minutos, segundos u horas</b>
<b>V</b>	velocidad	<b>m/s</b>
<b>A</b>	Área	<b>m<sup>2</sup></b>

Fuente: Barnes Colombia. (s.f.). Eléctricas verticales en acero inoxidable VSE-2. Recuperado de <https://www.barnes.com.co>

#### 4.4.5 Cabeza dinámica total.

**Fórmula:**

$$\mathbf{CDT = hs + hd + hpf + Pw}$$

Tabla 4. Asignación variables formula cabeza dinámica.

<b>Variable</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidad</b>
CDT	Cabeza dinámica total	Mca
Hs	Altura de succión	Mca
Hd	Altura de descarga	mca,pca,psi
Hpf	Altura equivalente de pérdidas por fricción	mca,pca,psi
Pw	Presión de trabajo	mca,pca,psi

Fuente: Barnes Colombia. (s.f.). Eléctricas verticales en acero inoxidable VSE-2. Recuperado de <https://www.barnes.com.co>

## **4.5 BOCATOMAS**

Son las obras que permiten derivar el agua desde la fuente que alimenta el sistema. Esta fuente puede ser una corriente natural, un embalse o el agua subterránea de un acuífero (Ver Anexo C).

**4.5.1 Bocatomas directas.** Son posibles de diseñar en cursos de agua de fuerte pendiente, y cuando no se quiere tener una estructura costosa, tienen el inconveniente de que el lecho del río puede variar y dejar la toma sin agua , igualmente en las épocas de estiaje al disminuir el tirante de agua en el río puede disminuir considerablemente el ingreso de agua en la toma.

## **4.6 TIPOS DE CAPTACIONES**

Los diferentes tipos de captaciones y las situaciones en que pueden ser utilizadas cada una de ellas son las siguientes:

**4.6.1 Toma de rejilla.** Se recomienda utilizar este tipo de captación en ríos ubicados en áreas montañosas, cuando se cuenta con una base sólida o terreno rocoso, así como en casos donde se presenten cambios significativos en el caudal de pequeños cursos de agua. Este método de captación implica el uso de una estructura estable de diversas formas, siendo la más común la rectangular. La estructura, ya sea en forma de canal o con tubos perforados colocados en el lecho del río, debe estar posicionada

perpendicularmente al flujo de la corriente y equipada con una rejilla metálica para retener los sedimentos de un tamaño determinado (Ver Anexo F).

#### **4.7 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN**

La proyección de una población se realiza en proyectos en los cuales las poblacionales a futuro beneficiada presentan dinámicas de crecimiento o reducción que pudieran definir parámetros de trabajo del proyecto a desarrollarse, en este caso para un sistema de bombeo definiría el caudal y los parámetros de operación que debe manejar el sistema para que en la proyección futura el sistema no termine siendo obsoleto o deficiente para la comunidad y garantice años de operación, disponibilidad y calidad a la población objeto.

Para llevar a cabo la proyección de la población objeto del diseño, se deben tener en cuenta las proyecciones de entes descentralizados de estadística del gobierno como el DANE que se encarga de la actualización y seguimiento estadístico constante de la población, los municipios y sus dinámicas económicas, de salud, educación y elementos que definen la calidad de vida de la población como lo es la cobertura y calidad del agua potable y el alcantarillado en los municipios de Colombia, para el caso de la proyección de la población, podemos comenzar analizando las proyecciones o dinámicas de crecimiento poblacional o mortalidad que el DANE proporciona actualizado, herramientas como TERRIDATA nos permite hacer seguimiento y análisis de la densidad poblacional.

**4.7.1 Proyección de la población según nivel de complejidad.** De acuerdo con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), el método de cálculo para la proyección de la población depende del nivel de complejidad del sistema, como se indica en la tabla B.2.1. del RAS.

Para determinar la población, se utilizará uno de los siguientes modelos matemáticos: aritmético, geométrico o exponencial. Se seleccionará el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población.

Es importante tener en cuenta los datos de población flotante y migratoria al realizar los cálculos.

En caso de que falten datos, se recomienda revisar las proyecciones disponibles en poblaciones cercanas que presenten un comportamiento similar al de la población en estudio.

Figura 1. Métodos de cálculo permitidos según nivel de complejidad del sistema de la población.

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

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B*. Bogotá, Colombia .

**4.7.2 Método de cálculo según la densidad poblacional del municipio.** En el caso de las recomendaciones que el RAS realiza para el cálculo de la proyección de la población según el nivel de complejidad del sistema, podemos relacionar el método matemático a emplear según la densidad de habitantes en el municipio (ver figura 2).

Figura 2. Método según densidad poblacional.

Método	Población (habitantes)			
	Hasta 5000	De 5001 a 20000	De 20001 a 100000	Mayores a 100000
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Exponencial	X (2)	X (2)	X (1)	X
Curva Logística				X

(1) Optativo, recomendable

(2) Sujeto a justificación

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B*. Bogotá, Colombia .

**4.7.2.1 El método aritmético.** Supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración, La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

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

Tabla 5. Asignación variables método aritmético.

VARIABLE	SIGNIFICADO
P <sub>f</sub>	Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
P <sub>uc</sub>	Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).
P <sub>ci</sub>	Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
T <sub>uc</sub>	Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
T <sub>ci</sub>	Año correspondiente al censo inicial con información.
T <sub>f</sub>	Año al cual se quiere proyectar la información.

Fuente: tabla elaborada por el autor.

## 4.8 DOTACIÓN NETA

La dotación neta es la cantidad mínima de agua necesaria para cubrir las necesidades básicas de un suscriptor o residente, según la proyección de la demanda de agua, sin tener en cuenta las pérdidas que puedan ocurrir en el sistema de acueducto. Como estudiante de posgrado, se reconoce que la dotación neta es un parámetro fundamental para determinar el suministro de agua adecuado a la población, garantizando así el cumplimiento de sus necesidades esenciales.

**4.8.1 Dotación Neta por Suscriptores.** En situaciones en las que se disponga de la información pertinente en la entidad proveedora del servicio de acueducto o en el sistema único de información (SUI) de la SSPD, para llevar a cabo la proyección de suscriptores en el municipio o en la zona específica del diseño, el consultor y/o la entidad proveedora del servicio deben estar familiarizados con el valor existente del consumo promedio por suscriptor. En caso de que no se cuente con datos históricos sobre el consumo de agua potable por parte de los suscriptores, el consultor debe utilizar la dotación por suscriptor establecida en la siguiente tabla como referencia.

Figura 3. Dotación por suscriptor según el nivel de complejidad del sistema.

Nivel de complejidad del sistema	Dotación por suscriptor (m <sup>3</sup> /sus•mes ) climas templado y frío	Dotación por suscriptor (m <sup>3</sup> /sus•mes ) clima cálido
Bajo	10.8	12.0
Medio	13.8	15.0
Medio alto	15.0	16.2
Alto	16.8	18.0

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B*. Bogotá, Colombia .

En relación con la tabla previa, se define como clima cálido aquella área del país que se sitúa por debajo de los 1000 metros sobre el nivel del mar.

En caso de contar con datos históricos confiables del municipio, la determinación de la dotación neta para el diseño de un nuevo sistema de acueducto o la expansión de uno existente debe fundamentarse en el análisis de los registros de consumo de agua realizados.

**4.8.2 Dotación Neta por Habitante.** En el caso de elegir la opción más reciente para estimar la demanda de agua, que implica proyectar la población, la cantidad mínima de agua requerida por habitante está relacionada con la complejidad del sistema, y los valores máximos se establecen según la tabla B.2.3 del RAS que se muestra a continuación.

Figura 4. Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema.

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab•día ) climas templado y frío	Dotación neta (L/hab•día ) clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B. Bogotá, Colombia .

En situaciones de ampliación o extensión de sistemas de acueducto, se debe establecer la dotación neta basándose en el análisis de los datos de producción y consumo del sistema, sin considerar las pérdidas de agua potable. La dotación se obtendrá a partir del promedio diario de consumo por habitante registrado durante un año (Consultar el apartado B.2.8.3.1).

**4.8.3 Dotación Bruta.** Según lo establecido en la Resolución 2320 de 2009 emitida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la dotación bruta requerida para el diseño de cada componente de un sistema de acueducto, sin importar su nivel de complejidad, se calculará utilizando la siguiente ecuación ( RAS):

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

#### 4.9 PROYECCIÓN DE CAUDAL

**4.9.1 Caudal medio diario suscriptores.** El caudal medio diario,  $Q_{md}$ , se refiere al promedio de los flujos de agua consumidos diariamente durante un año, proyectado para el periodo de diseño. Este valor se calcula mediante la siguiente ecuación (RAS):

$$Q_{md} = \frac{\text{No. suscriptores} \times d_{bruta}}{30}$$

Tabla 6. Asignación variables caudal medio diario.

VARIABLE	SIGNIFICADO
$Q_{md}$	Caudal medio diario
$d_{bruta}$	Dotación bruta, dada en metros cúbicos/suscriptor mes  Nota. En esta ecuación 30 representa el número de días en el mes.

Fuente: Tabla elaborada por el autor.

**4.9.2 Caudal medio diario habitantes.** El caudal medio diario,  $Q_{md}$ , se determina considerando la población proyectada y la dotación bruta asignada. Representa el

promedio de los consumos diarios de agua durante un año y se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

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

En este caso, p representa el número de habitantes proyectado y la dotación bruta debe estar dada en L/hab•día.

**4.9.3 Caudal Máximo Diario.** El caudal máximo diario, QMD, es el mayor consumo de agua registrado durante un período de 24 horas en el transcurso de un año. Se obtiene multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k1, según se muestra en la siguiente ecuación:

$$QMD = Q_{md} \times k1$$

**4.9.4 Caudal máximo horario.** El caudal máximo horario, QMH, representa el consumo máximo de agua registrado durante una hora en un período de un año, excluyendo el caudal de incendio. Se obtiene multiplicando el caudal máximo diario por el coeficiente de consumo máximo horario, k2, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$QMH = QMD \times k2$$

Donde:

**QMH:** Caudal Máximo horario

**Q<sub>md</sub>:** caudal medio diario

**K<sub>2</sub>:** coeficiente de consumo máximo horario

Para calcular el coeficiente de consumo máximo horario en relación al consumo máximo diario,  $k_2$ , en el contexto de ampliaciones o extensiones de sistemas de acueducto, se debe considerar la relación entre el caudal máximo horario, QMH, y el caudal máximo diario, QMD, registrado durante un período mínimo de un año, excluyendo los días en que ocurran fallas relevantes en el servicio.

En el caso de sistemas de acueductos nuevos, el coeficiente de consumo máximo horario en relación al consumo máximo diario,  $k_2$ , varía entre 1.3 y 1.7, dependiendo de las características locales.

**4.9.5 Caudal de incendios.** En la determinación de los caudales de incendio, es importante considerar la distribución de la propiedad en la zona que será abastecida, identificando las áreas residenciales, las áreas residenciales de alta densidad, las zonas comerciales y/o las zonas industriales. Esta información permitirá realizar un diseño adecuado que satisfaga las necesidades de suministro de agua en caso de incendio.

**4.9.5.1 Demanda mínima contra incendios para el nivel de complejidad del sistema bajo y medio.** En el caso de poblaciones que se encuentren en los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, el consultor deberá justificar si es necesario incluir medidas de protección contra incendios.

Es importante tener en cuenta que la presión requerida para la protección contra incendios puede obtenerse a través del equipo de bombeo del cuerpo de bomberos, y no

necesariamente de la presión en la red de distribución de agua. Además, se deben considerar las siguientes especificaciones:

1. Los hidrantes deben instalarse preferiblemente en las tuberías principales con capacidad para conducir al menos 5 L/s y deben ser capaces de descargar un caudal mínimo de 5 L/s.
2. Se recomienda que la distancia máxima entre los hidrantes sea de 300 m. La ubicación final de los hidrantes debe ser recomendada por el diseñador, teniendo en cuenta las regulaciones de zonificación urbana.

**4.9.6 Caudal de diseño.** Al calcular el caudal de diseño para las obras de aducción y/o conducción, es necesario considerar los siguientes requisitos:

En el caso de sistemas de complejidad baja y media, la aducción y/o conducción deben diseñarse teniendo en cuenta el caudal máximo diario (QMD) al final del periodo de diseño o año horizonte del proyecto, siempre y cuando se disponga de almacenamiento aguas abajo.

Para estos niveles de complejidad del sistema, se debe priorizar el uso de almacenamiento como criterio fundamental en todo el sistema.

## **4.10 RED DE DISTRIBUCIÓN**

**4.10.1 Materiales para las Tuberías de la Red de Distribución.** Como lo indica el RAS 2010, Al construir una red de distribución de agua potable o al ampliar una red existente, se debe considerar la utilización de alguno de los materiales siguientes según lo propuesto en el diseño:

1. Concreto con cilindro de acero (CCA).
2. Hierro dúctil (HD).
3. Hierro fundido (HF).

4. Polivinilo de cloruro (PVC).
5. Polivinilo de cloruro orientado (PVCO).
6. Polipropileno (PP).
7. Poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP).
8. Polietileno de alta densidad (PEAD).
9. Acero (AC), para los cruces, pasos elevados y empalmes

Antes de proceder, los materiales propuestos para la construcción de la red de distribución de agua potable o su ampliación deben ser aprobados previamente por la entidad responsable del servicio público de acueducto del municipio o por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el caso de sistemas de complejidad media y baja.

El diseño de la nueva red de distribución debe contemplar todos los materiales disponibles en la zona del proyecto que sean económicamente competitivos, teniendo en cuenta tanto el costo del tubo como las condiciones de excavación. El consultor puede utilizar otros materiales, siempre y cuando obtenga la aprobación expresa de la entidad responsable del servicio público de acueducto. Dichas entidades pueden incorporar nuevos materiales a este reglamento, siempre y cuando cumplan con las Normas Técnicas Colombianas NTC correspondientes o, en su defecto, con normas técnicas internacionales como ASTM, AWWA, ISO, DIN u otras entidades de normalización reconocidas.

**4.10.2 Presiones en la Red de Distribución.** En todos los niveles de complejidad del sistema, es necesario considerar los siguientes requisitos relacionados con las presiones en los puntos de conexión de la red de distribución desde la etapa de diseño:

- La presión dinámica mínima, para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio debe ser de 98.1 kPa (10 m.c.a.).

### 4.10.3 Diámetros de las tuberías en la red de distribución.

**4.10.3.1 Diámetros nominales mínimos en la red matriz.** En todos los niveles de complejidad del sistema, se establecen los diámetros nominales mínimos para la red principal según lo indicado en el RAS ( Ver figura 5).

Figura 5. Diámetros nominales mínimos de la red matriz

Nivel de Complejidad del Sistema	Diámetro mínimo
Bajo y Medio	100 mm
Medio Alto	150 mm
Alto	300 mm

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B*. Bogotá, Colombia .

El consultor es responsable de llevar a cabo los cálculos requeridos para asegurar que, con el diámetro interno real de la tubería seleccionada, se cumplan las condiciones de diseño establecidas.

**4.10.4 Velocidades en las tuberías de la red de distribución.** La velocidad máxima en las tuberías de la red de distribución, considerando el caudal máximo horario (QMH) al final del periodo de diseño o situaciones excepcionales de mantenimiento o protección contra incendios, debe variar en función del material utilizado en las tuberías. En la figura 6 se presentan las velocidades máximas recomendadas para las tuberías en la red de distribución.

Figura 6. Velocidades máximas según material de tuberías.

Material	Velocidad (m/s)
Acero sin revestimiento	5.0
Acero con revestimiento	4.0
Hierro dúctil	4.0
CCP	3.0
PVC y PVCO	6.0
PEAD	5.0
GRP	6.0
Polipropileno	6.0

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B*. Bogotá, Colombia .

Si se plantea utilizar un material distinto para las tuberías en el diseño, el consultor debe fundamentar y argumentar el valor máximo de velocidad propuesto ante la entidad encargada del servicio público de acueducto, en el caso de niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, y ante el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el caso de niveles de complejidad del sistema medio y bajo.

#### 4.11 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

**4.11.1 Investigación Exploratoria.** La investigación exploratoria es un tipo de investigación que se utiliza para examinar un problema que no está claramente definido, con el objetivo de comprenderlo mejor, pero sin llegar a resultados definitivos. A diferencia de otros tipos de estudios, la investigación exploratoria es muy flexible y requiere que el investigador asuma riesgos, tenga paciencia y sea receptivo.

Esta forma de investigación se lleva a cabo principalmente cuando el problema está en una etapa inicial. También se conoce como enfoque de teoría fundamentada o

investigación interpretativa, ya que busca responder las preguntas sobre qué, por qué y cómo.

Es importante destacar que la investigación exploratoria se centra en generar hipótesis que sirvan de base para realizar estudios más profundos, con el fin de obtener resultados y conclusiones sólidas.

**4.11.2 Investigación documental.** La investigación documental es un tipo de investigación que se basa principalmente en la recopilación y análisis de información contenida en documentos escritos, como libros, artículos científicos, informes, registros históricos, entre otros. Consiste en explorar y examinar de manera exhaustiva diversas fuentes documentales con el objetivo de obtener datos, evidencias y conocimientos relevantes sobre un tema específico. Este tipo de investigación se caracteriza por su enfoque en la búsqueda y revisión crítica de información existente, sin realizar experimentos o recopilar datos de primera mano. La investigación documental es ampliamente utilizada en diversos campos académicos y profesionales para fundamentar teorías, realizar revisiones bibliográficas, contextualizar estudios y generar nuevos conocimientos a partir de la información disponible.

**4.11.3 Investigación de diseño.** La metodología de diseño es un enfoque sistemático que se utiliza para desarrollar soluciones eficientes y efectivas a problemas de diseño. Se refiere a un conjunto de pasos, procesos y técnicas que se siguen durante el proceso de diseño con el fin de lograr un objetivo específico.

En el ámbito del diseño, la metodología de diseño abarca diversas actividades, como la investigación y recopilación de información, el análisis de requisitos y especificaciones, la generación de ideas y conceptos, la creación de prototipos y pruebas, la evaluación y selección de soluciones, y la documentación de los resultados.

La metodología de diseño brinda una estructura y un marco de trabajo que guía a los diseñadores a lo largo del proceso, ayudándoles a organizar sus ideas, tomar decisiones fundamentadas y lograr un diseño final óptimo.

#### **4.12 Tipos de Mantenimientos Industriales.**

**4.12.1 Mantenimiento Correctivo.** Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de estos.

**4.12.2 Mantenimiento Preventivo.** Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

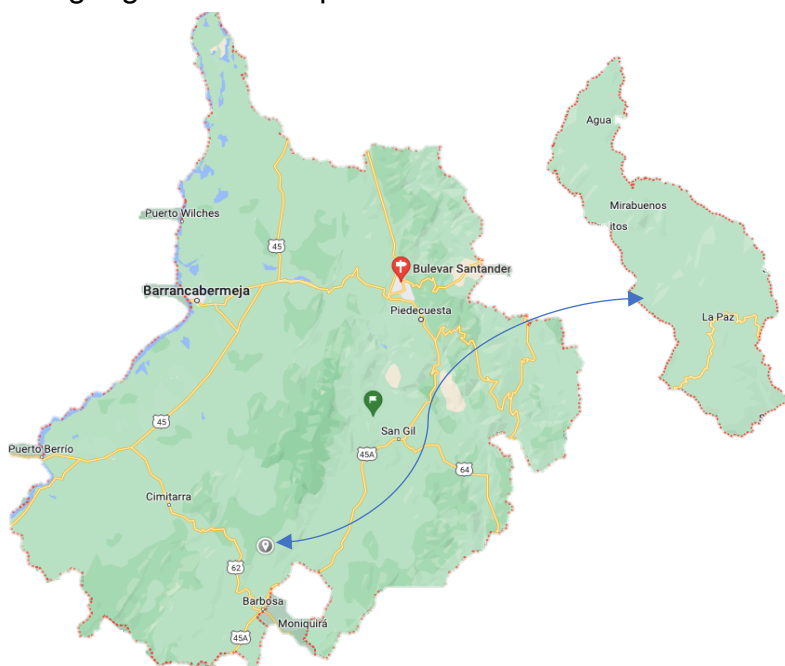
**4.12.3 Mantenimiento Predictivo.** Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.

## 5. METODOLOGÍA DE TRABAJO DE GRADO.

En nuestro trabajo Adelantaremos varios elementos de investigación exploratoria, documental y de diseño, las cuales nos permitirá recopilar datos, parámetros de las problemáticas y con base a estos datos y el análisis respectivos de cada uno de ellos podremos realizar las respectivas recomendaciones, proyecciones e implementación de las alternativas y soluciones basadas en los parámetros que el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) recomienda para los municipios de Colombia, en las diferentes bibliográficas y cibergráficas sobre el tema tratado, y en los conocimientos del docente y los diferentes conceptos aprendido en las asignaturas adelantadas del programa de ingeniería mecánica de la UIS.

### 5.1 INFORMACIÓN DEL MUNICIPIO.

Figura 7. Ubicación geográfica municipio La Paz Santander.

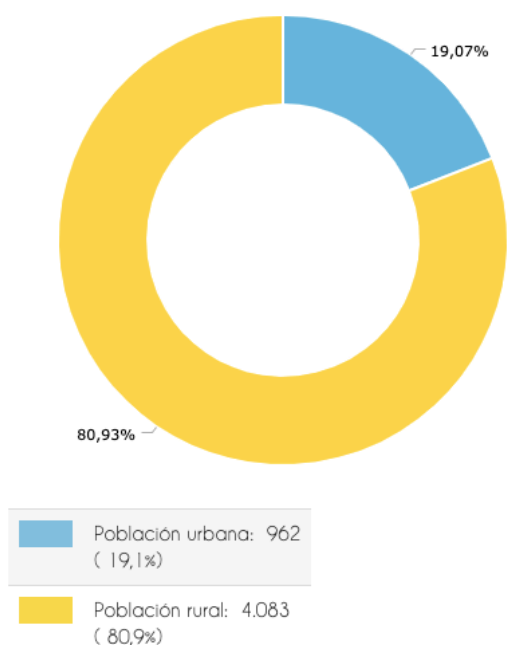


Fuente. Delimitación geográfica del departamento de Santander y el municipio de la paz, desarrollado con Google Earth por el autor.

El municipio de la Paz es un municipio ubicado en la provincia de Vélez, del departamento de Santander, fundado en 1793, con límite al Norte con el municipio de Santa Helena del Opón, al Oriente con Guacamayo, San Benito y la Aguada, al Occidente con Vélez Santander, y al Sur con los municipios de Chipatá y San Benito, con una extensión territorial de aproximadamente 241 Km<sup>2</sup> y a 237 Km de Bucaramanga. Su Densidad Poblacional por área Urbana y Rural la encontramos en la siguiente gráfica de TerriData del Departamento Nacional de Planeación:

Figura 8. Población desagregada por área.

