

**ESTUDIO DEL DISEÑO DE LA PTAP DEL MUNICIPIO DE SOPO -  
CUNDINAMARCA Y RECOMENDACIONES.**

**ALVARO JOSÉ SANTACRUZ BEDOYA**

**ROBINSON VILLAMIL ROJAS**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – 2019**

**ESTUDIO DEL DISEÑO DE LA PTAP DEL MUNICIPIO DE SOPO -  
CUNDINAMARCA Y RECOMENDACIONES**

**ALVARO JOSÈ SANTACRUZ BEDOYA**

**ROBINSON VILLAMIL ROJAS**

**Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.**

**ASESOR: LAURA PULGARIN MORALES**

**INGENIERO AMBIENTAL, MSC.**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – AÑO 2019**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:

Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá D.C., noviembre de 2019.

## Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, esposas, hijos y familiares que con su paciencia y apoyo hicieron posible limitar su tiempo de hogar para que pudiéramos adelantar las labores académicas.

## Agradecimientos

Agradecemos a nuestros maestros y compañeros, así como las directivas del prestigioso claustro universitario con quienes pudimos adquirir valiosos conocimientos y experiencias para dar aportes a la Ingeniería en los temas de manejo del recurso hídrico y así coadyuvar para generar un mejor país

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO .....</b>	<b>16</b>
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1 <i>Antecedentes del problema</i> .....	16
1.2.2 <i>Pregunta de investigación</i> .....	16
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4 HIPÓTESIS .....	17
1.5 OBJETIVOS.....	18
1.5.1 <i>Objetivo general</i> .....	18
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	18
<b>2 MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>19</b>
2.1 ELEMENTOS CONCEPTUALES ASOCIADOS A PLANTAS DE TRATAMIENTO .....	19
2.1.1 <i>Clasificación general de las PTAP</i> .....	20
2.1.2 <i>Elementos constitutivos de una Planta Convencional</i> .....	21
2.1.3 <i>Cualidades esperadas del agua tratada</i> .....	25
2.1.4 <i>Criterios de determinación de ciclos en el tratamiento en una planta convencional</i> .....	26
2.1.5 <i>Criterios generales de diseño</i> .....	28
2.2 MARCO TEÓRICO FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	29
2.2.1 <i>Componentes de la PTAP de Sopo</i> .....	30
2.2.2 <i>Cambios del terreno sobrevinientes al inicio del contrato de obra</i> .....	31
2.3 MARCO JURÍDICO.....	33
2.4 MARCO GEOGRÁFICO.....	35
2.5 MARCO DEMOGRÁFICO.....	35
2.5.1 <i>Datos censales</i> .....	35
2.5.2 <i>Distribución poblacional</i> .....	36
2.6 ESTADO DEL ARTE .....	39
<b>3 METODOLOGÍA.....</b>	<b>40</b>

3.1	FASES DEL TRABAJO DE GRADO .....	40
3.1.1	<i>Fase de descripción general de la tipología de obra</i> .....	40
3.1.2	<i>Fase de establecimiento de la condición actual de la PTAP</i> .....	40
3.1.3	<i>Fase de intervención de las disciplinas asociadas al proyecto</i> .....	40
3.1.4	<i>Fase de determinación de soluciones y generación de productos</i> .....	41
3.2	INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS .....	41
<b>4</b>	<b>CONDICIONES AMBIENTALES DEL PROYECTO .....</b>	<b>42</b>
4.1	ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	43
4.1.1	<i>Geología local</i> .....	44
4.1.2	<i>Geología estructural</i> .....	45
4.2	ASPECTOS DE MEDIO AMBIENTE .....	45
4.2.1	<i>Clima</i> .....	46
<b>5</b>	<b>ESTUDIOS PTAP – SOPO PARA LA EJECUCIÓN DEL CONTRATO DE OBRA .....</b>	<b>49</b>
5.1	DISEÑOS ELÉCTRICOS.....	49
5.2	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.....	50
5.3	DISEÑOS ESTRUCTURALES .....	51
5.4	DISEÑO HIDRÁULICO .....	52
5.5	DOCUMENTOS GENERALES DEL PROCESO I.....	53
5.6	DOCUMENTOS GENERALES DEL PROCESO II .....	54
5.7	CONTRATO PARALELO .....	54
<b>6</b>	<b>MODIFICACIONES Y AJUSTES A LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS .....</b>	<b>59</b>
6.1	RELOCALIZACIÓN GENERAL DE LA PTAP Y SUS OBRAS ANEXAS .....	59
6.1.1	<i>Resultados de los estudios de suelos</i> .....	59
6.1.2	<i>Cota de inundación</i> .....	61
6.1.3	<i>Sistema de drenaje general</i> .....	61
6.2	ELEMENTOS DE LA PTAP, BOCATOMA.....	67
6.2.1	<i>Cloro residual</i> .....	69
6.2.2	<i>Bacterias coliformes</i> .....	70
6.2.3	<i>Dosis DL<sub>50</sub></i> .....	70
6.2.4	<i>Echerichia Coli</i> .....	70
6.3	DESARENADOR.....	75
6.4	RESERVORIOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO .....	78