Población desagregada por área  
Fuente: DANE - Censo Nacional de Población y Vivienda - 2023



Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de

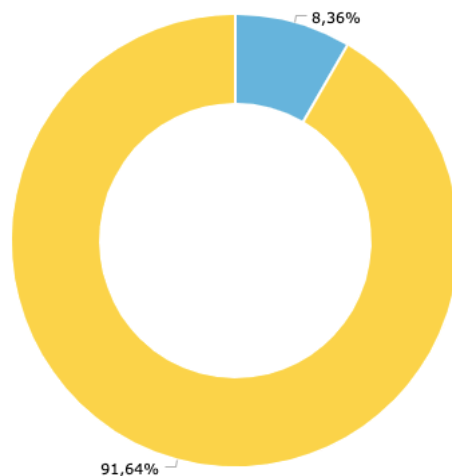
<https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>



Según datos recopilados en las visitas al municipio, la población aproximada en el casco urbano cotidianamente rodea los **1000** habitantes aproximadamente con algunas personas de población flotante, turistas o visitantes que pernotan en el municipio o que visitan por actividades relacionadas con el comercio, el turismo y desarrollo de actividades del ámbito público o privado, y en días considerados de mercado aproximadamente el municipio tiene presencia de unas **1800** personas de personas que se desplazan al municipio desde la ruralidad para abastecerse de productos derivados de la canasta familiar de las despensas de los supermercados, productos cárnicos e insumos para la agricultura, ferretería y temas bancarios.

Por otra parte, revisando los datos de catastro proporcionados por TerriData, la cantidad de predios en el casco urbano es de **363** Aproximadamente según datos del IGAC en su Ultimo actualización del 2021, y según información recopilada por la empresa de servicios públicos que maneja el Acueducto del Casco Urbano, de sus 320 acometidas o puntos de servicio de agua potable hay aproximadamente unos 280 puntos activos en el casco urbano que se compone por 250 viviendas residenciales y 30 puntos habilitados en infraestructura pública y privada como lo es la piscina municipal, hoteles, centros comerciales, la estación de servicio de gasolina, la planta de sacrificio animal, la infraestructura hospitalaria, la alcaldía municipal, algunos escenarios deportivos, etc., en la siguiente grafica podemos observar el porcentaje por predios según la zona urbana o rural:

Figura 9. Catastró predios y avalúos por municipio.

Fuente: IGAC - 2021



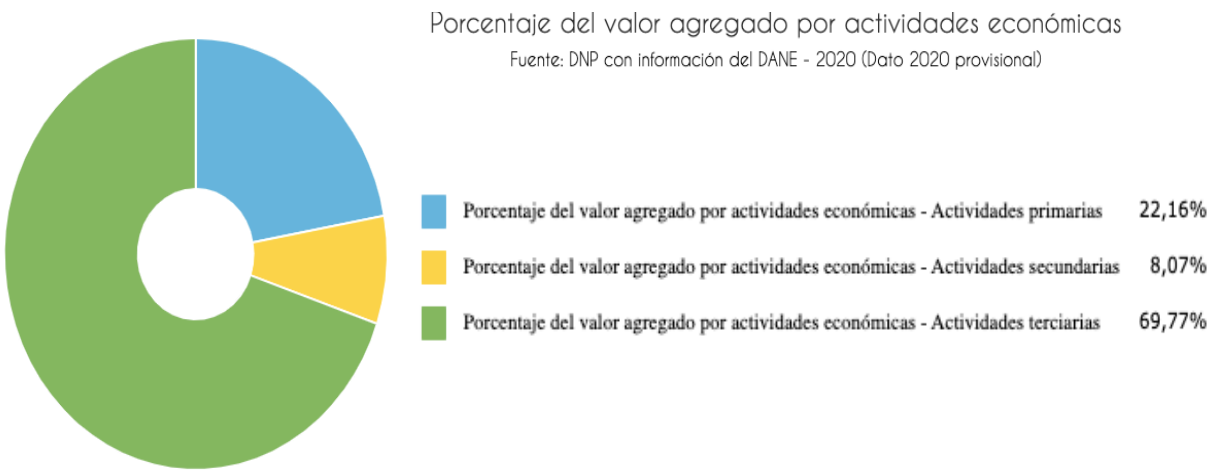
	Urbano	Rural	Total
			
Predios	363	3.979	4.342
% de predios	8,4%	91,6%	
Estado	Desactualizado	Desactualizado	

Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de

<https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>

Dentro de las actividades económicas que se desarrollan en el municipio podemos encontrar en la siguiente grafica el porcentaje que representa por actividades:

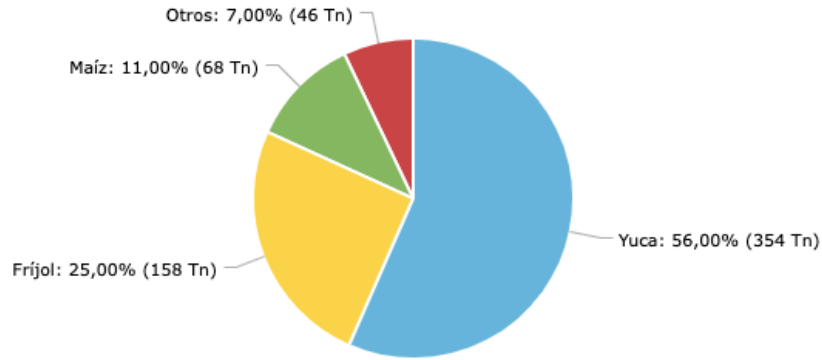
Figura 10. Porcentaje por valor agregado por actividades.



Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>

De aquí podemos reconocer que aunque el municipio cuenta con un porcentaje mayor de habitantes en el sector rural, el 69,77 % de la económica del municipio se genera en el sector terciario, siendo este el comercio, los servicios y bienes el que mayor valor económico aporta en el municipio y por ende el que en su desarrollo aunque no demande en su totalidad el recurso hídrico como elemento principal para desarrollarse es de vital importancia en el desarrollo y operación de algunos de los servicios que se desarrollan, por otra parte el sector primario, aporta un 22,16 % de la economía del municipio, y es claro que la agricultura requiere para su actividad del recurso hídrico, algunas de los productos del municipio (ver figura 11).

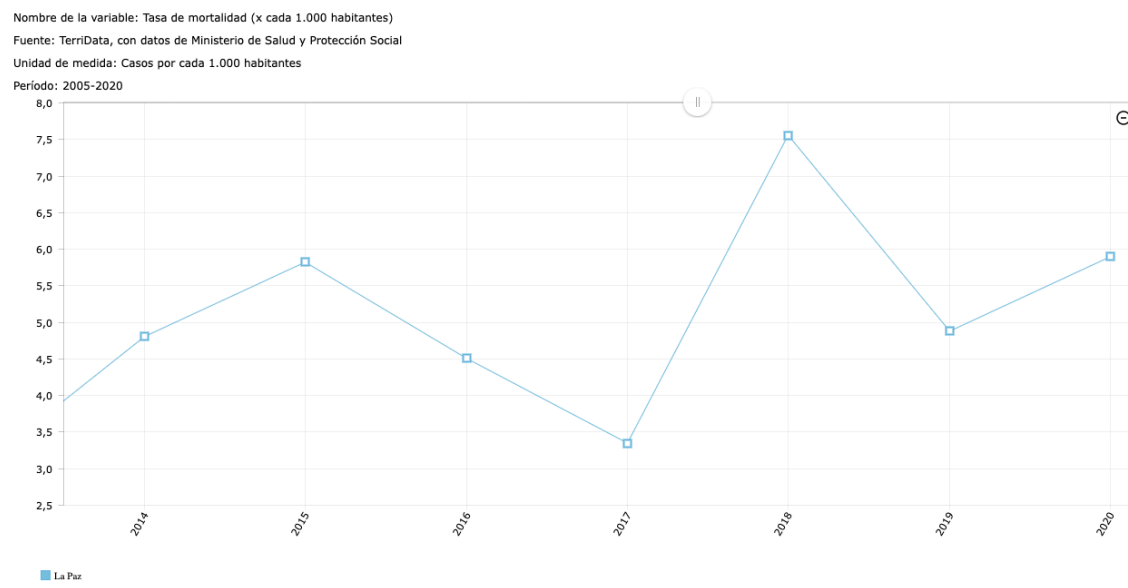
Figura 11. Principales cultivos transitorios.



Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>

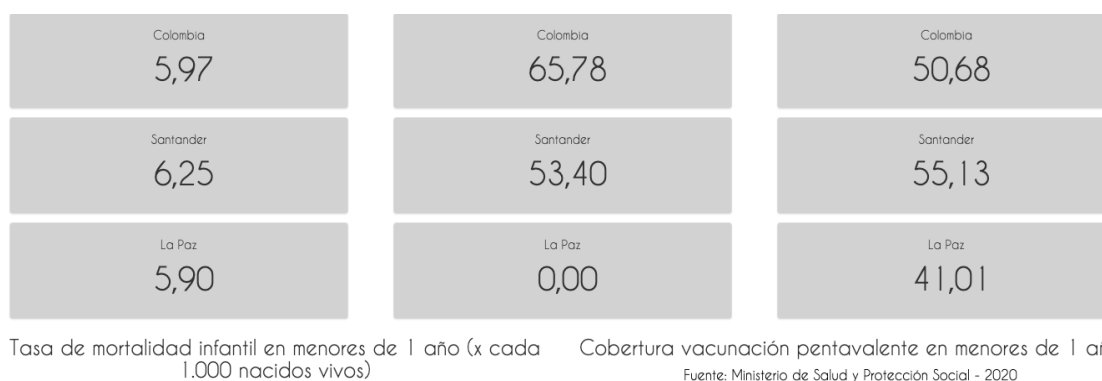
Por otra parte, al revisar algunos datos proporcionados por el Ministerio de Salud y Protección Social referentes a los índices de mortalidad y fecundidad del municipio encontramos lo siguientes:

Figura 12. Tasa de mortalidad.



Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>

Figura 13. Comparativo mortalidad y fecundidad.

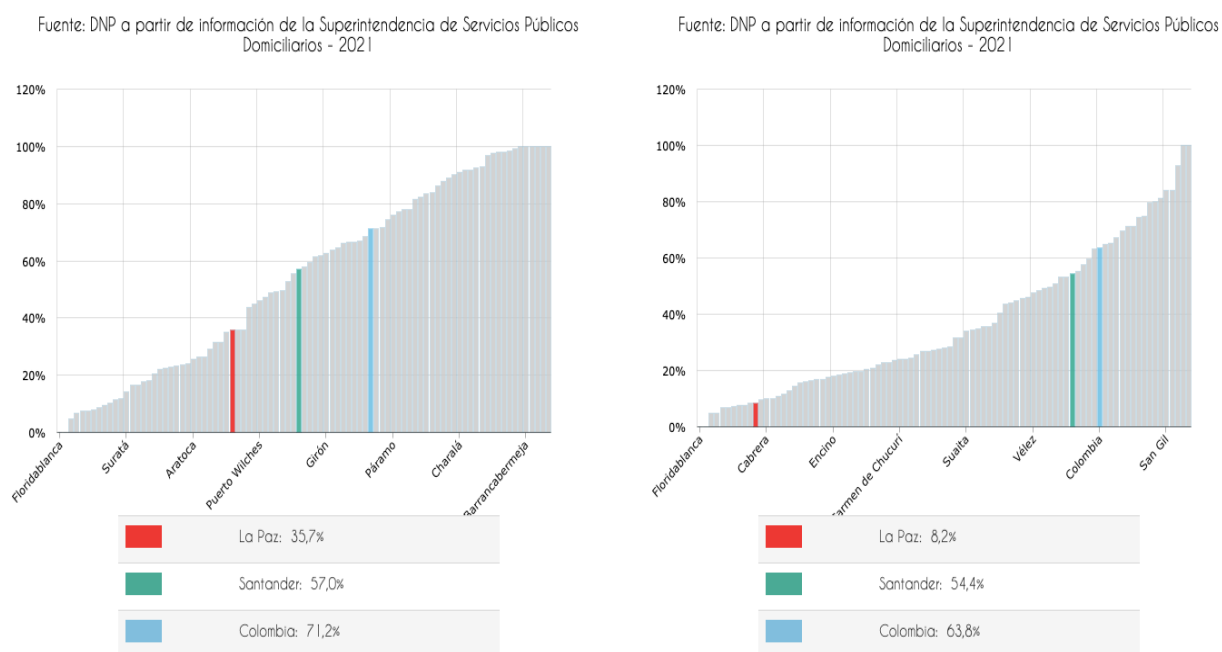


Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de

<https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>

Aunque las cifras del municipio en cuanto a la mortalidad y la fecundidad están en promedio por debajo de los índices del departamento y del país, sin tener el conocimiento claro sobre las razones que llevan a las personas a la muerte, podemos revisar que los siguientes datos proporcionados sobre la cobertura de acueducto y alcantarillado en el municipio si determinan la calidad de vida de las personas entorno al recurso hídrico, su necesidad y la disponibilidad de este si puede desarrollar enfermedades o empeorarlas en cuanto a la calidad del agua que consumen o incluso de su disponibilidad así como del tratamiento que se le da a las aguas servidas, en la siguiente grafica observamos con respecto que el municipio de la Paz se encuentra por debajo de los índices promedio del departamento de Santander y del país ( ver figura 14).

Figura 14. Cobertura acueducto y alcantarillado.



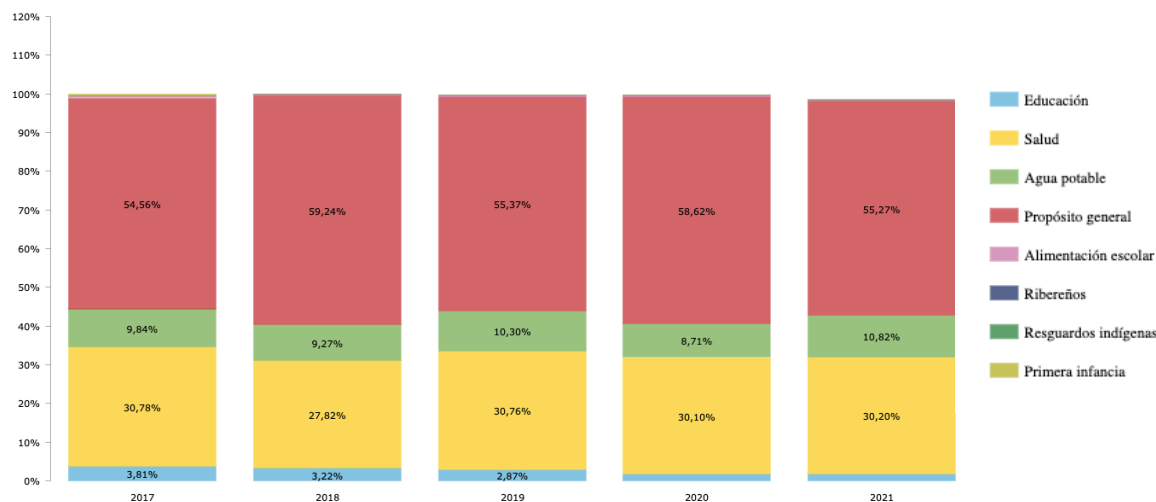
Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>

Estos índices nos permiten tener claridad que la poca cobertura de acueducto y alcantarillado está por debajo de los índices gubernamentales o nacionales, y que este índice aparte de relacionar la problemática de las PTAP y PTAR en el municipio nos deja una precisión sobre la necesidad de recursos públicos para la solución a la problemática hídrica presentada y la focalización de recursos en este tema (ver figura15).

Figura 15. Distribución porcentual de asignación SGP.

SGP - Distribución porcentual de asignaciones SGP por sectores

Fuente: DNP - SICODIS SGP 2017-2021

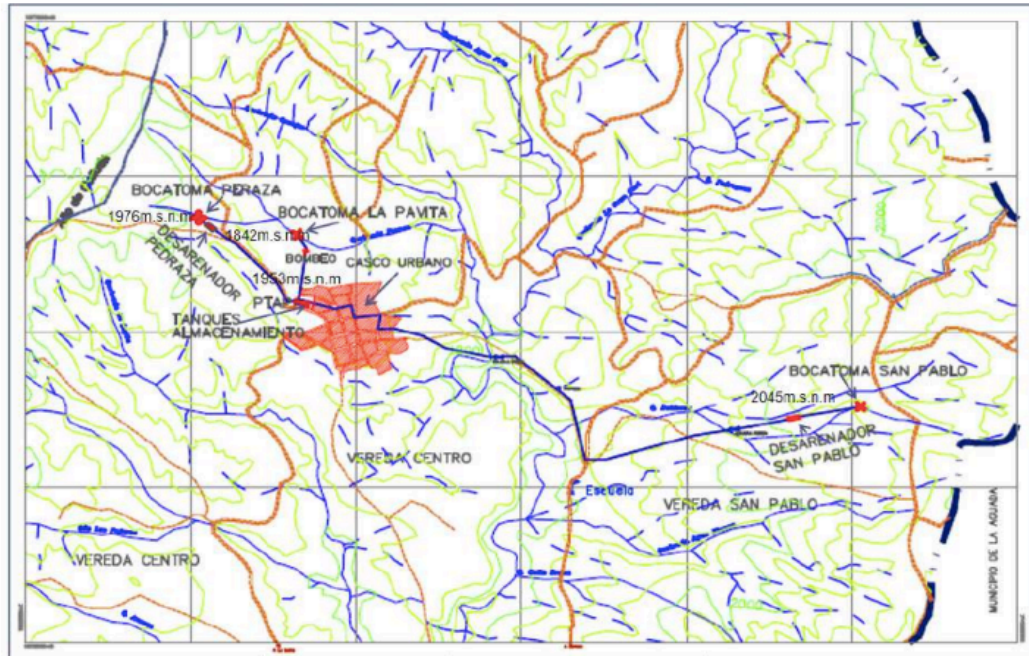


Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de

<https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>

Los anteriores datos nos permiten reconocer que aunque los recursos que el Sistema General de Participación del gobierno nacional gira al municipio de forma directa y con destinación exclusiva para el tema del Agua Potable y Saneamiento básico, se han ejecutado en la misma proporción en los últimos años, no se ha desarrollado un proyecto destinado a la mejora de la calidad del recurso hídrico en cuanto a su calidad y potabilidad, su disponibilidad y distribución, e incluso su disposición y tratamiento después del consumo que impacte y exponencialmente muestre avances en el concepto porcentual que califica la cobertura y con este los indicadores de gestión e inversión en la misma temática.

Figura 16. Mapa de servicios de acueducto y alcantarillado en La Paz.



Fuente: Alcaldía de La Paz Santander. (s.f.). Plan de Desarrollo La Paz Santander. Recuperado de [https://lapazsantander.micolombiadigital.gov.co/sites/lapazsantander/content/files/000184/9172\\_9171\\_plandesarrollolapaz.pdf](https://lapazsantander.micolombiadigital.gov.co/sites/lapazsantander/content/files/000184/9172_9171_plandesarrollolapaz.pdf)

## 5.2 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

Con el fin de analizar el sistema actual del acueducto del municipio y cada uno de sus componentes, y de acuerdo con el tipo de investigación que adelantaremos realizaremos visitas exploratorias al municipio con el fin de valorar cada componente y situación que presentan las zonas de captación, las redes de distribución, aspectos ambientales y técnicos que puedan estar comprometiendo la disponibilidad, la operación y la calidad del sistema y el recurso hídrico entregado en el casco urbano.

### **5.2.1 Aspectos a revisar**

Después de revisar las diversas publicaciones y actualizaciones del RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico Título B – Sistemas de Acueducto), relacionaremos algunos de los conceptos y parámetros a tener en cuenta en la proyección de nuestro sistema de bombeo, y de las condiciones actuales de la PTAP, sus afluentes, sus bocatomas y los ecosistemas donde se encuentran estas zonas de captación, es importante resaltar que aunque el proyecto se enfoca en la estructuración de un sistema de bombeo como motor de impulsión para el transporte y aprovechamiento del recurso hídrico y mejorar con esto la calidad y disponibilidad del mismo, hay varios parámetros meteorológicos, del calentamiento global, hidrográficos, ambientales, sociales, características de consumo, de infraestructura, que hacen parte del correcto funcionamiento, la calidad del servicio que se ofrece, la calidad de vida de los habitantes del casco urbano y la disponibilidad sin comprometer sus ecosistemas, sus fuentes hídricas y en el peor de los casos la vida humana, varios de estos aspectos técnicos se nombran en el RAS y se relacionarán a continuación:

Los siguientes conceptos relacionados fueron valorados en nuestras visitas, esto con el fin de analizar y proyectar cada uno de los aspectos que se deben contemplar en la estructuración del sistema de bombeo, así como recomendar correcciones al sistema de acueducto y cada uno de los componentes asociados con la operación y disponibilidad, a continuación, relacionamos algunos de los conceptos del RAS – Título B:

Como lo indica el capítulo 4 del Ras en lo que respecta a los criterios básicos para la captación en fuentes superficiales, los siguientes parámetros deben ser tenidos en cuenta para la elaboración de un diseño o reestructuración del mismo, debemos resaltar

que nuestro proyecto está dirigido a la mejora y no a la reestructuración de un proyecto desde cero, relacionaremos los aspectos a considerar en la infraestructura que conforma en el actual sistema de acueducto del municipio y que posiblemente podemos corregir:

**5.2.1.1 Facilidad de operación y mantenimiento.** Se recomienda que el diseño de las estructuras de captación incluya mecanismos para aliviar o liberar el exceso de agua. Además, es importante establecer medidas para prevenir la entrada de materiales u objetos no deseados. En caso de ser necesario, se debe considerar la instalación de un desarenador después de la estructura de captación. También es fundamental contar con métodos para limpiar y controlar los caudales tanto del desarenador como de la conducción del agua. En cualquier caso, es fundamental diseñar la estructura de captación de manera que requiera el mínimo mantenimiento para su correcto funcionamiento.

En cuanto a este aspecto se revisó si las zonas de captación cuentan con su respectivo desarenador, así como algunos componentes hidráulicos de la red de distribución para la limpieza, purga y remoción de sedimentos en la tubería como en las rejillas de la bocatoma.

**5.2.1.2 Lejanía de toda fuente de contaminación.** Es necesario seleccionar un lugar adecuado y alejado de cualquier fuente de contaminación para la ubicación de las estructuras de captación. En la medida de lo posible, se recomienda que las captaciones se sitúen aguas arriba de las áreas habitadas, evitando así las descargas de aguas residuales domésticas e industriales.

En cuanto a este aspecto se encontró que el cauce que desarrolla las quebradas desde su nacimiento hasta la zona de captación no está siendo intervenidas por aguas servidas o escorrentías de agua que puedan contaminar el afluente, esto ira de la mano del respeto

de la respectiva ronda hídrica de 30 metros según **Decreto 2245 de 2017** del gobierno nacional designada para los afluentes.

**5.2.1.3 Aprovechamiento de la infraestructura existente.** Si el proyecto implica la ampliación de un sistema de acueducto ya existente, es importante que el consultor evalúe la viabilidad de utilizar la infraestructura de captación existente. En caso de decidir aprovechar dichas estructuras, se debe planificar cuidadosamente las obras de manera que se minimicen las interrupciones en el servicio de las estructuras existentes.

Como lo indica el aspecto y de acuerdo a los objetivos de este documento se revisó que cada uno de los componentes de la infraestructura construida, los cuales constituyen el actual sistema de acueducto y sus componentes, esto con el fin de buscar mejorías o corregir aspecto que no le permitan a sistema y sus operadores el correcto funcionamiento.

**5.2.1.4 Desviación de cursos.** Es recomendable evitar en la medida de lo posible realizar cambios o alteraciones en los cursos de agua, considerando los posibles efectos de erosión y arrastre de elementos. En relación a este aspecto, se llevará a cabo una revisión minuciosa del recorrido de los afluentes, identificando posibles desviaciones o derivaciones artificiales que puedan afectar la capacidad de suministro de agua en la zona de captación y aguas abajo de dicha zona.

**5.2.1.5 Accesos.** Las estructuras de captación deben ubicarse en áreas que sean de fácil acceso, facilitando así las labores de reparación, limpieza y mantenimiento.

En caso de que no existan accesos adecuados, se deben construir las vías necesarias para permitir el acceso, incluso adquiriendo los derechos de paso correspondientes.

En cuanto a las zonas de acceso, se ha evaluado la facilidad de llegar a estas áreas de captación, reconociendo que la dificultad de acceso puede comprometer la realización de mantenimientos periódicos, el seguimiento y la revisión de cada uno de los componentes de la zona de captación, así como el monitoreo del caudal entregado.

**5.2.1.6 Cerramientos.** Es necesario que la zona de la bocatoma cuente con medidas de protección y cercado para evitar el ingreso de personas y animales no autorizados.

En relación con este aspecto, se revisa el cumplimiento de la normativa correspondiente a las áreas de protección cercanas a cuerpos de agua, considerando también los elementos de protección instalados en la bocatoma y sus alrededores, en línea con las previas consideraciones acerca de mantener distancia de fuentes de contaminación.

**5.2.1.7 Iluminación.** En el caso que la bocatoma incluya bombeo debe proveerse la iluminación adecuada necesaria y cumplir todo lo establecido en el capítulo B.8, de este Título.

Para este último aspecto a revisar, se analizó la disponibilidad energética en el cuarto de bombeo del afluente 3, no solo con el fin de darle la energía necesaria al equipo de bombeo sino con el fin de analizar si existe la posibilidad de operar en el cuarto en horas de la noche o incluso en la disponibilidad energética para el uso de herramienta eléctrica que se llegue a necesitar en la posibilidad de algún mantenimiento de equipos.

### 5.3 CONDICIONES ACTUALES DEL SISTEMA

Con el fin de analizar y conocer las condiciones hídricas del municipio, realizamos visitas exploratorias para inspeccionar y verificar los componentes que estructuran la PTAP, sus zonas de captación y la red de distribución que transporta el recurso hídrico sin tratar a la planta y de esta al casco urbano, adelantamos visitas guiadas con el operario de la planta de tratamiento para conocer en detalle el estado actual de los aspectos hidráulicos de la planta, las formas de operación y mantenimiento, los impactos ambientales que estos generan en los ecosistemas de las zonas de captación, las problemáticas derivadas de todos estos elementos que son factor determinante en la calidad del servicio, y con estas visitas la recopilación de información, opiniones y valoraciones que nos permite tener claridad de la forma en la que opera la empresa de servicios públicos con su actividad comercial, las dinámicas de consumo del casco urbano y el respaldo que brinda la administración actual con las metas enfocadas en la mejora de la calidad del agua y con esta la calidad de vida de sus habitantes, todo esto con el fin de tener guías de cuáles son los problemas que se deben resolver y poder diseñar el nuevo sistema de bombeo para la nueva PTAP, así como poder proyectar recomendaciones que mejoren los demás elementos mecánicos, técnicos, de mano de obra y ecosistémicos del municipio y su estado hídrico enmarcados en nuestros conocimientos, y el las recomendaciones que las normativas del RAS tiene para los municipios de Colombia.

A continuación, se presentan alguna valoraciones y datos recopilados en las visitas exploratorias al municipio:

El municipio de La Paz (Santander), cuenta con una planta de tratamiento de agua potable compacta, ubicada en el punto más alto del casco urbano. A unos 1953 msnm,

la cual permite una entrega de agua tratada de 3 Litros/s, esta planta lleva en servicio 15 años y sus condiciones de operación y vida útil no le permiten entregar la capacidad de recurso hídrico y calidad que se requiere en algunas épocas del año para el casco urbano y sus usuarios, de esta problemática nace la necesidad de construir una nueva PTAP en este caso una convencional que permita mejorar la calidad y capacidad de servicio y la operación y disponibilidad por muchos más años.

Esta Planta operada por la empresa de servicios públicos denominada en su razón social **ACUEDUCTO LA PAZ** ubicada en el casco urbano del municipio, cuenta con 3 bocatomas o zonas de captación las cuales suministran la demanda hídrica de la PTAP para su operación, cada uno de los puntos de captación de agua tienen diferentes diámetros de tubería de transporte y material, está a distintas ubicaciones o veredas, altitud y diámetros de distancia de la planta, 2 de estas permiten el transporte de agua por gravedad diariamente y la tercera opera mediante un sistema de Moto Bomba de ACPM que el operario de la planta pone en funcionamiento ciertas fechas con condiciones climáticas de verano o incluso cuando el caudal que cotidianamente entregan las 2 principales se reduce en algunas temporadas del año.

Figura 17. PTAP Actual acueducto casco urbano del municipio.



Fuente: Fotografía adelantada en una de las visitas al casco urbano por el autor.

En la visita recopilamos la siguiente información:

**5.3.1 Bocatoma Hoyo Marianos.** La primera zona de captación del municipio responde al nombre de la Bocatoma Hoyo Marianos, ubicada en la Vereda San Pablo a unos 5 km aproximadamente del casco urbano, esta bocatoma muro por rejilla está a una altura aproximada de 2045 msnm, se construyó desde 1970 y actualmente sigue en operación, tiene aproximadamente 3 km de red de tubería para el transporte por gravedad de agua a la PTAP en material PVC de 3 " de manera superficial en algunos tramos como enterrada a la cual se le realiza trimestralmente para remover algunos sedimentos, desde

su construcción inicial no se ha realizado cambio completo de la tubería sino algunos tramos en donde el material, la presión de operación y algunos incidentes con deslizamientos de tierra han reventado la tubería, con las visitas se tomaron datos de los caudales que aproximadamente maneja actualmente la quebrada con el fin de analizar la variación por épocas del año y condiciones atmosféricas y nos proporcionaron los siguientes datos:

- Noviembre 2022: caudal aproximado 3.3 Litros/ segundo
- Enero 2023: caudal 2.08 Litros/min
- Febrero o marzo 2023

Según entrevista al señor Carlos lobo quien opera la planta desde la construcción de la PTAP y sus principales bocatomas, la bocatoma Hoyo Marianos hace aproximadamente 20 Años manejaba un caudal de 6 litros/segundo en el punto de la zona de captación, y según don Carlos es posible que en los próximos años este deje de entregar un caudal que permita entregar por la zona de captación el recurso hídrico y en el peor de los casos se seque (ver figura17).

Figura 18. Bocatoma hoyos Marianos.



Fuente: Fotografía adelantada en una de las visitas por el autor.

Como se puede evidenciar en la anterior fotografía del mes de enero, el caudal que pasa por esta zona de captación apenas logra llegar a la rejilla de la bocatoma y en una época del año donde apenas comienza la temporada del fenómeno del niño, desde nuestra investigación exploratoria encontramos las siguientes situaciones relacionadas con la posible reducción del caudal de este afluente:

- En la zona desde donde se ubica el nacimiento de la quebrada a 2070 msnm hasta el punto de captación se observa presencia de ganado para engorde, según versión del señor lobo en esta zona se han realizado en varios años deforestación

de varios árboles para ampliar las zonas donde el ganado puede pastear y ocupar en este terreno.

- Otra de las situaciones asociadas es la presencia del ganado y que coincide con la versión del señor lobo, en un punto por donde pasa la quebrada se realizó una intervención de cauce del afluente con el fin de captar agua para el consumo de los semovientes, si relacionamos en consumo de agua por el número de reses el promedio una vaca al día consumo en una zona con las características geográficas de este lugar aproximadamente 50 litros al día, en nuestra visita aproximadamente contamos presencia de unas 30 reses.
- Con lo que respecta al encerramiento o acotamiento que por ley según decreto 2245 de 2017 del gobierno nacional se debe respetar a los cuerpos hídricos 30 metros como ronda hídrica del cauce permanente y según los criterios hidrológicos y geomorfológicos de la zona, en nuestra inspección el lugar no cuenta sino con una ronda de menos de 5 metros incluso en algunas partes del recorrido de la quebrada de 1 metro de distancia.
- Por otra parte en nuestra investigación exploramos la posibilidad de que en alguno de los tramos que conducen desde el nacimiento de la quebrada hasta llegar a la zona de captación no existiera el desvío del cauce o algún otro punto de captación de agua con intención de aprovechamiento residencial, agrícola o industrial que colocara en riesgo el caudal que brota del aljibe en donde nace el agua, en nuestra inspección no encontramos ningún desvío del cauce más allá del mencionado anteriormente respecto al aprovechamiento de un porcentaje para el consumo del ganado que habita en la zona.
- Como última inspección encontramos que aparte de la deforestación de algunas especies endémicas del ecosistema para fines ganaderos y que permiten la conservación del agua, por otra parte, algunos años atrás la UMATA sembraron cerca de la zona de nacimiento del afluente árboles como los pinos que por su

constitución y para su crecimiento consumen mucha agua y terminan comprometiendo el suelo y el recurso hídrico del aljibe en donde brota el agua de esta quebrada.

**5.3.2 Bocatoma Pedraza.** La segunda zona de captación del casco urbano responde al nombre de la Bocatoma Pedraza ubicada en la vereda centro, esta zona de captación es la más antigua en operación de las 3 que abastecen la PTAP, aproximadamente está en operación desde 1950, está ubicada a un kilómetro de la planta, a una altura de 1976 msnm, esta bocatoma de rejilla entrega aproximadamente 2 litros / segundo, su tubería de transporte es de 2 “, un tramo aproximado de 700 metros en PVC, su caudal este aproximadamente 3 litros / segundo, según versión del operador lobo hace unos 20 años esta bocatoma entregaba aproximadamente un caudal de 8 litros/ segundo, esta disminución del caudal del afluente puede estar relacionado con lo siguiente ( ver figura 18):

Figura 19. Bocatoma Pedraza.



Fuente. Fotografía adelantada en una de las visitas por el autor.

- En cuanto a temas que corresponden al ecosistema de la zona de captación, presenta dificultada para su acceso, la vegetación de la zona es un poco más densa y no permite el acceso fácil para realizar seguimiento del recorrido que esta realiza desde su nacimiento, sobre el punto de la bocatoma no se cuenta con una zona arborizada lo cual está expuesta directamente a los rayos del sol como lo podemos evidenciar en la siguiente fotografía:
- No se evidencio presencial de ganado en la zona, la ronda hídrica que tiene este afluente es de menos de 2 metros con respecto al borde de la quebrada incluso y

de la bocatoma, y su cercanía aproximadamente a unos 30 metros de una de las vías tercerías del municipio la expone a que las personas tengan acceso a la bocatoma de manera sencilla puesto que el encerramiento que se tiene no es de mayor seguridad para detener el acceso a esta y podría comprometer su caudal.

- La tubería de transporte de esta bocatoma esta echa de PVC, desde su instalación no se ha hecho cambio total de la tubería, solo se han realizado algunas reparaciones cuando el deslizamiento de tierra comprometido parte de la tubería.

**5.3.3 Bocatoma La Pavita.** La tercera zona de captación del casco urbano responde al nombre de la Bocatoma La Pavita, ubicada en el Casco Urbano vereda centro a unos 500 metros de la Planta de Tratamiento, se construyó en 1950, y actualmente opera como emergencia en épocas de año donde el caudal de las otras 2 se reduce por múltiples situaciones, y en donde esta entra como emergencia para garantizar el caudal día que se requiere para la operación de la planta de tratamiento, a diferencia de las otras 2 zonas de captación de agua, este afluente al estar a 1842 msnm por debajo de la altura de la PTAP 1952 msnm se transporte el agua de forma mecánica ya que opera con una moto bomba compuesta por un motor Lister de 24 caballos de combustión interna en ACPM, 2000 revoluciones y una bomba de eje libre de 3 “ de descarga con la cual bombean 5 litros/ segundos por una tubería de galvanizado de 3” de aproximadamente 400 metros en línea recta hasta la PTAP, en este afluente se tiene también una bocatoma de rejilla con la que se capta el agua que luego será almacenada en un tanque de reserva subterráneo de 25 mil litros y de donde se toma el agua que se transporta a la PTAP, como análisis a este punto de captación encontramos las siguientes situaciones ( ver figura 19):

Figura 20. Bocatoma La Pavita.



Fuente. Fotografía adelantada en una de las visitas por el autor.

- En lo que respecta a temas de conservación ambiental el ecosistema que presenta esta bocatoma es una zona más arborizado, no se cuenta con presencia de ganado, y el caudal que se compromete con respecto a la quebrada responde a la necesidad de abastecimiento en algunas fechas del año o según la cantidad mínima que requiera el municipio para cumplir con su caudal de consumo diario, por lo tanto a diferencia de las otras 2 zonas de captación este punto no compromete diariamente su caudal, el dato más relevante sobre esta zona de captación es que el caudal que lleva la quebrada desde su construcción al día de hoy no ha presentados variaciones tan significativas a comparación de las otras 2 según versión del operador Carlos Lobo.

- En cuanto a su operación, el hecho de que esta sea accionada por un motor de combustión interna de ACPM requiere que el acueducto tenga disponibilidad constante de combustible para su operación, y a su vez obliga a la empresa a tener un operario suministrando combustible al motor según las horas de operación que se necesiten para transportar el caudal día requerido, en algunos casos y según información del operario, bombear los 25 mil de agua almacenada toma aproximadamente unas 4 horas del día.
- En cuanto al mantenimiento y suministro del motor la empresa está obligada a tener que estar comprando y transportando el ACPM y más por un camino en la zona que tiene dificultad por la inclinación, encerramiento, no se cuenta con un camino demarcado ni adecuado para el tránsito normal por la zona y esto dificulta el transporte del combustible del suministro, así como la posibilidad inmediata en caso de emergencias o mantenimiento de los equipos.
- Por otra parte el hecho que esta actividad de bombeo se desarrolle por una motobomba de este tipo presenta varias situaciones en cuanto a que la combustión del motor generan gases que van a parar al cuarto de operación y alterno de la zona de captación contaminando el aire del ecosistema, a su vez esta genera ruido por su operación espantando a varias de las especies endémicas de la zona, además de esto la operación del sistema requiere de un operario capacitado que este suministrando el combustible y operando todo el sistema hidráulico que se presenta allí, y por último la robustez o gran dimensión del tamaño de los equipos obligan a tener un cuarto de máquinas, como lo podemos observar en la siguiente fotografía( ver figura 20):

Figura 21. Cuarto de Bombeo Bocatoma La Pavita.



Fuente. Fotografía adelantada en una de las visitas por el autor.

Características del motor:

- Motor de 24 caballos, 2000 Rev., Descarga en 1 ½ “, sube en 3 “ succión de 3“ con reducción a 2 “,
- Caudal de entrega 5 Litros/s

## 5.4 CALIDAD DEL AGUA

Según los datos proporcionados por los empleados del acueducto, se realiza mensualmente estudios de aguas tratadas y sin tratar, esto con el fin de revisar la calidad del servicio y las posibles mejoras en el tratamiento que les permitan entregar en su operación resultados ajustados a la normativa de consumo potable del acueducto y los estándares mínimos que la superintendencia de servicios públicos verifica en su operación que no comprometan la calidad de vida de los habitantes del casco urbano.

**Apéndice E** (estudio de aguas proporcionado por el acueducto )

Si bien no se tiene un dato estadístico de casos puntuales de enfermedades relacionadas a la calidad del agua, los % referentes de la cobertura de acueducto y alcantarilla reflejan unas posibles problemáticas que se pueden desatar si no se mejora la forma de almacenamiento, el tratamiento de aguas servidas y la disponibilidad hídrica para el futuro y con esta su calidad.

## **6. ESTRUCTURACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Como pudimos analizar en los anteriores puntos desarrollados, parte de la problemáticas recaen en algunos aspectos técnicos, hidráulicos, ecosistémicos de las zonas de captación así como del tiempo de operación de la PTAP compacta que se tiene allí y que sin duda alguna por su tiempo de operación ha hecho que la calidad y la cantidad de agua tratada con el pasar del tiempo represente un riesgo para la población en cuanto a la disponibilidad y la calidad del mismo, así como varios de los equipos y elementos que la componente requiere de una actualización y mejoras en cada uno de estos componentes, y que de ser corregidos mejoraría la disponibilidad hídrica, la conservación de los afluentes y sus ecosistemas, su operación y el tratamiento desde el nacimiento de cada una de las quebradas que suministran el acueducto hasta el punto final de las acometidas que llegan a los puntos de consumo del casco urbano.

Varias de las soluciones a proyectar están sujetas a las recomendaciones del RAS, a las normativas referentes en temas de aguas y potabilidad del país, a las dinámicas de consumo en la población, a las normativas de conservación de afluentes y medioambiente del país, y a los equipos y modelos hidráulicos que la universidad, la experiencia del docente, y las dinámicas y disponibilidad del mercado hídrico y de la industria de agua y energía del país implementa para este tipo de sistemas de aprovechamiento y tratamiento de aguas potable superficiales.

### **6.1 PROYECCIÓN POBLACIÓN DEL CASCO URBANO**

En la proyección de un sistema de bombeo es de suma importancia tener claro las dinámicas de crecimiento poblacional del casco urbano, ya que este aumento o reducción

de la población nos definirá parámetros de caudal y con esto el campo de prestación de operación de los equipos que se podrían seleccionar para resolver la necesidad de la población futura y de esta forma garantizar el óptimo funcionamiento.

Como punto inicial revisaremos los datos proporcionados por el DNP para realizar la valoración respecto a la densidad poblacional del casco urbano con el nivel de complejidad del sistema:

Densidad Poblacional Casco Urbano : 962 Habitantes, 19,1 % - Censo Nacional de Población y Vivienda 2023, el valor de población flotante día según información recopilada por operarios del acueducto no supera los las 40 personas en el municipio cotidianamente, para el caso del día de mercado si hay un aumento de casi considerable de la población del casco urbano aproximadamente unas 1200 personas y con ellas un aumento en el consumo hídrico del día y en algunas temporadas de festividades el municipio alcanza una población aproximada de 3000 personas.

Figura 22. Asignación del nivel de complejidad.

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana <sup>(1)</sup> (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios <sup>(2)</sup>
Bajo	< 2,500	Baja
Medio	2,501 a 12,500	Baja
Medio alto	12,501 a 60,000	Media
Alto	> 60,000	Alta

(1) Proyectado al período de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de la población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP o cualquier otro método justificado.

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B. Bogotá, Colombia .

Según la valoración de la tabla el casco urbano del municipio de la paz Santander tendría un nivel de complejidad baja ya que su densidad poblacional está por debajo de las 2,500 personas, aunque para algunas épocas del año la población por algunos días aumente considerablemente nivel medio entre los 2,550 y los 12,500 habitantes, Ahora bien como lo indica el capítulo 4 del RAS con respecto a los parámetros de diseño, se debe contemplar las condiciones básicas de la demanda al día de hoy como la capacidad de atender el sistema la demanda futura, esto de la mano del crecimiento poblacional, así como el crecimiento de sectores como el comercio y la industria.

En la siguiente tabla podemos relacionar el nivel de complejidad con el periodo de años para el cual podemos proyectar el diseño del sistema de bombeo:

Figura 23. Periodo de diseño según nivel de complejidad del sistema.

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de diseño
Bajo, Medio y Medio Alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B. Bogotá, Colombia .

Que para el caso de nuestro diseño está proyectado para un periodo de 25 años, esto nos permitirá tomar como parámetro de selección el sistema o el tipo de equipos de bombeo que permita entregar la demanda hídrica, que le permita al sistema atender en 25 años la necesidad hídrica.

Además, para garantizar la disponibilidad a futuro se debe atender las recomendaciones referentes a temas de conservación de los cuerpos hídricos, así como garantizar el correcto funcionamiento y operación de los equipos, y adoptar un plan de mantenimiento con actividades predictivas, preventivas y en dado caso correctivas para según la vida útil de los componentes del sistema.

### 6.1.1 Cálculo Dotación neta por suscriptores

Para proyectar el número de suscriptores en el municipio o en la zona específica del diseño, tanto el consultor como la entidad prestadora del servicio deben estar familiarizados con el valor existente del consumo promedio por suscriptor. En caso de que no se disponga de datos históricos sobre el consumo de agua potable por parte de los suscriptores, el consultor debe utilizar la asignación por suscriptor establecida en la tabla siguiente.

Figura 24. Nivel de complejidad por suscriptor.

Nivel de complejidad del sistema	Dotación por suscriptor (m <sup>3</sup> /sus•mes) climas templado y frío	Dotación por suscriptor (m <sup>3</sup> /sus•mes) clima cálido
Bajo	10.8	12.0
Medio	13.8	15.0
Medio alto	15.0	16.2
Alto	16.8	18.0

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B. Bogotá, Colombia .

Según los datos proporcionados por la anterior tabla y teniendo en cuenta la dotación por suscriptor mes con respecto al clima del municipio de la paz Santander que oscila entre los 20° y 17° centígrados, como nuestro sistema de complejidad es **Bajo**, calcularemos teóricamente el Caudal Mensual por suscriptor que se requiere en el casco urbano del municipio:

- Según datos proporcionados por el acueducto se tiene 234 suscriptores o puntos de suministro.

Si multiplicamos el número de habitantes por el valor promedio de dotación mensual para climas templados y frío que nos proporciona la tabla por los 30 días de un mes nos arroja el siguiente caudal mensualizado:

$$QM = \#h * Dn * 30$$

$$QM = 234 * 10.8 m^3 * 30 = 75.816 m^3$$

Qm: Caudal Mensualizado

#h: Número de suscriptores

Dn: Dotación por Habitante

**6.1.2 Dotación Neta por habitante.** La asignación neta de agua por habitante dependerá del nivel de complejidad del sistema y sus valores máximos deben determinarse según Figura 25. Dotación por habitante según nivel de complejidad.

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab•día ) climas templado y frío	Dotación neta (L/hab•día ) clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B. Bogotá, Colombia .

Según los datos proporcionados por la anterior tabla y teniendo en cuenta la dotación por habitante día con respecto al clima del municipio de la paz Santander donde nuestro sistema de complejidad es **Bajo**, calcularemos teóricamente la Caudal Mensual que se requiere en el casco urbano del municipio:

- Censo poblacional 2023 del casco urbano aproximado 962 Habitantes.

Si multiplicamos el número de habitantes por el valor promedio de dotación neta día para climas templados y frío que nos proporciona la tabla por los 30 días del mes nos arroja el siguiente caudal mensualizado:

Qm: Caudal Mensualizado

#h: Número de Habitantes

Dn: Dotación por Habitante, 30 representa los días del mes.

$$QM = \#h * Dn * 30$$

$$QM = 962 * 90 \text{ l} * 30 = 2.597.400 \text{ l}$$

Para ser un dato teórico se aproxima al valor real proporcionado por el acueducto en cuanto al consumo día y consumo mensualizado del municipio cotidianamente, el cual oscila entre los 100 mil litros y el promedio mensual de 3 millones al mes aproximadamente según datos de servicio de la empresa. (Ver Apéndice H.)

*Nota.* Los cálculos teóricos calculados aquí no tienen en cuenta el caudal por pérdidas que se puede producir en cualquiera de los 234 puntos o conexiones del acueducto.

**6.1.3 Dotación Neta según el uso del agua.** Durante la evaluación de las asignaciones netas de agua para un municipio, se pueden asignar diferentes cantidades de agua para cada uno de los usos presentes en el municipio, tales como residencial, comercial, industrial, institucional, fines públicos, escuelas y usos en zonas rurales adyacentes al

municipio. Todas estas categorías deben ser consideradas tanto en las asignaciones actuales como en las proyectadas, teniendo en cuenta las demandas de agua. Sin embargo, en aquellos sistemas de acueducto donde el consumo residencial represente más del 90% del consumo total de agua potable, el cálculo del agua puede realizarse teniendo en cuenta únicamente la asignación neta residencial, a la cual se le suma un porcentaje basado en los otros usos agrupados, de acuerdo con los datos de consumo disponibles. En caso contrario, el cálculo de la demanda de agua potable debe realizarse de forma separada para cada uno de los usos principales, y tanto el consultor como la entidad prestadora del servicio deben determinar las asignaciones netas según lo establecido en los siguientes párrafos. ( Tomado del “Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento).

Como lo indica el anterior concepto del capítulo 2 del RAS, el casco urbano del municipio de la paz, debido a su poca densidad población que tan solo redondea el 19,07 %, y según los datos proporcionados por el PDM 2020- 20023, la mayoría de los puntos de suministro del acueducto es aproximadamente de uso residencial, aunque se cuenta con infraestructura de carácter administrativo como la alcaldía municipal y sus instituciones descentralizadas, algunos escenarios deportivos públicos como una piscina pública y algunos escenarios deportivos, una planta de sacrificio animal que no se encuentra en operación, una sede del **Colegio Pablo VI** como sede principal, podemos referir principalmente la dotación neta del agua al uso residencial, puesto según los datos del acueducto del casco urbano cuenta con 320 usuarios registrados, de los cuales puntos activos aproximadamente son unos 280 y de esos puntos un **89,28 %** que aproximadamente serían 250 acometidas corresponden a uso residencial, y tan solo un **11,72 %** que representaría unos 30 puntos aproximadamente de infraestructura tanto pública como privadas en el casco urbano.

En el siguiente grafico elaborado con herramientas del DNP, relacionamos el crecimiento poblacional del casco urbano de la paz de los últimos 5 años que comprende los censos poblacionales desde el 2018 al 2023:

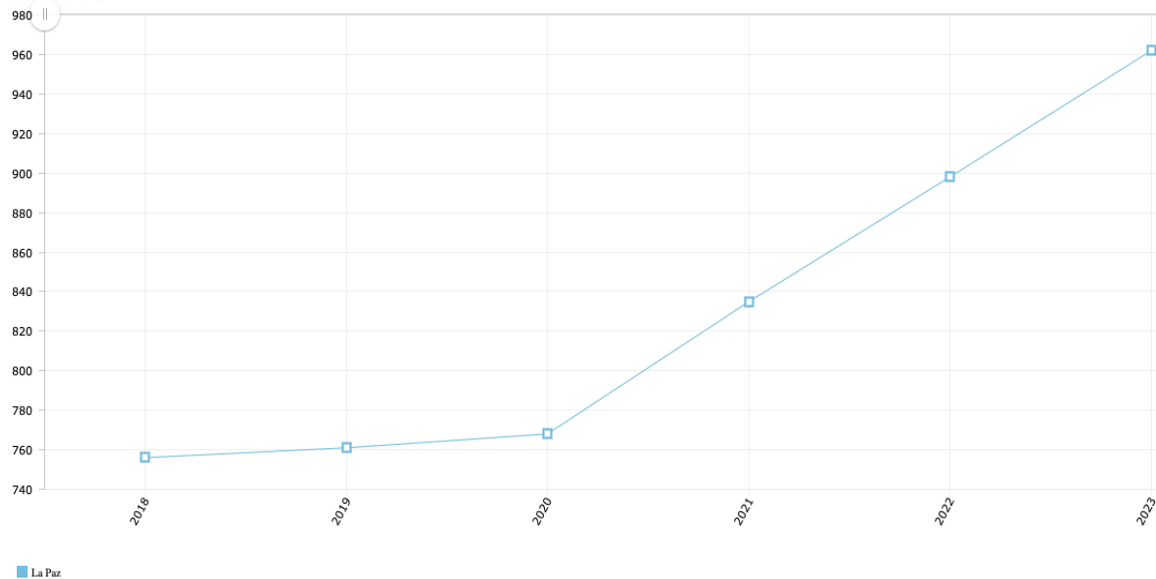
Figura 26. Crecimiento población urbana casco urbano la paz.

Nombre de la variable: Población urbana

Fuente: TerriData, con datos de DANE - Censo Nacional de Población y Vivienda

Unidad de medida: Personas

Período: 2018-2023



Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de

<https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>

∴

Lo que nos permite analizar que el crecimiento poblacional en el municipio creció a raíz de la pandemia, a diferencia como venía creciendo en el histórico de los años anteriores a este entre el 2028, en el siguiente cuadro analizamos rangos de crecimiento poblacional entre los años:

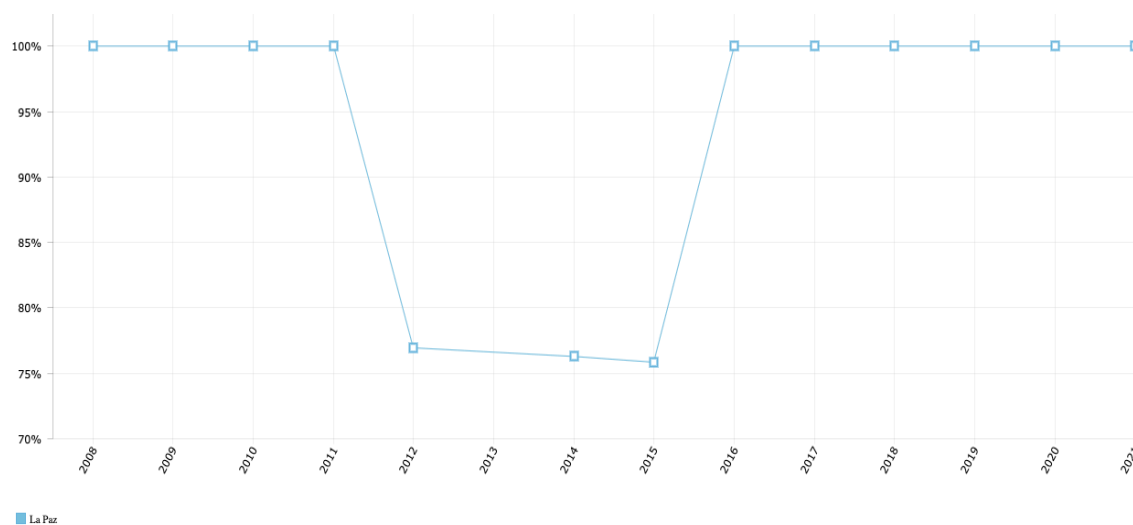
Tabla 7. Crecimiento poblacional por año.

<b>Año</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
<b>Censo poblacional</b>	756	761	768	835	898	962
<b>Crecimiento Poblacional por Año ( # de Habitantes)</b>						
<b>2018-2019</b>	6					
<b>2019-2020</b>		7				
<b>2020-2021</b>			67			
<b>2021-2022</b>				63		
<b>2022-2023</b>					64	

Fuente: Tabla elaborada por el autor.

Ahora al revisar cobertura del acueducto del casco urbano en la ( ver figura 27) según datos actualizados y proporcionados por la Superintendencia de servicios públicos Domiciliarios, nos permite analizar que el acueducto está realizando constantemente trabajos que permitan dar disponibilidad de servicio a la demanda constante del crecimiento poblacional y con esta de la infraestructura y vivienda que demanda.

Figura 27. Cobertura acueducto según REC.



Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de

<https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>

Y con la anterior grafica podemos analizar finalmente que si bien la pandemia aumento la presencia de paceños por el confinamiento del COVID 19, donde muchos prefirieron afrontarla retornando desde las ciudadanos o lugares donde vivían antes de esta al casco urbano de la paz, la población actualmente se ha mantenido en crecimiento y el acueducto a adelantado tareas para dar disponibilidad hídrica casi el 100 % al ritmo del crecimiento poblacional o presencial en el casco urbano de manera flotante o que se desean radicar en el municipio, y en dado caso que volvieran a migrar de su municipio por la superación de la pandemia, sabemos que muchos de ellos tiene residencia y ya conocemos la demanda hídrica que requiere su presencia en el municipio.

**6.1.4 Cálculo Población Proyectada.** Como lo establece el RAS sobre la proyección de la población para el diseño, nuestro cálculo poblacional proyectado dependerá de los

datos demográficos históricos del DANE y del nivel de complejidad del sistema (ver figura Figura 28. Método por nivel de complejidad.

28)

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

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B. Bogotá, Colombia .

Según la anterior tabla y de acuerdo con que nuestro nivel de complejidad del sistema es bajo los siguientes métodos del capítulo 2 del RAS nos permitirán proyectar la densidad población futura del casco urbano del municipio de la paz en 25 años (2048):

**6.1.4.1 Método Aritmético.** El método aritmético estima un crecimiento poblacional que equilibra el crecimiento natural con la mortalidad y la emigración. La fórmula utilizada para calcular la población proyectada es la siguiente:

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

Donde:

Tabla 8. Asignación variables método aritmético.

<b>VARIABLE</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
P <sub>f</sub>	Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
P <sub>uc</sub>	Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).
P <sub>ci</sub>	Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
T <sub>uc</sub>	Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
T <sub>ci</sub>	Año correspondiente al censo inicial con información.
T <sub>f</sub>	Año al cual se quiere proyectar la información.

Fuente: tabla elaborada por el autor.

Aplicaremos el método Aritmético ya que en el casco urbano del municipio según el anterior análisis de las gráficas de crecimiento poblacional y sobre la caracterización del municipio en cuanto a las actividades económicas, el porcentaje poblacional, y las dinámicas de mortandad y migración nos permite deducir que el aumento poblacional es vegetativo y balanceado, a continuación, Calculamos Población proyectada:

$$P_f = ?$$

$$P_{uc} = 962 \text{ censo correspondiente al año 2023}$$

$$P_{ci} = 700 \text{ censo correspondiente al año 2018}$$

$T_{uc} = 2023$

$T_{ci} = 2018$

$T_f = 2048$

$$Pf = 962 + \frac{962 - 700}{2023 - 2018} * (2048 - 2023) = 2.272 Hab$$

$$Pf = 2,272 Habitantes$$

Se estima que el 2048 el casco urbano del municipio de La Paz Santander tenga una población aproximada de 2,272 Habitantes.

Proyectada la población futura del casco urbano, procederemos a estructuras las posibles alternativas que darán solución a las necesidades actuales y las futuras de recurso hídrico para la PTAP del municipio.

## **6.2 ALTERNATIVAS**

En el siguiente capítulo, proyectaremos las posibles alternativas de sistemas de bombeo que nos permitiría darle disponibilidad hídrica a la población proyectada para el casco urbano del municipio de La Paz Santander para el 2028, como paso inicial definiremos algunos criterios de selección que nos permitirán definir qué tipo de sistema de bombeo podemos emplear según las condiciones actuales de la bocatoma, su ubicación, las condiciones del terreno, tiempo de operación y altimetría con respecto a la PTAP.

**6.2.1 Criterios de selección.** Primero definiremos algunos parámetros fundamentales de nuestra proyección que nos permitirá definir cuáles son nuestros puntos de operación mínimos para la selección de cualquier tipo o sistema de bombeo.

**6.2.1.1 Relación de Consumo.** En el caso del consumo diario que proyectamos para el casco urbano del municipio en 25 años, es importante revisar el % o capacidad de consumo por segundo de los usuarios del acueducto, esto para determinar que caudal se compromete el agua de la PTAP y a qué razón se debe suministrar para tener dinámicas constantes de vaciado y llenado de los tanques con agua tratada.

En este caso tomaremos el caudal máximo día y lo dividiremos en las 24 horas del día ( valor en segundos).

$$QMD = 354.369 \frac{l}{dia} / 86400 s = 4,10 \text{ l/s.}$$

Nota: este valor puede aumentar o disminuir en algunas horas pico de consumo del casco urbano y en horas de poca actividad donde la demanda hídrica es mínima.

Como criterio fundamental de selección, debemos buscar una bomba que mínimo nos permita entregar un caudal de 4,10 l/s a la PTAP, entendiendo que este valor es la razón de consumo en el casco urbano de agua tratada de los tanques de almacenamiento por segundo, así garantizar la disponibilidad constante del agua que se consume y que el equipo de bombeo proporcionaría.

**6.2.1.2 Diámetro de Tubería.** Otro de nuestros criterios de selección está relacionado con el diámetro de la tubería necesario para mover el caudal de diseño de nuestra

proyección, para este caso aplicaremos la siguiente fórmula para bombes discontinuos de Bresse:

$$D = 0.5873 * N^{0.25} * \sqrt[2]{Q_b}$$

Donde:

Tabla 9. Asignación variables diámetro de tubería.

VARIABLE	SIGNIFICADO
D	Diámetro interior Aproximado (m)
N	Número de Horas de Bombeo al Día.
Q <sub>b</sub>	Caudal de diseño en (m <sup>3</sup> /s)

Fuente: Tabla elaborada por el autor.

Para nuestro sistema de bombeo, y según datos proporcionados por los operadores del acueducto, la operación de suministro de agua al casco urbano habitualmente comienza a las 6:00 Am y termine a las 9:00 Pm, en promedio 15 horas de operación.

N: 15 horas de Operación.

Q<sub>b</sub>: 0,00574 (m<sup>3</sup>/s)

$$D = 0.5873 * 15^{0.25} * \sqrt[2]{0,00574} = 0.08756 m^3$$

$$D = 3,447 in$$

Este valor nos permite determinar que el diámetro de tubería que vamos a emplear es aproximada de 3,447 pulgadas como mínimo para nuestra red de conducción como mínimo debe ser de 3" pulgadas dentro de los parámetros comerciales del material y dimensiones de las tuberías.

**6.2.1.3 Condiciones Proyectadas del Sistema.** Otras de las consideraciones que se deben tener en cuenta para la proyección del sistema de bombeo que seleccionaremos van de la mano de las siguientes recomendaciones.

- Tipo de PTAP: Como lo habíamos comentado en las condiciones actuales del sistema, la PTAP del municipio es compacta, y la capacidad de tratamiento de esta tan solo es de 3 L/s, razón por la cual se debe Proyectar el cambio de la PTAP, pasar de una PTAP compacta a una convencional, que mejore la capacidad de agua tratada a entregar y con este la calidad de la misma gracias a los diferentes ciclos de tratamiento, mejoras en su mantenimiento, Acceso a su dependencias y componentes, y años de servicio.
- Capacidad de Reserva: otra de las solicitudes a proyectar para la PTAP es la ampliación de la capacidad de almacenamiento de los tanques de reserva de agua tratada, entendiendo que el caudal proyectado supera el doble de la capacidad actual de almacenamiento, y en el posible caso de no operación de la PTAP con razones asociadas a algún daño, o mantenimiento pudiera garantizar por algunos días la necesidad hídrica mientras se resuelve nuevamente la operación de la planta.
- Capacidad de Reserva Bocatoma La Pavita: Para el caso de nuestra única bocatoma con sistema de bombeo, se recomienda la ampliación de la capacidad de los tanques de almacenamiento, ya que la actual tiene una capacidad de 25.000

litros, caudal que con el tiempo y los equipos de bombeo que se deban recomendar transportarían el caudal en menor tiempo al que actualmente se emplea para llevar los 25 mil litros de la bocatoma a la PTAP, y en el caso posible de que este afluente fuera el único que suministrara el caudal día proyectado que necesitaría la población, requeriría de un tanque que le permitiera suministrar el caudal por minuto sin comprometer el % y caudal de llenado que ingresa de la quebrada a la bocatoma.

- Tiempo de Operación: para el tiempo de operación se debe contemplar la posibilidad de mantener la PTAP en servicio 24 horas, para conseguir esto se adelantar procesos de automatización de los componentes de la PTAP, desde el sistema de bombeo, el monitoreo constante de los procesos, el suministro de insumos para su tratamiento, y el servicio de entrega a la población del casco urbano.
- Población Proyectada Casco Urbano: 2272 Habitantes año 2048.

Ahora definidos nuestros criterios de selección del sistema, procederemos a calcular el caudal de consumo para la población proyectada:

### **6.3 CÁLCULO CAPACIDAD DE CONSUMO DIARIO**

Para calcular nuestra capacidad de consumo diario calcularemos la dotación bruta proyecta para los 2272 habitantes:

Para la proyección de consumo, entendiendo que las dinámicas del municipio se mantienen como lo analizamos en el cálculo de la población proyectada, y según la tabla B.2.3 del RAS sobre dotación neta por habitante día en climas templados y fríos aplicaremos la siguiente ecuación:

**6.3.1 Cálculo Dotación bruta.** Con la ecuación B.2.8 proporcionada en el Capítulo 2 del RAS calcularemos la Dotación bruta para el sistema:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p} \qquad d_{bruta} = \frac{90}{1 + 0,25} = 120 \text{ L/Hab.Día}$$

Nota: Como no tenemos un porcentaje de perdidas, tomamos el porcentaje de perdidas máximo admisible de 25 %.

**6.3.2 Cálculo Caudal medio diario.** El caudal medio diario, Qmd, es el caudal estimado para la población proyectada, considerando la dotación bruta por persona.

Este valor representa el promedio de los consumos diarios durante un período de un año y se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

En este caso, P representa el número de habitantes proyectado y la dotación bruta debe estar dada en L/hab•día.

$$Qmd = \frac{P * d_{bruta}}{86400} \qquad Qmd = \frac{2272 * 120 \frac{L}{hab * dia}}{86400} = 3,155 \text{ l/s}$$

$$Qmd = 272.640 \frac{l}{dia}$$

**6.3.3 Cálculo Caudal Máximo Diario.** Para calcular el caudal máximo diario en función de las proyecciones de población, se debe considerar lo indicado en el apartado b.2.8.22 del RAS.

Este caudal se determina utilizando el caudal medio diario y una constante  $k_1$ , que representa la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario. El RAS recomienda utilizar un valor de 1,30 para esta constante.

$$QMD = 3,155 \frac{l}{s} * k_1 = 4,10 \text{ l/s}$$

$$QMD = 354.369 \frac{l}{dia}$$

Nota: el valor que tomamos de  $k_1$  es de 1,30 como lo recomendó el RAS.

**6.3.4 Cálculo Caudal Máximo Hora.** Al calcular el caudal máximo por hora en situaciones en las que se utilice la proyección de población, es necesario considerar lo especificado en el apartado B.2.8.2.3. del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

$$QMH = QMD * k_2$$

En este caso al proyectar un sistema de acueducto nuevo aplicaremos lo recomendado por el RAS el valor de  $k_2$ , el corresponde a un valor comprendido entre 1.3 y 1.7 de acuerdo con las características locales, en nuestro caso tomaremos 1,4 como valor de la constante.

$$QMH = 4,10 \frac{l}{s} * 1,4$$

$$QMH = 5,74 \frac{l}{s} * 60 = 344,4 \frac{l}{min}$$

$$QMH = 344,4 \frac{l}{min} * 60 min = 20,664 \frac{l}{hora}$$

ahora en cuanto a la demanda mínima contra incendios para el nivel de complejidad de nuestro sistema que responde a un nivel bajo, el RAS realiza las siguientes recomendaciones:

En el caso de poblaciones que se clasifican como niveles de complejidad del sistema bajo y medio, el consultor debe justificar si se considera necesario implementar medidas de protección contra incendios.

No obstante, es importante tener en cuenta que la presión requerida para la protección contra incendios puede obtenerse mediante el sistema de bombas del cuerpo de bomberos, y no necesariamente a través de la presión en la red de distribución de agua. Además, se deben considerar las siguientes especificaciones:

- Los hidrantes deben instalarse preferiblemente en las tuberías principales que tengan la capacidad de transportar al menos 5 L/s y deben ser capaces de descargar un caudal mínimo de 5 L/s.
- Se recomienda que la distancia máxima entre los hidrantes sea de 300 m. La ubicación final de los hidrantes debe ser determinada por el diseñador de acuerdo con las exigencias de la zonificación urbana.

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B. Bogotá, Colombia .

En este caso como lo indica el reglamento se debe contemplar tener hidrantes y tubería con capacidad de entrega de 5 L/s, y considerando si el riesgo en el casco urbano considera la posibilidad de tener la protección contra incendios y el la zonificación urbana lo permite.

Por Ultimo, después de analizar y calcular cada uno de los parámetros a tener en cuenta ante la demanda hídrica del proyecto para una población proyectada para el 2048 de 2272, procederemos a definir el caudal de diseño el cual nos permitirá tener parámetros claros para el proyección y selección de los equipos de bombeo que necesitaremos para dar solución a la problemática que presenta el municipio.

En este caso según la información proporcionada por el RAS, la aducción o conducción de un sistema bajo la aducción y/o conducción se debe diseñar con el caudal máximo diario (QMD) que proyectamos para la población del 2048.

**6.3.5 Cálculo Caudal de diseño.** Al calcular el caudal de diseño para las obras de aducción y/o conducción, es importante considerar los siguientes requisitos:

En los sistemas de complejidad baja y media, se debe diseñar la aducción y/o conducción utilizando el caudal máximo por hora (QMH) que corresponda al final del período de diseño o al año horizonte del proyecto, en caso de contar con almacenamiento de agua aguas abajo. En estos niveles de complejidad del sistema, se debe priorizar el uso de un sistema de almacenamiento como criterio fundamental en todo el sistema.

En este caso nuestro parámetro caudal máximo hora será nuestro caudal de diseño:

$$QMH = 5,74 \frac{l}{s} * 3600 = 20.664 \frac{l}{hora}$$

Una vez calculado el caudal de diseño, procederemos a estructurar con los parámetros de diseños definidos y calculados nuestras alternativas de sistemas de bombeos para la necesidad proyectada en el casco urbano.

#### **6.4 ALTERNATIVAS SISTEMA DE BOMBEO**

En este punto proyectaremos el sistema de bombeo para la zona de captación del afluente tres conocido como bocatoma la pavita, ya que este por ahora es la única zona de captación que por su ubicación y altimetría requiere de un sistema de bombeo que le permita transportar el recurso hídrico que capta su bocatoma y que es almacenado en un tanque de 25.000 litros, recurso hídrico que luego será transportada hasta la PTAP del casco urbano.

Esta zona de captación y como se especificó en el análisis actual del punto, es un afluente que se emplea como emergencia cuando las otras 2 zonas de captación reducen el caudal de entrega en ciertas épocas del año, y que desde su operación se ha venido empleando un sistema de moto bomba con un motor de combustión interna muy desactualizado, que compromete el ecosistema al emitir gases de combustión interna y constante ruido en su operación, que requiere de suministro y operación constante cuando se bombea, y que sus características y robustes de los equipos dificulta su operación, el suministro de combustible y el mantenimiento en la zona de captación.

Para el cálculo de los parámetros de diseño del sistema de bombeo, las perdidas por recorrido de los tramos de la red de distribución, la pérdida de los accesorios del sistema de bombeo, la presión de trabajo del sistema, y el caudal de entrega de la electrobomba, diseñamos una matriz de cálculos, que nos permite realizar la proyección de los requerimientos del sistema proporcionando algunos parámetros de diseño (ver figura 29).

Figura 29. Parámetros matriz de perdidas por fricción.

Información Básica	
Caudal Máximo Día (L/Día)	1.
Caudal Máximo hora (L/min)	2.
Caudal Máximo segundo (L/seg)	
Altura de Descarga (m)	3.
Altura de Succión (m)	4.
Recorrido de Descarga (m)	5.
Recorrido de Succión (m)	6.
Diámetro de Succión (in)	7.
Diámetro de Descarga (in)	8.
Tiempo Aproximado de llenado (min)	
Tiempo Aproximado de llenado (horas)	

Datos para proporcionar:

1. Caudal Máximo día.
2. Caudal Máximo Hora.
3. Altura punto de descarga (diferencia altimetría entre bocatoma y PTAP).
4. Altura succión bomba.
5. Longitud recorrido tubería de transporte.
6. longitud de succión del tanque a la bomba.
7. Diámetro de Succión.
8. Diámetro de descarga.

\*Suministrar número de accesorios en tabla de pérdidas por accesorios.

Fuente: Anexo Matriz Excel diseñada para cálculos de pérdidas en tubería y accesorios ( Apéndice H).

Para el cálculo de pérdidas de recorrido de la tubería por el caudal y la presión de trabajo del sistema, implementamos en nuestra matriz las fórmulas de Hazen – Williams, en este caso para optimizar el cálculo de pérdidas, en la matriz cargamos los valores proporcionados por el Manual Técnico Tubosistemas Presión PVC de la empresa PAVCO WAVIN, el cual nos permite conocer los porcentajes de pérdidas en las tuberías de material RDE 21 PVC según el diámetro de la tubería que se implemente en los tramos de recorrido de la red de distribución entre la zona de captación y la PTAP, Adjunto matriz de cálculos de pérdidas en tubería y accesorios elaborada por el autor. (ver Apéndice H)

a continuación, relacionamos la tabla de pérdidas por fricción ( Apéndice H) manual técnico tubo sistemas Presión PVC PAVCO wavin):

Figura 30. Perdidas por fricción para tubería PAVCO.

Q (l/s)	PERDIDAS POR FRICCIÓN								
	RDE 21 PVC PRESIÓN DE TRABAJO A 23°C, 200 PSI								
	0,75 "	1 "	1. 1/4 "	1. 1/2 "	2 "	2. 1/2 "	3 "	4 "	6 "
0,1	0,0034	0,0010							
0,2	0,0122	0,0037							
0,3	0,0257	0,0078	0,0025	0,0022					
0,4	0,0438	0,0133	0,0043	0,0033					
0,5	0,0662	0,0201	0,0064	0,0047					
0,6	0,0928	0,0281	0,0090	0,0062	0,0021				
0,7	0,1235	0,0374	0,0120	0,0079	0,0027				
0,8	0,1581	0,0479	0,0154	0,0099	0,0033				
0,9	0,1965	0,0595	0,0191	0,012	0,0041				
1,0	0,2388	0,0723	0,0232	0,0143	0,0048	0,0019			
1,1	0,2849	0,0863	0,0277	0,0168	0,0057	0,0022			
1,2	0,3346	0,1013	0,0325	0,0195	0,0066	0,0026			
1,3	0,3880	0,1175	0,0377	0,0223	0,0075	0,0030			
1,4	0,4451	0,1348	0,0432	0,0254	0,0086	0,0034			
1,5	0,5057	0,1531	0,0491	0,0286	0,0097	0,0038	0,0015		
1,6	0,5698	0,1725	0,0554	0,0320	0,0108	0,0043	0,0016		
1,7	0,6374	0,1930	0,0619	0,0356	0,0120	0,0047	0,0018		
1,8	0,7085	0,2145	0,0688	0,0393	0,0133	0,0052	0,002		
1,9	0,7830	0,2371	0,0761	0,0432	0,0146	0,0058	0,0022		
2,0	0,8610	0,2607	0,0836	0,0515	0,0174	0,0069	0,0026		
2,2		0,3110	0,0998	0,0605	0,0205	0,0081	0,0031		
2,4		0,3653	0,1172	0,0702	0,0237	0,0094	0,0036	0,0011	
2,6		0,4236	0,1359	0,0805	0,0272	0,0107	0,0041	0,0012	
2,8		0,4858	0,1559	0,0915	0,0309	0,0122	0,0047	0,0014	
3,0		0,5519	0,1771	0,1217	0,0411	0,0162	0,0062	0,0018	
3,5		0,7341	0,2355	0,1558	0,0526	0,0208	0,008	0,0023	
4,0			0,3015	0,1937	0,0655	0,0258	0,0099	0,0029	
4,5			0,3749	0,2354	0,0795	0,0314	0,012	0,0035	
5,0			0,4556	0,2808	0,0949	0,0374	0,0144	0,0042	
5,5			0,5435	0,3298	0,1114	0,0440	0,0169	0,0050	
6,0			0,6384	0,3824	0,1292	0,0585	0,0196	0,0057	0,0009

Fuente: Anexo Matriz Excel diseñada para cálculos de pérdidas en tubería y accesorios ( Apéndice H).

Figura 31. Tabla catalogo perdidas por fricción en accesorios.

TABLA CATALOGO PERDIDAS POR FRICCIÓN EVANS									
Valor Perdidas por Accesorios									
Accesorio	3/4	1 "	1 1/4 "	1 1/2 "	2 "	2 1/2 "	3 "	4 "	6 "
Codo Normal de 90°	1,30	2,50	2,00	2,20	2,50	2,80	3,30	3,90	0,00
Tee Flujo en Linea	0,73	0,97	1,40	1,70	2,30	2,80	3,60	5,10	0,00
Registro	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,55	3,00	4,00	6,80
Válvula Check	2,60	3,30	3,90	4,50	5,70	6,70	8,20	11,50	0,00
Codo Normal de 45°	0,28	0,39	0,51	0,64	0,82	0,97	1,20	1,60	0,00
Tee Flujo Derivado	1,60	2,00	2,60	3,00	3,60	3,90	5,10	6,40	0,00
Válvula de Compuerta	0,20	0,25	0,33	0,36	0,79	0,82	0,45	0,51	0,76
Unión	0,07	0,06	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,19	0,00

Fuente: Anexo Matriz Excel diseñada para cálculos de pérdidas en tubería y accesorios ( Apéndice H).

Ahora para calcular la perdida por accesorios en longitud equivalente en metros (m), nos apoyamos en los valores proporcionados por la tabla del Catálogo de Perdidas por Fricción de la Empresa Evans , el cual nos permite conocer el calor en metros que representa las pérdidas de cada accesorio según el diámetro en pulgadas del accesorio, como lo podemos evidenciar en el Catálogo de pérdidas por fricción Evans ( Apéndice H ).

Las ventajas de la matriz de cálculos que desarrollada para perdidas, alturas y presión de trabajo, es que permite adelantar el valor de perdida ya calculado de cada uno de los casos a proyectar tan solo proporcionando los parámetros de requerimiento del sistema.

Ahora bien, la red de distribución tiene un recorrido en longitud 400 metros y se compone de varios tramos que por las condiciones del terreno en el paso de la red de manera lineal se encuentran con inclinaciones de % considerables, el paso por una vía principal del

casco urbano, y su paso por los límites de una residencia que se encuentra ubicada en la parte baja de la PTAP.

Figura 32. Vista renderizada Casco urbano La Paz.



Fuente: vista elaborada con Google Earth por el autor.

Ahora calcularemos las pérdidas en nuestra matriz para la población y caudal proyectado para el 2048, esto con el fin de conocer los parámetros de operación del sistema de bombeo idóneo que mejoraría las condiciones de disponibilidad del municipio con los años, analizaremos varias hipótesis sobre los parámetros de diseño y selección del sistema de bombeo :

Parámetros para considerar:

- Caudal máximo Diario, el cual para el año 2048 el municipio consumirá en promedio 3 veces el caudal actual día de consumo en el casco urbano, respondiendo a una densidad poblacional de 2272 habitantes, un poco más del doble de la población actual.

$$QMD = 354.369 \frac{l}{dia}$$

Nota: este valor promedio de caudal máximo día contempla la dotación neta del municipio por habitante, con un porcentaje de pérdidas del 25 %.

- Caudal máximo hora:

$$QMH = 5,74 \frac{l}{s} * 60 = 344,4 \frac{l}{min}$$

**6.4.1 Alternativa 1.** Calcularemos con la ayuda de nuestra matriz de perdidas los puntos de operación de la bomba con base en nuestros parámetros de caudal requerido por minuto y caudal máximo día, esto teniendo en cuenta las recomendaciones y los parámetros de diseño recomendados por el RAS.

Tabla 10. Parámetros Alternativa 1.

<b>Información Básica</b>	
Caudal Máximo Día	354369
Caudal Máximo hora (L/min)	344,4
Caudal Máximo segundo (L/seg)	5,74
Altura de Descarga (m)	110
Altura de Succión (m)	3
Recorrido de Descarga (m)	400
Recorrido de Succión (m)	4
Diámetro de Succión (in)	3
Diámetro de Descarga (in)	3
Tiempo Aproximado de llenado (min)	1028,9
Tiempo Aproximado de llenado (horas)	17,149

Fuente: Anexo Matriz Excel diseñada para cálculos de pérdidas en tubería y accesorios ( Apéndice H).

Parámetros de diseño sistema de bombeo, a continuación presentaremos los valores proporcionados por la matriz de puntos de operación y pérdidas del sistema proyectado.

Figura 33. Matriz RDE 21 PAVCO para cálculos por de pérdidas de fricción en accesorios y tramo de tubería.

Información Básica	
Caudal Máximo Día	354369
Caudal Máximo hora (L/min)	344,4
Caudal Máximo segundo (L/seg)	5,74
Altura de Descarga (m)	110
Altura de Succión (m)	3
Recorrido de Descarga (m)	400
Recorrido de Succión (m)	4
Diametro de Succión (in)	3
Diametro de Descarga (in)	3
Tiempo Aproximado de llenado (min)	1028,9
Tiempo Aproximado de llenado (horas)	17,149

Longitud por Recorrido	Medida (m)	Diametro (in)	Pérdida (m)	Medida (m)	Diametro (in)	Pérdida (m)	Medida (m)	Diametro (in)	Pérdida (m)	TOTAL
	404	3"	8,033584		3"	0		3"	0	8,033584

Pérdidas por Accesorios										
Tipo de Accesorio	Cantidad	Diametro (in)	Subtotal	Cantidad	Diametro (in)	Subtotal	Cantidad	Diametro (in)	Subtotal	
Codo Normal de 90°	4	3"	13,2	0	3"	0	0	3"	0	
Tee Flujo en Línea	2	3"	7,2	0	3"	0	0	3"	0	
Registro	2	3"	6	0	3"	0	0	3"	0	
Válvula Check	4	3"	32,8	0	3"	0	0	3"	0	
Codo Normal de 45°	5	3"	6	0	3"	0	0	3"	0	
Tee Flujo Derivado	1	3"	5,1	0	3"	0	0	3"	0	
Válvula de Compuerta	2	3"	0,9	0	3"	0	0	3"	0	
Unión	1	3"	0,16	0	3"	0	0	3"	0	
<b>TOTAL PERDIDAS ACCESORIOS</b>			<b>71,36</b>			<b>0</b>			<b>0</b>	<b>71,36</b>

Cálculo de Alturas	
Altura de descarga	110
Altura de succión	3
Pérdidas por Recorrido	8,033584
Altura Total (mca)	121,03

Punto de Operación	
Caudal (L/min)	344,4
Altura (mca)	121,03
Presión de Trabajo (Psi)	172,62

Fuente: Anexo Matriz Excel diseñada para cálculos de pérdidas en tubería y accesorios ( Apéndice H).

En el análisis de nuestra primera Alternativa podemos analizar los siguientes parámetros:

- En promedio el caudal de diseño requerido en litros/minuto que debe bombear nuestros sistema nos permitiría realizar bombeo constante desde los tanques de almacenamiento, ya que el caudal por segundo que pasa por la quebrada y que llenan los 25 mil litros del tanque de la bocatoma la pavita maneja un caudal de 6 L/s, si realizamos el cálculo de nuestro caudal por minuto en segundos seria aproximadamente:

$$QMH = 5,74 \frac{l}{s}$$

Este valor que está por debajo de caudal que maneja el afluente nos permitiría bombear desde los tanques mientras a su vez estos siguen siendo llenados por la bocatoma.

- Otro punto para analizar es el tiempo de bombeo del sistema, en este caso aproximadamente le tomaría al sistema de bombeo( ver figura 34).

Tabla 11. Tiempo aproximado de llenado.

<b>Tiempo Aproximado de llenado (min)</b>	<b>1028,9</b>
<b>Tiempo Aproximado de llenado (horas)</b>	<b>17,149</b>

Fuente: Anexo Matriz Excel diseñada para cálculos de pérdidas en tubería y accesorios ( Apéndice H).

- En promedio estaríamos hablando de unas 17 horas de bombeo constante para proporcionar los 350 mil litros día que se requieren para atender la población proyectada, lo cual si analizamos el consumo energético y el tiempo en operación del sistema de bombeo aumentaría el costo de bombeo, y reduciría la vida útil de los equipos.

**6.4.2 Alternativa 2.** Como segunda Alternativa a la proyección de nuestro sistema de bombeo contemplaremos la posibilidad de instalar un sistema de bombeo alternado, que se compone con dos electrobombas de la misma capacidad, pero que trabajaran de manera alternada por cierto tiempo, esto se recomienda con el fin de reducir el tiempo de trabajo y esfuerzo que realizaría una sola electrobomba, y que representaría un trabajo más descansado en su operación de transporte de agua y con esto menos desgaste de los equipos de bombes ampliando la vida útil de los equipos, algunas ventajas y desventajas del sistema:

- Para este tipo de sistemas casi siempre se recomienda bombas de superficie que manejen el punto de operación del sistema proyectado, y la conexión hidráulica con otro tipo de accesorios de tubería que complementan el modelo alternado.
- Por otra parte una desventaja es que se aumenta el costo de mantenimiento de los equipos, ya que se tendría que pensar en el mantenimiento 2 dos electrobombas.
- El montaje alternado requiere de una cantidad considerable de accesorios, esto lo haría más costoso en cuanto al valor de la instalación de la redes de succión y descarga.
- Una ventaja de este sistema es que, al contar con 2 equipos de bombeo, en un caso de emergencia donde una de las 2 electrobombas presente daños y requiera de una reparación, la otra entraría como respaldo al servicio mientras se corrige la que se dañó, logrando que el sistema de bombeo no suspenda su operación, razón importante en el caso de que el acueducto solo recibiera agua de esta bocatoma.

**6.4.3 Alternativa 3.** Como 3 alternativa, analizaremos el mismo sistema de bombeo de la 1, pero aumentaremos el caudal por hora a bombear, esto con el fin de reducir considerablemente el tiempo de operación del sistema al transportar un caudal mayor por segundo. Pero antes analizaremos algunas de las ventajas y desventajas de esta Alternativa:

- Permite en menor tiempo el llenado de los tanques y con esto la entrega del caudal de consumo que se requiere para la población.
- Aumenta el costo del equipo de bombeo por la capacidad de impulsión que debe entregar debido a las curvas de operación de esta nueva Alternativa.

- El bombeo constante depende de la capacidad de los tanques de almacenamiento de la bocatoma, así como del caudal de llenado de los mismo que proporciona la quebrada.
- Aumentaría la vida útil del equipo de bombeo al presentar menos horas de trabajo por su capacidad y eficiencia en el transporte del fluido, así como el reduciría consumo energético del sistema de bombeo.

Para esta hipótesis analizaremos el punto de operación del máximo del sistema y con esto el tipo de equipo o sistema de bombeo que podríamos emplear en la proyección.

**6.4.3.1 Presión Máxima de Trabajo.** Acuerdo a las especificaciones de la tubería RDE 21 PVC DE PAVCO, la presión de trabajo máxima para la que está diseñada nuestra tubería es de 200 PSI a una temperatura del fluido máxima de 23° C, para el caso de nuestro sistema de bombeo, a continuación, calcularemos el caudal máximo por segundo que podríamos pasar por nuestra tubería:

Actualmente nuestro trabajo de presión de la hipótesis 1 es el siguiente:

$$P_t = Ht(m. c. a) * 1,4262 \text{ Psi}$$

$$P_t = 121,03(m. c. a) * 1,4262 = 172,61 \text{ Psi}$$

Con la ayuda de nuestra matriz de cálculo y la herramienta de buscar objetivo de Excel buscaremos un valor cercano a los 200 Psi que resiste nuestra tubería, esto con el fin de conocer el caudal máximo que podríamos bombear y de esta forma conseguir los puntos de operación para seleccionar la electrobomba de nuestra 3 hipótesis.

Figura 34. Parámetros de diseño Alternativa 3, matriz de pérdidas por fricción.

Información Básica	
Caudal Maximo Día	354369
Caudal Maximo hora (L/min)	656,37
Caudal Maximo segundo (L/seg)	10,9395
Altura de Descarga (m)	110
Altura de Succión (m)	3
Recorrido de Descarga (m)	400
Recorrido de Succión (m)	4
Diametro de Succión (in)	3
Diametro de Descarga (in)	3
Tiempo Aproximado de llenado (min)	539,9
Tiempo Aproximado de llenado (horas)	8,998

Cálculo de Alturas	
Altura de descarga	110
Altura de succión	3
Perdidas por Recorrido	24,623648
Altura Total (mca)	137,62

Punto de Operación	
Caudal (L/min)	656,37
Altura (mca)	137,62
Presión de Trabajo (Psi)	196,28

Fuente: Anexo Matriz Excel diseñada para cálculos de pérdidas en tubería y accesorios ( Apéndice H).

El caudal máximo por minuto que podríamos pasar por la tubería seleccionada RDE 21 PVC sería aproximadamente de 656,37 (l/min), alcanzando una presión de 196,28 Psi.

*Nota.* si se quiere trabajar un caudal mayor a este y con esto presiones por encima de trabajo de los 200 Psi, tendríamos que cambiar el material de la tubería.

En esta hipótesis podemos apreciar que aumentaron sus parámetros de operación nos permite disminuir el tiempo aproximado de llenado o suministro del caudal requerido día para la población del casco urbano como podemos verlo a continuación:

- Para esta situación, estaríamos hablando de un tiempo de llenado aproximado de los 354 mil sería de unas 8,99 horas aproximadamente 9 horas, un tiempo considerable por debajo de las 17 horas de la anterior hipótesis.

- Esto nos permitiría analizar que se estaría bombeando aproximadamente a razón de 10,93 litros/seg el agua acumulada en los tanques de almacenamiento, y en este caso la posibilidad de bombear a esta razón por segundo desocuparía mucho más rápido el tanque de reserva, para esta situación y como lo mencionamos anteriormente se recomendaría ampliar la capacidad de almacenamiento de los tanques de la bocatoma para que la operación de transporte del agua de un punto al otro no estuviera interrumpido por la falta de recurso hídrico en los tanques, de lo contrario tendríamos que esperar que los tanques volvieran a alcanzar un caudal considerable para bombear nuevamente.

## 6.5 SELECCIÓN SISTEMAS DE BOMBEO

Ahora en el siguiente capítulo seleccionaremos el equipo de bombeo de cada una de las Alternativas planteadas y según las curvas de operación arrojadas por nuestra matriz de pérdidas:

**6.5.1 Equipo de Bombeo Alternativa 1.** Para nuestra primera Alternativa y según los parámetros de operación calculados por nuestra matriz de pérdidas, seleccionaremos en los catálogos de la empresa PEDROLLO, la electrobomba que nos permitiría llevar el recurso hídrico sin problema según el campo de prestación del equipo:

Figura 35. Puntos de Operación

Punto de Operación	
Caudal (L/min)	344,4
Altura (mca)	121,03
Presión de Trabajo (Psi)	172,62

Fuente: Anexo Matriz Excel diseñada para cálculos de pérdidas en tubería y accesorios ( Apéndice H).

A continuación, analizaremos las electrobombas de referencia 6SR de la marca pedrollo:

## 6SR : Electrobombas Sumergidas de 6 “, Multietapas Tipo Lapicero:

### Campo de prestación:

- Caudal hasta 1200 l/min
- Altura Manométrica hasta 381 m
- Agua Limpia ( Contenido de arena máximo 100 g/m<sup>3</sup>)
- Uso :
  - Civil
  - Agrícola
  - Industrial

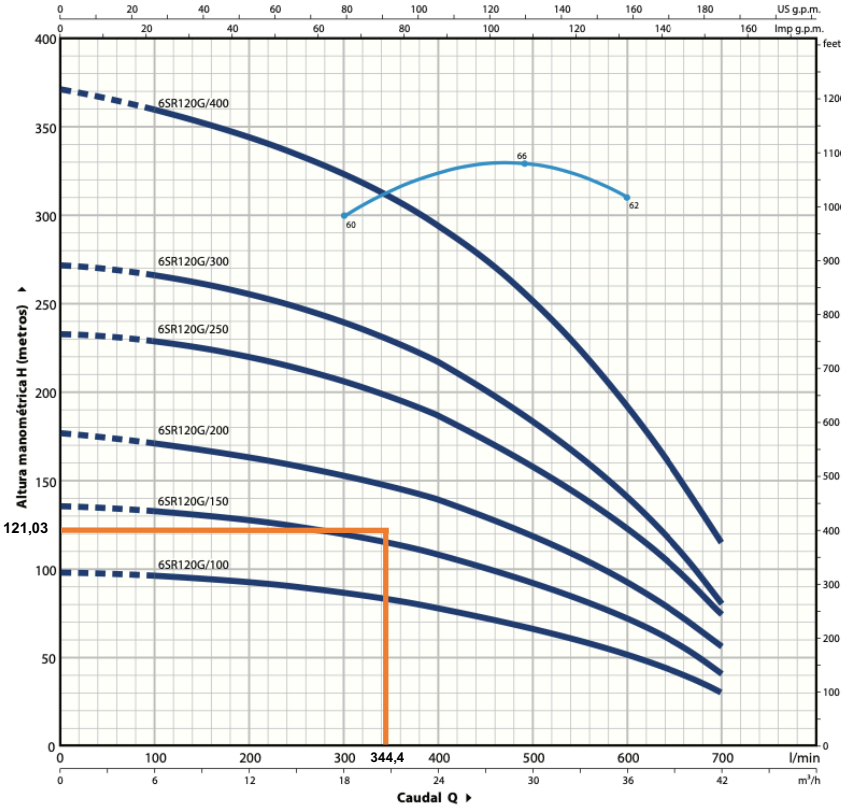


### Límites de Uso :

- Temperatura máxima del fluido hasta +35° C
- Contenido de arena máximo 100 g/m<sup>3</sup>
- Profundidad de uso hasta 200 m bajo el nivel del agua
- Funcionamiento: En vertical
- Flujo de enfriamiento mínimo 16 cm/s
- Motor Eléctrico : Trifásica 220 V – 440 v - 60 Hz

otras características del equipo, revisar **Apéndice C**

Figura 36. Curva de operación electrobomba sumergible Pedrollo.



Fuente: Pedrollo Colombia. (s.f.). Página principal. Recuperado de [https://www.pedrollo.com.co/es/default\\_t1](https://www.pedrollo.com.co/es/default_t1)

Figura 37. Campos de prestación Modelo electrobombas sumergibles.

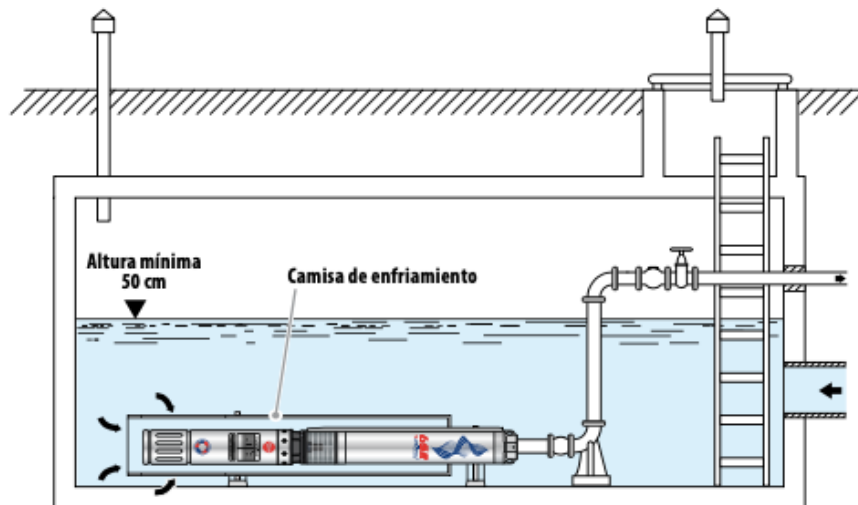
<b>6SR120G</b>												
MODELO	N. ETAPAS	POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	m <sup>3</sup> /h							
		kW	HP		0	6	12	18	24	30	36	42
Trifásica					0	100	200	300	400	500	600	700
6SR 120G/75	3	5.5	7.5		61	58	55	52	46	40	31	20
6SR 120G/100	5	7.5	10		98	95	91	85	78	66	52	30
6SR 120G/150	7	11	15		136	132	128	120	108	92	73	45
6SR 120G/200	9	15	20	H metros	177	170	163	155	140	120	94	56
6SR 120G/250	12	18.5	25		233	230	220	205	188	159	125	75
6SR 120G/300	14	22	30		272	267	255	240	218	185	143	80
6SR 120G/400	19	30	40		372	360	345	325	295	253	195	115

Fuente: Pedrollo Colombia. (s.f.). Página principal. Recuperado de [https://www.pedrollo.com.co/es/default\\_t1](https://www.pedrollo.com.co/es/default_t1)

En este caso la electrobomba a recomendar según las curvas de operación es una **6SR120G/200** debido a los datos de prestación que esta permite en su operación para nuestros datos y criterios de selección.

En la siguiente figura podemos observar el esquema de instalación de la bomba seleccionada por su campo de prestación:

Figura. 38 Montaje electrobomba sumergible 6" pedrollo.



Fuente: Pedrollo Colombia. (s.f.). Página principal. Recuperado de [https://www.pedrollo.com.co/es/default\\_t1](https://www.pedrollo.com.co/es/default_t1)

**6.5.2 Equipo de Bombeo Alternativa 2.** Para el caso de nuestra segunda Alternativa, analizaremos en los catálogos de algunas de empresas de sistemas de bombes de bombas de superficie, las opciones de electrobombas que nos permita llevar el recurso hídrico sin problema, para este caso contemplaremos nuevamente los puntos de operación de la hipótesis número 1 que son los datos proyectados para nuestro sistema según recomendación del RAS:

Figura 39. Puntos de Operación alternativa 2.

Punto de Operación	
Caudal (L/min)	344,4
Altura (mca)	121,03
Presión de Trabajo (Psi)	172,62

Fuente: Anexo Matriz Excel diseñada para cálculos de pérdidas en tubería y accesorios ( Apéndice H).

Para este caso revisamos varios de los catálogos de bombas de diferentes marcas del mercado de sistemas de bombeo, encontramos los posibles sistemas para emplear:

Primero analizaremos uno de los equipos de bombeo multietapas de superficie de la marca **EVANS**, otra de las marcas más recomendadas en la industria colombiana:

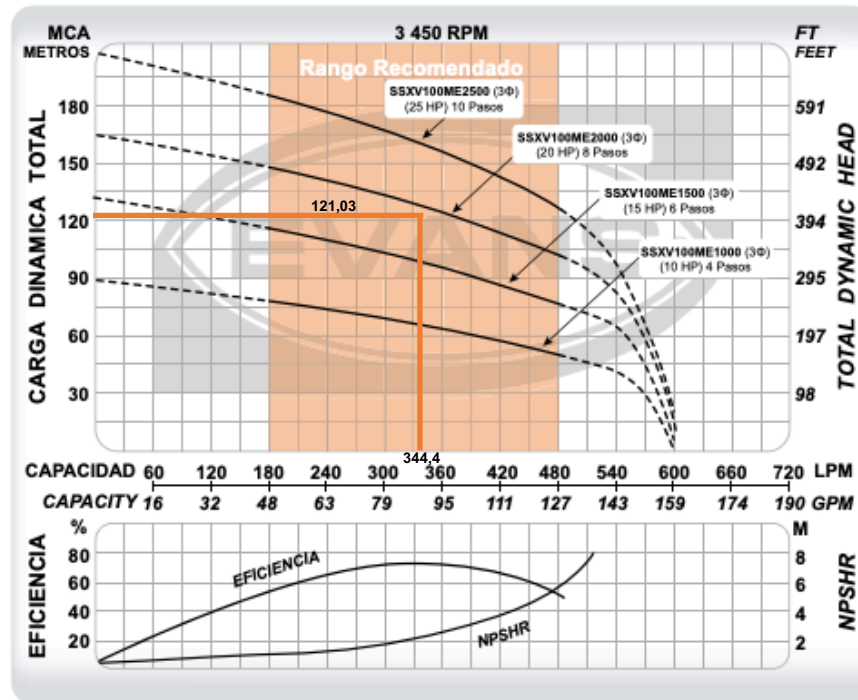
### 6.5.2.1 Bomba Multietapas Vertical SSXV – Electrobomba de superficie EVANS.

#### Característica Generales:

- **Aplicaciones:** Presurización: industria Alimenticia, calderas y purificadoras de agua.
- **Temperatura de Agua:** 0 ° C – 100 °C
- **Impulsores:** Cerrados construidos en acero Inoxidable 304.
- **Sello mecánico:** Tipo cartucho fabricado en Vitón y Acero Inoxidable.
- **Motor:** Asíncrono 2 polos, ventilación externa, doble voltaje, Eficiencia IE3.
- **Protección:** IP55

## CURVA DE OPERACIÓN EVANS:

Figura 40. Curva de operación electrobombas de superficie vertical.



Fuente: Evans. (s.f.). Página principal. Recuperado de <https://www.evans.com.co/>

Para esta alternativa el equipo de bombeo **SSXV100ME2000**, según los datos de prestación nos permite los valores proyectados de operación para nuestro sistema como lo podemos ver a continuación:

Figura 41. Campos de prestación Modelo electrobombas de superficie.

CÓDIGO	Ø SUCCIÓN	Ø DESCARGA	POTENCIA	VOLTAJE	CORRIENTE	ETAPAS	FLUJO MÁXIMO	PRESIÓN MÁXIMA	PUNTO DE MAYOR EFICIENCIA
SSXV100ME1000	2"	2"	10 HP		28.6 / 14.3 A	4	600 l/min	90 m	330 l/min a 70 m
SSXV100ME1500	2"	2"	15 HP	(220/440)V~	35.6/ 17.8 A	6	600 l/min	132 m	330 l/min a 100 m
SSXV100ME2000	2"	2"	20 HP	60Hz 3Φ	48.5 / 24.2 A	8	600 l/min	165 m	330 l/min a 128 m
SSXV100ME2500	2"	2"	25 HP		59.6 / 29.8 A	10	600 l/min	200 m	330 l/min a 162 m

Fuente: Evans. (s.f.). Página principal. Recuperado de <https://www.evans.com.co/>

Como lo habíamos contemplado en nuestra primera Alternativa, la idea sería implementar 2 equipos de bombeos con las mismas características, pero conectadas de manera alternada, (ver figura 42)

Figura 42 Ilustración montaje electrobombas alternadas de superficie.



Fuente: Evans. (s.f.). Página principal. Recuperado de <https://www.evans.com.co/>  
Otra de las posibles opciones a considerar en la hipótesis 2 es la implementación de electrobombas multietapas horizontales, las cuales también nos permiten llegar al caudal y altura de operación necesaria para la proyección del sistema:

### 6.5.2.2 Bombas multietapas horizontales IHM Ture Serie D

MODELOS: D25 - 30X3, D25 - 30X4, D25 - 30X4, D25 - 30X6

- Conexión Succión: 2. ½ “
- Conexión Descarga: 2. ½”
- Altura Máx : 210 m
- Caudal Máx : 170 GPM
- Potencia: 40 Hp
- Velocidad: 3500 RPM



La diferencia de este modelo al anterior es que las multietapas verticales vienen monoblock el cual incluye la bomba con el motor eléctrico, mientras que este modelo se debe complementar la bomba con el motor que corresponda al punto de operación en el que se desea trabajar, (ver figura 43):

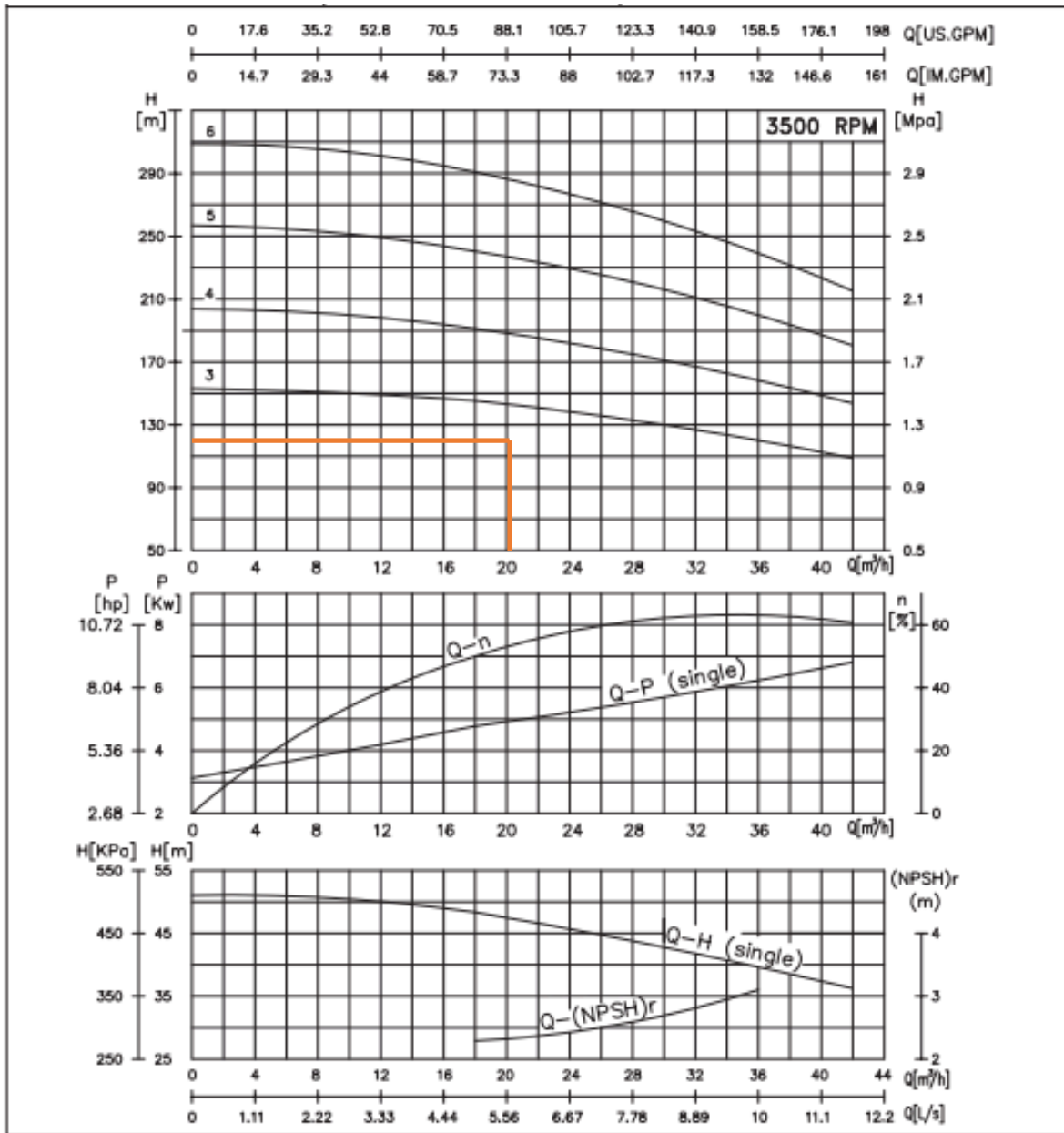
Figura 43. Ilustración montaje electrobombas alternadas de superficie horizontal.



Fuente: IHM.(s.f.).Bombas-MultietapasD.Recuperadode  
<https://www.igihm.com/bombas/?bqda=multietapas&sf=Multietapas%20D>

Para esta hipótesis, debemos tener presente que, para la implementación de estos equipos de bombeos superficiales, se debe contemplar que el sistema de almacenamiento sea de succión positiva, ya que para que estos equipos desarrollen la capacidad y eficiencia de su operación requiere de cierta alturas de columna de agua en la succión (**NPSHR**) que le permitan realizar su bombeo y a su vez evitar posibles fenómenos de cavitación.

Figura 44 Curvas de operación electrobomba IHM.



Fuente: IHM. (s.f.). Bombas-Multietapas D. Recuperadode

<https://www.igihm.com/bombas/?bqda=multietapas&sf=Multietapas%20D>

**6.5.3 Equipo de Bombeo Alternativa 3.** En el caso de nuestra 3 Alternativa, analizaremos en el catálogo de la marca PEDROLLO, esta vez encontraremos una la electrobomba que nos permita lleva el recurso hídrico sin problema al aumentar el caudal por minuto impulsado como lo contemplamos en los siguientes puntos de operación:

Figura 45. Puntos de Operación

Punto de Operación	
Caudal (L/min)	656,37
Altura (mca)	137,62
Presión de Trabajo (Psi)	196,28

Fuente: Anexo Matriz Excel diseñada para cálculos de pérdidas en tubería y accesorios ( Apéndice H).

A continuación, analizaremos las curvas de trabajo de las electrobombas de referencia 6SR de la marca pedrollo:

Figura 46. Curva de operación electrobomba sumergible pedrollo.

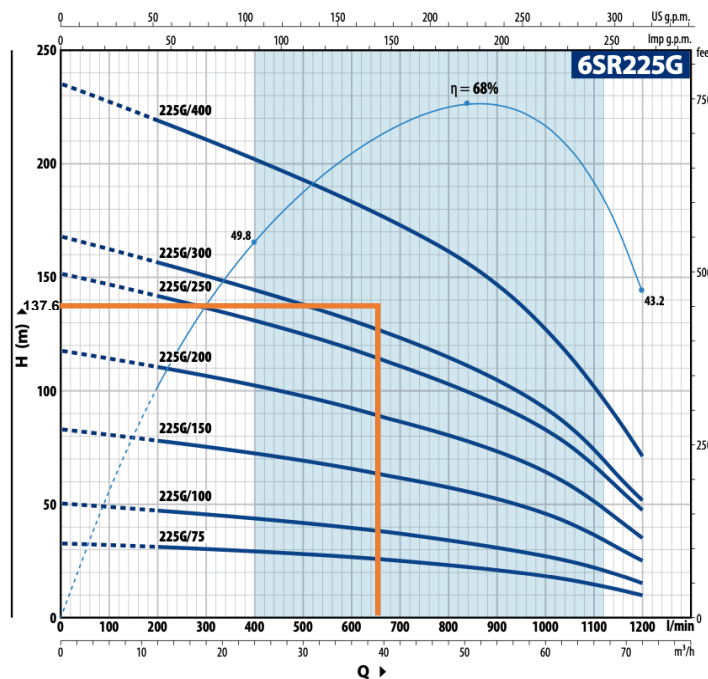


Figura 47. Campos de prestación Modelo electrobombas de sumergible.

<b>6SR225G</b>											
MODELO	N. ETAPAS	POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	0	12	24	36	48	60	72
		kW	HP		0	200	400	600	800	1000	1200
6SR 225G/75	2	5.5	7.5	H metros	33	31	29	26	23	18	10
6SR 225G/100	3	7.5	10		50	47	43	39	34.5	27.5	15
6SR 225G/150	5	11	15		84	79	72	65.5	57.5	46	25
6SR 225G/200	7	15	20		117	110	101	91.5	80.5	64.5	35
6SR 225G/250	9	18.5	25		151	142	130	118	104	83	46
6SR 225G/300	10	22	30		167	157	144	131	115.5	92	51
6SR 225G/400	14	30	40		235	220	202	183.5	161.5	129	71

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

Fuente: Pedrollo Colombia. (s.f.). Página principal. Recuperado de [https://www.pedrollo.com.co/es/default\\_t1](https://www.pedrollo.com.co/es/default_t1)

En la siguiente grafica proporcionada por el catálogo de la marca PEDROLLO, una de las marcas más reconocidas y de altos estándares de calidad para sistemas de bombeo, analizaremos las curvas de trabajo de la anterior hipótesis :

Para este caso, según el campo de prestación de los equipos de PEDROLLO, el equipo de bombeo que nos proporcionaría el caudal y que cumple con los parámetros de operación del sistema proyectado en nuestra Alternativa es la bomba sumergible tipo lapicero modelo **6SR225G/400**.

Cabe resaltar que para el caso de la 3 Alternativa, aunque existen otros tipos de sistema de bombeo superficiales que nos proporcionarían los mismo parámetros de operación, decidimos emplear un sistema de bombeo sumergible por las condiciones de operación de refrigeración continua del equipo al estar dentro del recurso hídrico, la posibilidad del equipo de bombear desde la profundidad del tanque lo cual suprime la necesidad de contar con una succión positiva para la bomba.

A continuación, se realiza el estudio financiero proyectado del costo comercial de la alternativa seleccionada en el caso posible de su implementación .

## **6.6 ESTUDIO FINANCIERO ALTERNATIVAS**

Como objetivo principal del siguiente estudio, se analizó el costo de inversión inicial de cada uno de las alternativas, esto con el fin de tener un valor cercano de la propuesta que nos permita definir el valor comercial más cómodo y con esto garantizar la viabilidad y rentabilidad de la alternativa.

Por otra parte, se proyecta el costo de operación y mantenimiento de cada una de las alternativas planteadas, esto con el fin de tener valores económicos que sirvan como parámetros de selección de cada una de las alternativas proyectadas, de esta forma mediante los criterios de viabilidad y rentabilidad seleccionar la mejor alternativa económicamente para la necesidad el casco urbano.

**6.6.1 Análisis costo de inversión inicial de las alternativas.** A continuación, se adelantó el análisis comercial de cada uno de los componentes que estructuran las propuestas, análisis donde se tiene en cuenta los valores comerciales de los accesorios necesarios para tubería, accesorios de automatización y control del equipo de bombeo, el tipo de electrobomba seleccionada en cada una de las alternativas, el proyecto de disponibilidad energética para el cuarto de máquinas y la operación del sistema de bombeo, la mano de obra de la instalación, montaje y puesta en marcha de cada uno de los proyectos, accesorios y equipos de la alternativa, cada uno de estos valores se obtuvieron de los catálogos de precios de varios de los proveedores de servicios, empresas fabricantes de bombas y accesorios para sistemas de bombeo, automatización y energía de la industria Colombiana.

Todos estos valores comerciales están exentos de IVA y transporte, y su valor puede variar con el tiempo, según la demanda y dinámicas económicas de la industria y sobre todo la del país.

Cabe resaltar que para la implementación de un proyecto de este tipo, requiere de una inversión de capital considerable para su implementación, tanto que el recurso económico necesario no solo dependería del recaudo de la operación y servicio ofrecido por el acueducto, sino que a su vez requiere de una inversión fundamental y de la disponibilidad presupuestal proveniente del gobierno municipal, de sus fondos y aportes que el sistema general de participación (SGP) destine para agua potable y saneamiento básico, por lo tanto no adelantaremos el cálculo financiero de la tasa interna de retorno (TIR) ni el periodo de recuperación de la inversión (PRI).

A continuación, se analiza el costo de inversión inicial de cada una de las alternativas:

Figura 48. Análisis costo de inversión inicial Alternativa 1.

ANÁLISIS COMERCIAL ALTERNATIVA 1				
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>EQUIPO DE BOMBEO</b>				
6SR120G/200	Electrobomba sumergible Marca PEDROLLO, Tipo lapicero 6" Trifásica , Multietapas (9), Potencia 20 hp	1	\$19.186.000	\$19.186.000
<b>Total</b>				\$19.186.000
<b>ACCESORIOS</b>				
Codo 90 °	Accesorio de tubería PAVCO	4	\$53.742	\$214.968
Tee Flujo 3"	Accesorio de tubería PAVCO	2	\$69.517	\$139.034
Registro 3"	Válvula bola PVC Soldada	2	\$85.093	\$170.186
Codo 45°	Accesorio de tubería PAVCO	5	\$50.864	\$254.320
Tee flujo directo 3"	Accesorio de tubería PAVCO	1	\$69.517	\$69.517
Universal 3"	Universal lisa PVC 3"	2	\$149.700	\$299.400
Válvula Check 3"	Válvula Check de Cortina 3 " Bronce	4	\$250.370	\$1.001.480
Manómetro Glicerina	Altamira 0-300 Psi	1	\$42.600	\$42.600
Válvula Compuerta 3"	Compuerta Liviana Bronce 3"	2	\$591.000	\$1.182.000
Unión 3"	Accesorio de tubería PAVCO	66	\$25.999	\$1.715.934
<b>Total</b>				\$5.089.439
<b>TRAMOS DE TUBERIA</b>				
Tubería 3" PVC RDE 21 3"	RDE 21 - 200 Psi Pavco	66	\$285.790	\$18.862.140
<b>Total</b>				\$18.862.140
<b>PROYECTO DISPONIBILIDAD ENERGETICA</b>				
Poste de Luz 14 Metros	RETIE, Carga de Rotura 1050 KgF	1	\$1.200.000	\$1.200.000
Contador Trifásico	Trifásico 5-100A Lcd	1	\$206.900	\$206.900
Cable No. 2 Aluminio	Aluminio Desnudo No 2 ACSR Metro	1200	\$3.700	\$4.440.000
Varillas Anclaje	Varilla Anclaje de 5-8 x 2 40 mts	4	\$40.750	\$163.000
Cable No. 4 Cobre	Aislado No 4-0 AWG THHN Metro	20	\$76.200	\$1.524.000
Caja Contador Trifásico	Vertical para 1 Medidor 57X27X18	1	\$128.350	\$128.350
Transformador Trifásico	en Aceite de 45 KVA - 13.200 v	1	\$13.143.450	\$13.143.450
Tablero de Distribución	Tablero y Totalizador de 12 Circuitos	1	\$340.500	\$340.500
Breakers	Breaker Tripolar 3 X 40 Amp 10KA	3	\$36.000	\$108.000
Certificación Proyecto	Certificación y Disponibilidad ESSA	1	\$20.000.000	\$20.000.000
Mano de Obra	Instalación Disponibilidad Energética	1	\$10.000.000	\$10.000.000
Varilla Cooper Weld	14 28MM x 1 50 de Cobre Macizo	6	\$138.000	\$828.000
<b>Total</b>				\$52.082.200
<b>ACCESORIOS DE CONTROL EQUIPO DE BOMBEO</b>				
Tablero de Control	Tablero para bomba, Arranque suave motor 20 HP Trifásico, Marca SIEMENS 3RW52 - PROVEEDOR AUTOMEX- Referencia ATX1B202SSP	1	\$10.620.000	\$10.620.000
Flotador Electrico	Sensor de nivel para protección de trabajo en seco de la Electrobomba.	1	\$70.000	\$70.000
Cable # 2 Control	Cobre Aislado No 2-0 AWG THHN Metro	40	\$47.850	\$1.914.000
Instalacion Control y Bombeo	Montaje Tablero de Control y Bombeo	1	\$5.000.000	\$5.000.000
<b>Total</b>				\$17.604.000
<b>Total Proyecto</b>				\$112.823.779

Fuente: Tabla Análisis Comercial Excel por el autor.

Figura 49 Análisis costo de inversión inicial Alternativa 2.

ANALISIS COMERCIAL ALTERNATIVA 2				
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>EQUIPO DE BOMBEO</b>				
SSXV100ME200	Electrobomba Multietapas horizontal Marca IHM, Eje libre, Potencia 25 hp	2	\$11.556.000	\$23.112.000
<b>Total</b>				\$23.112.000
<b>ACCESORIOS</b>				
Codo 90 °	Accesorio de tubería PAVCO	6	\$53.742	\$322.452
Tee Flujo 3"	Accesorio de tubería PAVCO	2	\$69.517	\$139.034
Registro 3"	Válvula bola PVC Soldada	4	\$85.093	\$340.372
Codo 45°	Accesorio de tubería PAVCO	5	\$50.864	\$254.320
Tee flujo directo 3"	Accesorio de tubería PAVCO	1	\$69.517	\$69.517
Universal 3"	Universal lisa PVC 3"	4	\$149.700	\$598.800
Válvula Check 3"	Válvula Check de Cortina 3 " Bronce	4	\$250.370	\$1.001.480
Manómetro Glicerina	Altamira 0-300 Psi	2	\$42.600	\$85.200
Válvula Compuerta 3"	Compuerta Liviana Bronce 3"	4	\$591.000	\$2.364.000
Unión 3"	Accesorio de tubería PAVCO	66	\$25.999	\$1.715.934
<b>Total</b>				\$6.891.109
<b>TRAMOS DE TUBERIA</b>				
Tubería 3" PVC RDE 21 3"	RDE 21 - 200 Psi Pavco	68	\$285.790	\$19.433.720
<b>Total</b>				\$19.433.720
<b>PROYECTO DISPONIBILIDAD ENERGETICA</b>				
Poste de Luz 14 Metros	RETIE, Carga de Rotura 1050 KgF	1	\$1.200.000	\$1.200.000
Contador Trifásico	Trifásico 5-100A Lcd	1	\$206.900	\$206.900
Cable No. 2 Aluminio	Aluminio Desnudo No 2 ACSR Metro	1200	\$3.700	\$4.440.000
Varillas Anclaje	Varilla Anclaje de 5-8 x 2 40 mts	4	\$40.750	\$163.000
Cable No. 4 Cobre	Aislado No 4-0 AWG THHN Metro	20	\$76.200	\$1.524.000
Caja Contador Trifásico	Vertical para 1 Medidor 57X27X18	1	\$128.350	\$128.350
Transformador Trifásico	en Aceite de 45 KVA - 13.200 v	1	\$13.143.450	\$13.143.450
Tablero de Distribución	Tablero y Totalizador de 12 Circuitos	1	\$340.500	\$340.500
Breakers	Breaker Tripolar 3 X 40 Amp 10KA	3	\$36.000	\$108.000
Certificación Proyecto	Certificación y Disponibilidad ESSA	1	\$20.000.000	\$20.000.000
Mano de Obra	Instalación Disponibilidad Energética	1	\$10.000.000	\$10.000.000
Varilla Cooper Weld	14 28MM x 1 50 de Cobre Macizo	6	\$138.000	\$828.000
<b>Total</b>				\$52.082.200
<b>ACCESORIOS DE CONTROL EQUIPO DE BOMBEO</b>				
Tablero de Control	Tablero para 2 bombas, Arranque suave motor 25 HP Trifásico, Marca SIEMENS 3RW52 - PROVEEDOR AUTOMEX- Referencia ATX2B252SSP	1	\$22.740.000	\$22.740.000
Flotador Electrico	Sensor de nivel para protección de trabajo en seco de la Electrobomba.	2	\$70.000	\$140.000
Cable # 2 Control	Cobre Aislado No 2-0 AWG THHN Metro	80	\$47.850	\$3.828.000
Instalacion Control y Bombeo	Montaje Tablero de Control y Bombeo	1	\$6.000.000	\$6.000.000
<b>Total</b>				\$32.708.000
<b>Total Proyecto</b>				\$134.227.029

Fuente: Tabla Análisis Comercial Excel por el autor.

Figura 50. Análisis costo de Inversión inicial Alternativa 3.

ANALISIS COMERCIAL ALTERNATIVA 3				
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>EQUIPO DE BOMBEO</b>				
6SR225G/400	Electrobomba sumergible Marca PEDROLLO, Tipo lapicero 6" Trifásico, Multietapas (14), Potencia 40 hp	1	\$27.907.000	\$27.907.000
<b>Total</b>				\$27.907.000
<b>ACCESORIOS</b>				
Codo 90 °	Accesorio de tubería PAVCO	4	\$53.742	\$214.968
Tee Flujo 3"	Accesorio de tubería PAVCO	2	\$69.517	\$139.034
Registro 3"	Válvula bola PVC Soldada	2	\$85.093	\$170.186
Codo 45°	Accesorio de tubería PAVCO	5	\$50.864	\$254.320
Tee flujo directo 3"	Accesorio de tubería PAVCO	1	\$69.517	\$69.517
Universal 3"	Universal lisa PVC 3"	2	\$149.700	\$299.400
Válvula Check 3"	Válvula Check de Cortina 3 " Bronce	4	\$250.370	\$1.001.480
Manómetro Glicerina	Altamira 0-300 Psi	1	\$42.600	\$42.600
Válvula Compuerta 3"	Compuerta Liviana Bronce 3"	2	\$591.000	\$1.182.000
Unión 3"	Accesorio de tubería PAVCO	66	\$25.999	\$1.715.934
<b>Total</b>				\$5.089.439
<b>TRAMOS DE TUBERIA</b>				
Tubería 3" PVC RDE 21 3"	RDE 21 - 200 Psi Pavco	66	\$285.790	\$18.862.140
<b>Total</b>				\$18.862.140
<b>PROYECTO DISPONIBILIDAD ENERGETICA</b>				
Poste de Luz 14 Metros	RETIE, Carga de Rotura 1050 KgF	1	\$1.200.000	\$1.200.000
Contador Trifásico	Trifásico 5-100A Lcd	1	\$206.900	\$206.900
Cable No. 2 Aluminio	Aluminio Desnudo No 2 ACSR Metro	1200	\$3.700	\$4.440.000
Varillas Anclaje	Varilla Anclaje de 5-8 x 2 40 mts	4	\$40.750	\$163.000
Cable No. 4 Cobre	Aislado No 4-0 AWG THHN Metro	20	\$76.200	\$1.524.000
Caja Contador Trifásico	Vertical para 1 Medidor 57X27X18	1	\$128.350	\$128.350
Transformador Trifásico	en Aceite de 45 KVA - 13.200 v	1	\$13.143.450	\$13.143.450
Tablero de Distribución	Tablero y Totalizador de 12 Circuitos	1	\$340.500	\$340.500
Breakers	Breaker Tripolar 3 X 40 Amp 10KA	3	\$36.000	\$108.000
Certificación Proyecto	Certificación y Disponibilidad ESSA	1	\$20.000.000	\$20.000.000
Mano de Obra	Instalación Disponibilidad Energética	1	\$10.000.000	\$10.000.000
Varilla Cooper Weld	14 28MM x 1 50 de Cobre Macizo	6	\$138.000	\$828.000
<b>Total</b>				\$52.082.200
<b>ACCESORIOS DE CONTROL EQUIPO DE BOMBEO</b>				
Tablero de Control	Tablero para bomba, Arranque suave motor 40 HP Trifásico, Marca SIEMENS 3RW52 - PROVEEDOR AUTOMEX- Referencia ATX1B402SSP	1	\$17.900.000	\$17.900.000
Flotador Electrico	Sensor de nivel para protección de trabajo en seco de la Electrobomba.	1	\$70.000	\$70.000
Cable # 2 Control	Cobre Aislado No 2-0 AWG THHN Metro	40	\$47.850	\$1.914.000
Instalacion Control y Bombeo	Montaje Tablero de Control y Bombeo	1	\$5.000.000	\$5.000.000
<b>Total</b>				\$24.884.000
<b>Total Proyecto</b>				\$128.824.779

Fuente: Tabla Análisis Comercial Excel por el autor.

Tabla 12. Valor total por Alternativa.

ANALISIS COMERCIAL ALTERNATIVAS	
ALTERNATIVA	VALOR COMERCIAL SIN IVA COP
Alternativa # 1	\$112.823.779
Alternativa # 2	\$169.047.029
Alternativa # 3	\$122.644.779

Fuente: Tabla Análisis Comercial Excel por el autor.

En la anterior tabla podemos evidenciar que el costo inicial comercial de la alternativa # 1 es la más baja a comparación de las otras 2 alternativas.

Ahora se calcula el valor de operación según la potencia y consumo energético de cada uno de los equipos de bombeo seleccionado por alternativa.

**6.6.2 Análisis costos de operación del sistema de bombeo.** Para el análisis del costo de operación de cada alternativa, calcularemos el consumo energético de cada una de las electrobombas seleccionadas, las cuales son el equipo principal de las alternativas proyectadas, en este caso este dato estará sujeto al tiempo de llenado calculado en la matriz de pérdidas del sistema por horas de operación, y en el valor kilovatio hora de categoría industrial para el casco urbano del municipio. A continuación, se realizan los respectivos cálculos :

**Alternativa # 1:**

Referencia **6SR 120G/200 : Electrobomba sumergible.**

- Multietapas (9) tipo lapicero 6 “, Funcionamiento continuo
- Motor 6PD20 – Trifásico 220v – Amperaje 60,8, Potencia en 15 kw , 20 HP

Ahora calcularemos la potencia eléctrica del motor de la electrobomba :

$$P_{\text{electrica}} = \sqrt[2]{3} * U * I * Fp = kW$$

$I$  = Corriente

$U$ : Voltaje

$Fp$  = Factor de potencia = 0,8 a criterio del fabricante.

$$P_{\text{electrica}} = \sqrt[2]{3} * 220 * 60,8 * 0,8 = 18,534 kW$$

Ahora calcularemos el costo mensual del equipo:

- Potencia eléctrica = 18,534 kW
- Horas de operación día = 17 horas \*30 = 510 horas al mes
- Costo kilowatt-hora = 817,8

Nota. Valor kilowatt promedio abril 2023

(<https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/precio-de-la-energia-en-colombia-en-marzo-de-2023-fue-el-mas-alto-en-un-ano-581510> )

**Costo mensual** =  $P_{\text{electrica}} * \text{Horas de operación} * \text{Costo kilowatt-hora}$

$$\text{Costo mensual} = 18,534 * 510 * 817,8 = \$ 7.730.260,98$$

Este sería el costo mensual energético de 17 horas diarias de bombeo constante del equipo que integra la Alternativa # 1.

**Alternativa # 2:**

Referencia **D12-25X6 SM:**

- Electrobomba multietapas horizontal “,
- Funcionamiento continuo
- Motor WED – 2 polos – 3600 rpm- Trifásico 220v – Amperaje 49,8
- Potencia 25 HP

Ahora calcularemos la potencia eléctrica del motor de la electrobomba :

$$P_{\text{electrica}} = \sqrt{3} * U * I * Fp = kW$$

$$P_{\text{electrica}} = \sqrt{3} * 220 * 49,8 * 0,8 = 15,181 kW$$

Ahora calcularemos el costo mensual del equipo:

- Potencia eléctrica = 15,181 kW
- Horas de operación día = 17 horas \*30 = 510 horas al mes
- Costo kilowatt-hora = 817,8 kw-hora

**Costo mensual** = Pelectrica \* Horas de operación \* Costo kilowatt-hora

$$\text{Costo mensual} = 15,181 * 510 * 817,8 = \$ 6.331.694,03$$

Este sería el costo mensual energético de 17 horas diarias de bombeo constante del equipo que integra la Alternativa # 2.

**Alternativa # 3:**

Referencia **6SR225G/400 :**

- Electrobomba sumergible multietapas (14) tipo lapicero 6 “,
- Funcionamiento continuo
- Motor 6PD40 – Trifásico 440v – Amperaje 52,4, 60 Hz, ,
- Potencia 40 HP

Ahora calcularemos la potencia eléctrica del motor de la electrobomba :

$$P_{\text{electrica}} = \sqrt{3} * U * I * Fp = kW$$

$$P_{\text{electrica}} = \sqrt{3} * 440 * 52,4 * 0,8 = 31,947 kW$$

Ahora calcularemos el costo mensual del equipo:

- Potencia eléctrica = 31,947 kW
- Horas de operación día = 17 horas \*30 = 510 horas al mes
- Costo kilowatt-hora = 817,8 kw-hora

**Costo mensual** = Pelectrica \* Horas de operación \* Costo kilowatt-hora

$$\text{Costo mensual} = 31,947 * 510 * 817,8 = \$ 13.324.528,80$$

Este sería el costo mensual energético de 17 horas diarias de bombeo constante del equipo que integra la Alternativa # 3.

**6.6.3 Análisis costos de mantenimiento del sistema de bombeo.** Para el análisis de los costos de mantenimientos de cada una de las alternativas planteadas, solicitamos a la empresa ELECTROPARRA de Barbosa Santander, empresa dedicada al diseño,

automatización, instalación, venta de equipos electromecánicos, de sistemas de bombeo y mantenimiento, una cotización sobre el mantenimiento preventivo o correctivo de cada una de las propuestas con sus diferentes equipos y tableros de control. **Apéndice D** cotización de la empresa, a continuación adelantamos un cuadro comparativo del costo comercial del mantenimiento preventivo de cada uno de los equipos:

Tabla 13. Tabla Comparativa mantenimiento por alternativa.

<b>Propuesta</b>	<b>Mantenimiento Equipo</b>	<b>Mantenimiento Control</b>	<b>Total</b>
Alternativa 1	\$ 400.000	\$ 500.000	<b>\$ 900.000</b>
Alternativa 2	\$ 1.200.000	\$ 800.000	\$ 2.000.000
Alternativa 3	\$ 800.000	\$ 600.000	\$ 1.400.000

Fuente: Elaborada por el autor.

## 6.7 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Una vez analizado cada una de las alternativas proyectadas, su valor comercial y las condiciones actuales del sistema, teniendo en cuenta que el sistema de bombeo proyectado para las dinámicas de consumo del municipio es de baja complejidad, tomaremos como alternativa número 1 por las siguientes consideraciones:

- Como parámetro inicial, el caudal que se bombea con sistema de bombeo seleccionado en la Alternativa nos permitiría tener un bombeo constante, ya que la razón a la que bombea nuestro sistema está por encima del caudal de consumo por segundo que la población requiere, y por debajo del caudal que suministra la bocatoma al tanque de almacenamiento, permitiendo que las dinámicas de llenado y suministro no sean interrumpidas por la operación constante del equipo de bombeo.

Caudal del afluente en promedio : 6 l/s

Caudal Operación diseño # 1: 5,74 l/s

Caudal consumo población: 4,10 l/s

Esto nos permite evidenciar que el caudal que se requiere y el cual se bombea a la PTAP está por encima del requerido por la población permitiendo disponibilidad del recurso para tratamiento y entrega, y por debajo del caudal de llenado del tanque de la bocatoma la pavita, permitiendo que la operación de bombeo no se detenga por falta de nivel hídrico en el tanque de almacenamiento.

- Otro de las consideraciones a la alternativa está sujetas al aprovechamiento de la infraestructura del cuarto de bombeo y el tanque de almacenamiento de la bocatoma, lo cual las modificaciones que se deberán desarrollar con el tiempo serán de manera complementarias sin tener que hacer adecuaciones de mayor impacto y con esta mayor inversión económica. Ver Apéndice **E**.
- Por otra parte en lo que concierne al tiempo de operación, si bien esta Alternativa representa aproximadamente 17 horas de bombeo continuo para entregar el caudal día que requiere el casco urbano del municipio, este tiempo respondería en la situación posible pero no constante de que esta zona de captación fuera la única que suministra el caudal necesario para la operación de la PTAP, razón que se puede mitigar realizando algunas mejoras en la conservación y disposición de los otros afluentes que surte el recurso hídrico a la planta.
- En cuanto al estudio financiero realizado de cada alternativa, la alternativa 1 presenta la menor inversión a comparación de las otras 2 opciones analizadas en lo que respecta a la inversión para la instalación del nuevo sistema de bombeo como lo podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 14. Comparativo valor comercial por alternativa

COMPARATIVO VALOR COMERCIAL ALTERNATIVAS			
ALTERNATIVA	INV. INICIAL	OPERACIÓN	MANTENIMIENTO
Alternativa #1	\$112.823.779	\$ 7.730.260,98	\$ 900.000
Alternativa #2	\$169.047.029	\$ 6.331.694,03	\$ 2.000.000
Alternativa #3	\$122.644.779	\$ 13.324.528,80	\$ 1.400.000

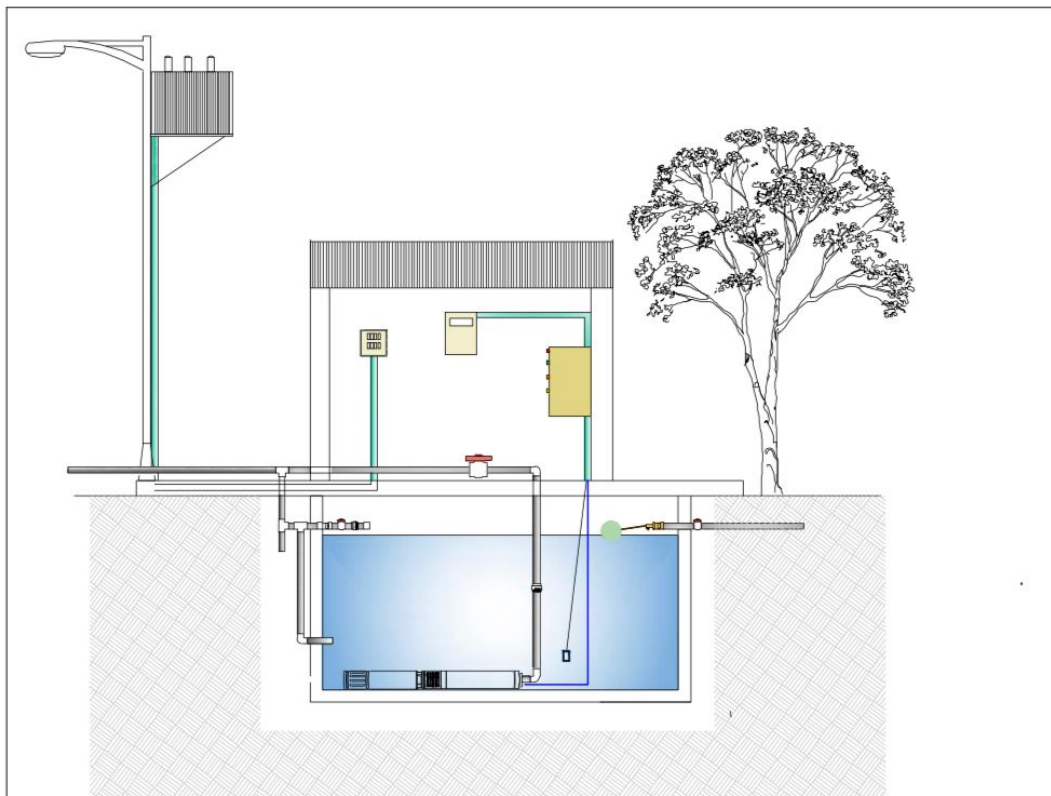
Fuente: Tabla del autor.

La anterior tabla comparativa permite reconocer que el costo de inversión del sistema de bombeo es el de la alternativa # 1, aunque el valor de operación no es el más económico, la diferencia que existe entre el valor más económico y el de la alternativa 1 no excede el 20 %, además es compensado en el mantenimiento de equipos al tener una sola bomba y no 2 como se contempla en la alternativa 2.

- En razones comparativas de montaje, la instalación del sistema de bombeo que se contempla requiere de menos accesorios y el tipo de electrobomba y sus campo de prestación para el transporte del fluido es menor tamaño y potencia a comparación de la Alternativa # 3 y la implementación de los equipos de bombeo de la Alternativa # 2, por lo tanto el valor comercial de la electrobomba y su tablero de control seria sin duda alguna de menor valor que los equipos contemplados en las otras dos opciones.

Por toda la anterior la mejor alternativa a la necesidad por implementación, operación, costo de implementación y parámetros de operación es la # 1. (Ver Apéndice H) , isométrico de la Alternativa 1.

Figura 51. Montaje Esquema Alternativa # 1.

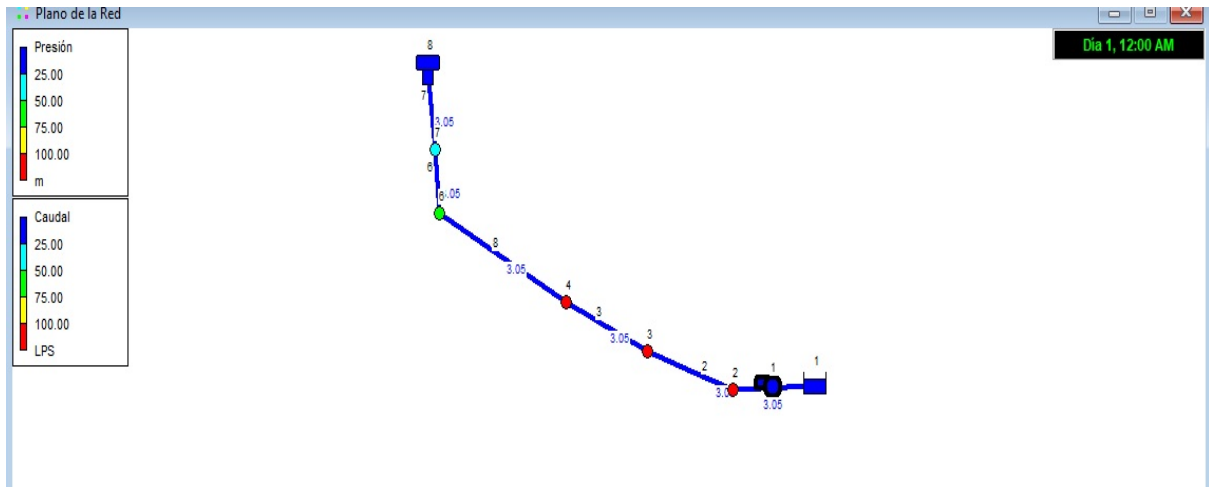


Fuente: Esquema montaje Alternativa 1 realizado en AutoCAD por el autor.

## 7. ANALISIS EPANET

Para este capítulo, simulamos el montaje del sistema de bombeo de la bocatoma la pavita y su red de distribución hasta la PTAP, esto con el fin de analizar el comportamiento de la presión en el recorrido de su operación, para esto se utilizó EPANET siendo este uno de los mejores programas para la simulación de sistemas de bombeo de agua potable en la academia, (ver figura 52).

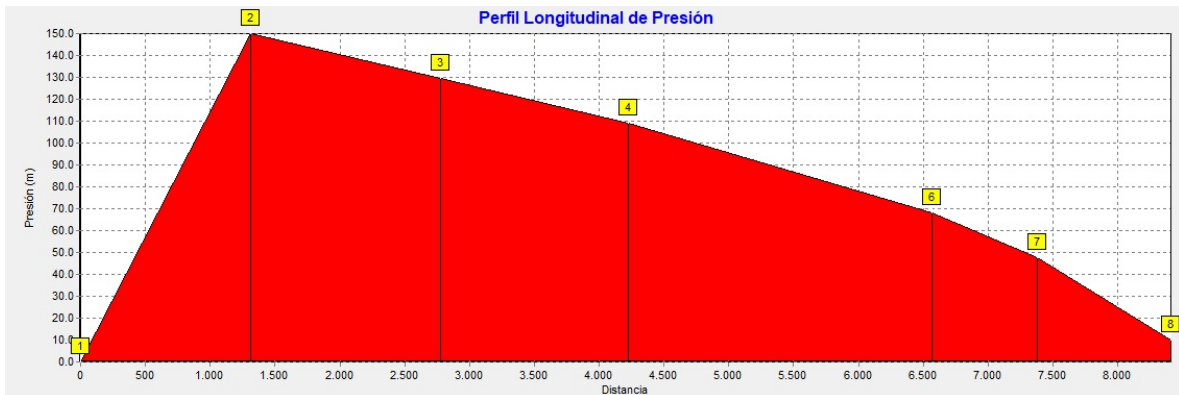
Figura 52. Montaje simulación sistema de bombeo Epanet.



Nota. Montaje elaborado en EPANET 2.0 por el autor.

El montaje nos permite evidenciar el siguiente comportamiento:

Figura 53. Curva perfil longitudinal de presión por nodo.



Fuente. Grafica proporcionada por EPANET 2.0, elaborada por el autor.

Uno de los principales análisis que podemos sacar de la anterior grafica es justamente el tipo de comportamiento que desarrolla el sistema y que experimenta el montaje por nodo al simular el paso de un cudal hídrico y el punto de operación al cual se desea llegar, al encontrar que en dinámicas de presión, los principales nodos de la red son los que experimenta presiones mayores al estar más cercanos al equipo de bombeo e inversamente proporcional al punto más alejado o final del sistema como se puede evidenciar en los nodos 7 y 8 de la anterior grafica ( ver figura 53).

Por otra parte, algunos de los parámetros experimentados por tramo de tubería del recorrido entre la bocatoma y la PTAP, nos permite tener una cercanía a los valores desarrollados que experimentan al desarrollar el sistema de bombeo como lo pudimos evidenciar en las proyecciones de la de perdidas por fricción RDE 21 Pavco wavin. ( ver figura 54).

Figura 54. Parámetros tubería de descarga por longitud.

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Factor de Fricción	Estado
Tubería 2	100	80	0.1	3.05	0.61	5.85	0.025	Abierto
Tubería 3	100	80	0.1	3.05	0.61	5.85	0.025	Abierto
Tubería 6	100	80	0.1	3.05	0.61	5.85	0.025	Abierto
Tubería 7	10	80	0.1	3.05	0.61	5.85	0.025	Abierto
Tubería 8	100	80	0.1	3.05	0.61	5.85	0.025	Abierto
Bomba 1	No Disponible	No Disponible	No Disponible	3.05	0.00	-150.02	0.000	Abierto

Fuente. Grafica proporcionada por EPANET 2.0, elaborada por el autor.

## 8.CONCLUSIONES

- En base a la recopilación de información referente a los caudales, consumo poblacional, boca tomas, cotas de alturas, disponibilidad energética, densidad poblacional y tipo de aguas, se ha obtenido una sólida base de datos que cumple con los parámetros establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Esta información fue crucial para el análisis y diseño del sistema de bombeo.
- Mediante la herramienta CAD EPANET se ha llevado a cabo la modelación y simulación del sistema de bombeo y su red de tuberías de transporte. Esta simulación ha permitido identificar los tramos de tubería y nodo con mayor porcentaje de pérdida y presión, evaluar la calidad del material utilizado y determinar las pérdidas generadas por los accesorios en el transporte del fluido.
- El análisis de la información recopilada del sistema de bombeo para la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del municipio de La Paz, Santander, ajustada al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), ha permitido identificar deficiencias y problemáticas existentes en el sistema actual.
- Como resultado del diseño realizado, se han identificado varias alternativas de sistemas de bombeo que podrían dar solución a las problemáticas presentadas en el transporte del recurso hídrico a la nueva planta de tratamiento de agua potable. Estas alternativas abarcan soluciones a corto, mediano y largo plazo, y proporcionan opciones viables y eficientes para garantizar el suministro de agua a la población.
- Luego de un exhaustivo análisis y evaluación de las alternativas de sistemas de bombeo y su costo financiero, se ha seleccionado la opción que cumple con los parámetros establecidos por el RAS y que mejor se adapta a las necesidades del

municipio. Esta opción se recomienda junto con las modificaciones necesarias en el sistema de captación, transporte y suministro del recurso hídrico, con el objetivo de asegurar la disponibilidad hídrica y mejorar la calidad del agua que se entrega a la población del casco urbano de la paz.

- El modelo actual de PTAP y todos sus puntos de captación y elementos del sistema, requieren de una actualización constante de cada uno de sus componentes, ya que desde hace varias décadas no se hace una renovación de los elementos que la componen, muchos de estos en la actualidad la industria ya los reemplaza por accesorios y equipos con mayor eficiencia, automatizados y que generan mejores resultados.
- Con el paso del tiempo si no se adelantan las recomendaciones que el RAS y este documento presenta sobre las condiciones actuales de las quebradas que suministran el recurso hídrico al acueducto, en los próximos años podrían llegar al punto de secarse por completo, colocando en riesgo la disponibilidad hídrica del casco urbano y de algunas veredas que se abastecen de estos afluentes.
- La densidad poblacional del casco urbano como se proyectó en el documento presentara con el paso de los años un crecimiento lento como lo evidenciamos en los históricos del DANE, en la tasa de fecundidad y mortandad exceptuando situación extremas como el COVID 19 que hizo que aumentara a una tasa diferente la presencia de población en el casco urbano, esto permite que la actualización y mejoras que se adelanten para la PTAP, sus sistemas de bombeo y las zonas de captación, no requieran de un cambio apresurado sino que por el contrario se pueda adelantar paulatinamente.
- Se requiere una ampliación no solo de los tanques de almacenamiento de la PTAP y las zonas de captación que los emplean, sino también la implementación de tanque aéreos o subterráneos que les permita a la comunidad tener reservas y no que dependan solo de lo suministrado por el acueducto, esto les permitiría a los usuarios implementar otros modelos de tratamiento de agua potable para mejorar las condiciones de potabilidad.

- En el caso de la infraestructura actual del acueducto, varios de sus componentes como lo son las bocatomas, los tanques de almacenamiento, los cuartos de máquinas y algunos elementos del sistema se pueden aprovechar e implementar en el cambio del modelo de PTAP y en el cambio del sistema de bombeo que proyectamos en este documento para la bocatoma la pavita de la vereda centro.
- Es posible que con el tiempo al contar con el recurso económico necesario se pueda adelantar la implementación de un sistema alternado de bombeo como lo proyectamos en la alternativa número 2, esto le permitiría al acueducto contar con otra electrobomba de respaldo en el caso donde se presente una falla que obligue a suspender la operación de bombeo y con esta implementación pueda solventar la dificultad.
- El sistema proyectado en esta investigación beneficiara a la población del casco urbano del municipio, garantizándole disponibilidad hídrica al acueducto para una población proyectada hasta el año 2048.
- Este proyecto cumple con las recomendaciones del RAS para la proyección de sistemas de bombeo en acueductos.
- Las tablas de pérdidas por fricción implementadas en la matriz de cálculo desarrollada en este documento nos permiten tener valores cercanos a los experimentados por los materiales de tuberías y accesorios de la industria.

## RECOMENDACIONES

Aunque la reducción del caudal con el paso de los años lo podemos asociar al comportamientos de los fenómenos climáticos del niño y la niña, en nuestra investigación encontramos varias situaciones que responden a su vez a posibles razones por las cuales el caudal se ha reducido asociadas al descuido, a la desactualización y mantenimiento de los equipos, al desaprovechamiento, la captación desproporcionada del agua para otros fines así como el no cuidado de los afluentes, y otros parámetros analizados en el capítulo 5.2 del RAS que habla sobre los aspectos a revisar, a continuación realizaremos algunas recomendaciones sobre lo observado en las visitas exploratorias adelantadas y que son de vital importancia para garantizar la implementación y mejoras en el sistema de bombeo proyectado, y en la calidad y disponibilidad hídrica que el proyecto pudiera representar:

- La primera recomendación está dirigida al cambio, mantenimiento y purga constante de las redes de distribución que llevan el recurso hídrico de las bocatomas a la PTAP, ya que según versión del operador del acueducto, desde que se llevó a cabo la construcción de cada una de las zonas de captación, nunca se han cambiado en su totalidad la tubería que al día de hoy responde a varios diámetros y materiales, a varias décadas de servicio, y que tan solo se realiza reparaciones en ella en situaciones donde por deslizamiento de tierra se ha dañado la tubería, según don Carlos lobo se realiza purgas cada cierto tiempo con el fin de remover algunos de los sedimentos que se adhieren a las paredes de las tuberías.

Por lo anterior la recomendación está dirigida a el cambio de todos los tramos de tuberías de cada una de las zonas de captación y la instalación correcta de estas cumpliendo con los parámetros técnicos de profundidad en la tierra en sus recorridos

según el tipo de material seleccionado para cada caso, este cambio a su vez debe realizarse en el tramo que conduce de la bocatoma de rejilla al desarenador.

- Otra de las recomendaciones más importantes y por la cual se desarrolló esta investigación es la actualización y automatización de los componentes y equipos de los diferentes sistemas de bombeo, para el caso del acueducto de la paz si bien 2 de las zonas de captación trabajan por gravedad y solo una de ellas requiere de un equipo de bombeo como lo proyectamos aquí, se recomienda adelantar investigaciones, inversión y actualización en estudios hidrológicos que le permitan construir y aprovechar nuevos afluentes si con el pasar de los años el caudal que manejan las 2 bocatomas que trabajan por gravedad se sigue reduciendo de manera considerada.

Esta actualización de equipos y sistemas de automatización para hacer mucho más fácil el control, monitoreo y operación de todo el sistema debe ir de la mano de la construcción e implementación de la nueva PTAP convencional que necesita el casco urbano de los paceños, y que sin duda alguna mejorara la forma en la que se potabiliza el agua, y la calidad en la que la reciben los usuarios.

- Otra de las recomendación está dirigida al almacenamiento hídrico de los 2 tanques de almacenamiento del acueducto y al tanque de la bocatoma la pavita, para este caso se debe realizar ampliaciones en la capacidad que puedan almacenar tanto los 150 mil litros de los tanques de la PTAP a por lo menos la implementación de un 3 tanque que aumente la capacidad a más de 350 mil litros que posiblemente necesitara diarios el casco urbano del municipio para el 2048, así como la ampliación o implementación de un tanque subterráneo que aumente la capacidad de almacenamiento de 25 mil litros de la bocatoma la pavita, que para el caso hipotético donde este afluente de manera complementaria respaldado por el caudal que aun entrega a comparación de los otros 2, tuviera una disponibilidad hídrica para bombeo superior con la que cuenta al día de hoy.

- Como ultima recomendación está dirigida al almacenamiento de agua potable es entorno a la implementación de tanque aéreos o subterráneos para cada una de las viviendas y acometidas de servicio a los que surte el acueducto, en las visitas que adelantamos un 70 % de las viviendas del casco urbano no cuenta con ningún tipo de tanque para el almacenamiento y depende del caudal que entrega constantemente el acueducto directamente desde su punto matriz, esta situación hace que en casos extremos donde la operación de suministro de agua potable del acueducto sea interrumpida, deje sin servicio de agua a todos estos usuarios que no cuentan con formas de almacenamiento, y genera dificultades en la situación posible de implementación procesos de filtración para mejorar la calidad del agua que consumen los usuarios.
- Algunas recomendaciones sobre la ronda hídrica, el cuidado del ecosistema de las zonas de captación y su aprovechamiento, ver ( Apéndice H).

## REFERENCIAS

Aguilar López, C. C., & Suárez Gutiérrez, B. A. (2022). Determinación de requerimientos para el rediseño de la Estación de Bombeo del municipio de Contratación-Santander (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Alcaldía de La Paz Santander. (s.f.). Plan de Desarrollo La Paz Santander. Recuperado de [https://lapazsantander.micolombiadigital.gov.co/sites/lapazsantander/content/files/000184/9172\\_9171\\_plandesarrollolapaz.pdf](https://lapazsantander.micolombiadigital.gov.co/sites/lapazsantander/content/files/000184/9172_9171_plandesarrollolapaz.pdf)

Barnes Colombia. (s.f.). Eléctricas verticales en acero inoxidable VSE-2. Recuperado de <https://www.barnes.com.co/electricas-verticales-en-acero-inoxidable-vse-2/>

Cengel, Y. & Boles, M. (2011). Termodinámica. 7ª edición. Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.

Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Terridata. Recuperado de <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/68397>

Evans. (s.f.). Página principal. Recuperado de <https://www.evans.com.co/>

Fibras y Normas de Colombia. (s.f.). Plantas de tratamiento de agua potable (PTAP): funcionamiento y tipos. Recuperado de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable-ptap-funcionamiento-y-tipos/>

Interelectricas. (s.f.). Recuperado de <https://interelectricas.com.co/>

IHM.(s.f.).Bombas-MultietapasD.Recuperadode

<https://www.igihm.com/bombas/?bqda=multietapas&sf=Multietapas%20D>

Mataix, C. (1986). Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas [Versión en línea]. Recuperado de <https://conver2.files.wordpress.com/2012/11/ingenieria-claudio-mataix-mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas1.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B*. Bogotá, Colombia .

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2019). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título K*. Bogotá, Colombia .

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Normativa Ronda Hídrica. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/normativa-ronda-hidrica/>

Mott, L., & Untener, A. (2015). Mecánica de fluidos (7.<sup>a</sup> ed.). Bogotá, Colombia: Pearson Education.

Pavco Wavin. (s.f.). Tubería PVC presión agua fría. Recuperado de <https://pavcowavin.com.co/tuberia-pvc-presion-agua-fria#:~:text=para%20la%20soldadura.-/%20Manual%20Técnico-/%20Certificados%20de>

Pedrollo Colombia. (s.f.). Página principal. Recuperado de [https://www.pedrollo.com.co/es/default\\_t1](https://www.pedrollo.com.co/es/default_t1)

Portafolio. (2023, Marzo 15). Precio de la energía en Colombia en marzo de 2023 fue el más alto en un año. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/precio-de-la-energia-en-colombia-en-marzo-de-2023-fue-el-mas-alto-en-un-ano-581510>

Rincón Suárez, A. A. (2021). Desarrollo de un Modelo de Gestión Operacional para la Reducción de Pérdidas Técnicas y Comerciales en Sistemas de Acueducto. Caso de Estudio: Un Distrito Hidráulico del Acueducto de la Ciudad de Bucaramanga (Tesis de maestría). Universidad Industrial de Santander, Facultad Fisicomécanicas, Bucaramanga, Colombia.

Renovetec. (s.f.). Tipos de mantenimiento. Recuperado de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>

Spena Group. (s.f.). Planta de tratamiento de agua potable. Recuperado de <https://spenagroup.com/planta-tratamiento-agua-potable/>

Ugaz P., C. A. (2012). Rehabilitación Electromecánica de la Estación de Bombeo Majadatelares y su nueva aducción hacia la red de distribución (Tesis de grado). Caracas, Venezuela.

Monje Alvares, C.A. (2011). Metodología de la Investigación. Neiva: Universidad Surcolombiana. Recuperado de <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>

## **TRABAJO A FUTURO**

**ESTUDIO HIDROLÓGICO:** De acuerdo a las condiciones analizadas en el presente documento, y para la proyección del crecimiento poblacional para el año 2048 y la disponibilidad hídrica que demanda tal población, se recomienda adelantar un estudio hidrológico que permita conocer el impacto que puede generar en la cuenca hidrográfica el crecimiento de la población, su expansión urbana en el casco urbano con los proyectos de vivienda, de infraestructura pública o industrial requerida para la población con el paso de los años, esto con el fin de no comprometer el dominio público hidráulico del municipio, y evitar situaciones de riesgo derivadas de la captación o descarga hídrica de la población.

### **DISEÑO Y MEJORA DE LAS BOCATOMAS Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO:**

Para el caso de la infraestructura de las zonas de captación existente, se debe avanzar en mejoras, reforzamiento y ampliación de las bocatomas, tanques de almacenamiento, a su vez, se debe adelantar un proyecto de inversión para la población del casco urbano, que le permita adquirir a las viviendas que reciben el servicio del acueducto, la compra u adecuación de tanques de almacenamiento elevados o subterráneos, al día de hoy la mayoría de las viviendas del casco urbano no cuentan con la posibilidad de almacenar agua para su aprovechamiento sin depender del caudal de entrega del acueducto.

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ( PTAR):**El municipio de la paz cuenta con varios puntos de vertimientos de aguas servidas que van a parar a algunas de las quebradas que atraviesan el municipio sin ningún proceso o tratamiento, lo cual como trabajo futuro se recomienda la construcción de una PTAR por lo menos para el casco urbano que adelante el tratamiento de las aguas negras permitiéndole entregarla a los afluentes en un porcentaje considerable de descontaminación.

## ANEXOS

Anexo A. Planta de tratamiento de agua potable convencional.



Fuente: Tomado de ( <https://www.aquaprocysa.com/planta-tratamiento-agua-potable.html> )

Anexo B. Planta De Tratamiento De Agua Potable Compacta.



Fuente: Tomado de ( <https://insufibras.com/wp-content/uploads/2021/07/Planta-de-agua-potable.jpg>)

Anexo C. Bocatoma De Rejilla.



Fuente: Tomado de ([https://www.bcnoticias.com.co/wp-content/uploads/2021/06/bocatoma\\_opt.jpg](https://www.bcnoticias.com.co/wp-content/uploads/2021/06/bocatoma_opt.jpg) )

Anexo D. Planta De Tratamiento Compacta Actual Casco Urbano.



Fuente: Evidencia Fotografía tomada en una de las visitas al acueducto.

Anexo E. Tanque PTAP Compacta Actual Casco Urbano.

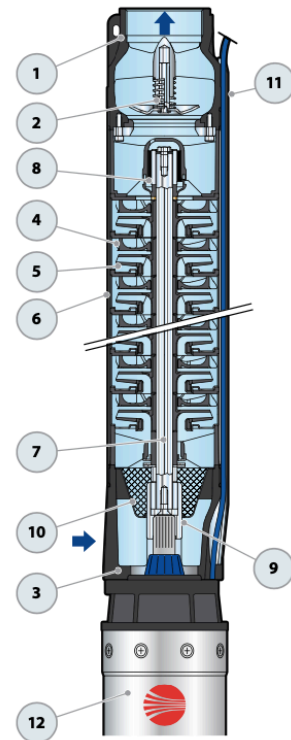


Fuente: Evidencia Fotografía tomada en una de las visitas al acueducto

Anexo F. Características Equipo De Bombeo Alternativa 1.

**6SR 70G - 100G - 120G (Rodetes radiales)**

POS. COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS
1 CUERPO DE IMPULSION	Hierro fundido niquelado con tratamiento de cataforesis con boca de impulsión roscada NPT ANSI B 1.20.1
2 VÁLVULA DE RETENCIÓN	Acero inoxidable AISI 304
3 SOPORTE	Hierro fundido niquelado con tratamiento de cataforesis con dimensiones según norma NEMA
4 RODETES	Noryl y cubiertas de goma especial
5 DIFUSORES	Noryl
6 CAJA PORTA DIFUSOR	Acero inoxidable AISI 304
7 EJE BOMBA	Acero inoxidable AISI 304
8 RODAMIENTOS BOMBA	Parte fija en elastómero especial y parte rotatoria en acero inoxidable AISI 316 revestida de óxido de cromo para resistir a la arena
9 CASQUILLO	Acero inoxidable AISI 420
10 FILTRO	Acero inoxidable AISI 304
11 PROTECTOR CABLE	Acero inoxidable AISI 304
12 MOTOR 6"	6PD = motor en baño de aceite rebobinable



Fuente: Pedrollo Colombia. (s.f.). Página principal. Recuperado de [https://www.pedrollo.com.co/es/default\\_t1](https://www.pedrollo.com.co/es/default_t1)

## Anexo G. Otras recomendaciones.

- En la inspección realizada se encontró que la ronda hídrica que por normativa Colombiana se debe respetar 30 metros no se cumple en ninguno de los 3 afluentes que surte la PTAP, si bien se cuenta con una delimitación, esta no tiene más de 2 metros paralelos al cauce de las quebradas, permitiendo que animales de peso considerables como las vacas y algunos habitantes que se encuentren cerca a los afluentes se aprovechen del caudal que pasa por la quebrada sin restricción de consumo o actividad que terminen contaminen el agua, modificando el ancho de la quebrada o incluso, estableciendo nuevos métodos de captación de la quebrada como aprovechamiento de manera ilegal.

Para esta situación se recomienda avanzar en el acotamiento de la ronda hídrica respetando los 30 metros contemplados para los afluentes en el decreto nacional.

- Otra de las recomendaciones a realizar va de la mano de la conservación de los ecosistemas desde donde nace y por donde pasa cada uno de los afluentes, sin colocar en riesgo las especies endémicas de flora y fauna ni alterarlas con especies que no son propias del ecosistema, para el caso de la bocatoma hoyo marianos, según versión proporcionada por el señor Carlos lobo, en el nacimiento de la quebrada hoyos marianos hace algunas décadas se sembró algunos árboles que no son del ecosistema natural del nacedero de agua y que por el contrario por la familia a las cuales hacen parte en su crecimiento consumen constantemente mucha agua, tanto al punto de llevar en algunos casos a secar el aljibe.

Para este caso la recomendación va entorno a frenar la siembra de este tipo de especies arbóreas que al su crecimiento se consumen cantidades considerables de los afluentes en donde esta sembradas, posiblemente para el caso del aljibe hoyos mariano se deba talar algunas de estas especies que están muy cerca al nacedero de agua.

- Otra de las situaciones evidenciadas en las visitas adelantadas es la presencia constante de ganado en cerca a los afluentes, para el caso de la quebrada de la bocatoma hoyos marianos los dueños de las semovientes realizaron de manera ilegal una derivación de agua para suministrar al ganado en una parte del recorrido de la quebrada antes de llegar a la bocatoma, y reconociendo que el consumo de agua día que una vaca necesita en climas fríos es cercano a los mismo 90 litros diarios que un habitante necesita no solo para su consumo sino para la realización de muchas de sus actividades cotidianas, cantidad multiplicada por el número de reses representaría un caudal considerable que está dejando de recibir la bocatoma.

Para la anterior situación se recomienda la reubicación del ganado que habita las zonas de captación del municipio, o buscar otras alternativas que supla la necesidad hídrica de las vacas, para el caso de hoyos marianos podemos recomendar mover la derivación aguas debajo de la bocatoma para que pueda aprovechar el caudal que pasa por el afluente, claramente sin comprometer todo el cause que recorre la quebrada por su trazado natural.

Anexo H. Anexos del proyecto.

En el siguiente link drive, encontraran documentación relacionada con verificación del proyecto como catálogos de bombas y equipos de automatización, cotizaciones, Matriz de perdidas Excel RDE 21 PAVCO WAVIN, RAS

- <https://drive.google.com/drive/folders/1J7Awb90XErGWf8MWRg3TzgTBqnvdrWGi?usp=sharing>