6.5	OBRAS ANEXAS A LA PTAP .....	83
6.5.1	<i>Vías internas y acceso al predio</i> .....	84
6.5.2	<i>Puente de acceso al predio</i> .....	89
7	<b>ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO DEL CONTRATO</b> .....	<b>100</b>
8	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>105</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>107</b>
8.1	REFERENCIAS VIRTUALES .....	108
	<b>APÉNDICES</b> .....	<b>110</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>111</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1. Modelo de una planta de tratamiento de agua potable</b>	<b>21</b>
<b>Figura 2. Modelo de una bocatoma típica.</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3. Modelo de tanques de filtración rápida.</b>	<b>24</b>
<b>Figura 4. Corte longitudinal. Plano inicial de la PTAP del Municipio De Sopo.</b>	<b>30</b>
<b>Figura 5. Registro fotográfico donde se pueden apreciar los cambios de área del proyecto.</b>	<b>31</b>
<b>Figura 6. Cambio en la sección transversal del Río Teusacá.</b>	<b>33</b>
<b>Figura 7. Localización del proyecto.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 8. Distribución de habitantes</b>	<b>36</b>
<b>Figura 9. Inversión servicios públicos.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 10. Actividades económicas.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 11. Amenazas y desastres.</b>	<b>38</b>
<b>Figura 12. Cobertura servicios públicos.</b>	<b>39</b>
<b>Figura 13. Geología Regional.</b>	<b>43</b>
<b>Figura 14. Geología del proyecto.</b>	<b>44</b>
<b>Figura 15. Isoyetas medias anuales.</b>	<b>46</b>

<b>Figura 16. Distribución mensual de precipitaciones y temperaturas medias multianuales.</b>	<b>47</b>
<b>Figura 17. Predio del proyecto inundado año 2012.</b>	<b>53</b>
<b>Figura 18. Área disponible luego de la obra hidráulica.</b>	<b>55</b>
<b>Figura 19. Plano en planta de la implantación del proyecto de la PTAP.</b>	<b>56</b>
<b>Figura 20. Perfil de los suelos de la PTAP.</b>	<b>60</b>
<b>Figura 21. Plano en planta de la nueva implantación de la PTAP.</b>	<b>63</b>
<b>Figura 22. Plano en corte longitudinal PTAP.</b>	<b>66</b>
<b>Figura 23. Bocatoma lateral.</b>	<b>72</b>
<b>Figura 24. Corte longitudinal de la bocatoma.</b>	<b>74</b>
<b>Figura 25. Elementos de tratamiento de la PTAP.</b>	<b>78</b>
<b>Figura 26. Esquema sistema de filtración de la PTAP.</b>	<b>81</b>
<b>Figura 27. Modelo de Zonas de parqueo, vías y patios de maniobra.</b>	<b>85</b>
<b>Figura 28. Pendientes longitudinales del lote y la vía.</b>	<b>86</b>
<b>Figura 29. Flujo de las aguas del lote.</b>	<b>87</b>
<b>Figura 30. Bombeo aguas internas.</b>	<b>88</b>
<b>Figura 31. Puente definitivo de acceso al predio.</b>	<b>89</b>
<b>Figura 32. Puente de acceso provisional al predio.</b>	<b>90</b>
<b>Figura 33. Localización y datos de caudales para estimación de la socavación.</b>	<b>91</b>

<b>Figura 34. Resultados modelo hidráulico CAR en las abscisas del puente.</b>	<b>92</b>
<b>Figura 35. Modelación hidráulica para 50 y 100 años.</b>	<b>97</b>
<b>Figura 36. Construcción de tanques de desinfección y agua potable.</b>	<b>100</b>
<b>Figura 37. Construcción de desarenador.</b>	<b>101</b>
<b>Figura 38. Construcción de lecho de lodos.</b>	<b>102</b>
<b>Figura 39. Construcción de vías internas.</b>	<b>102</b>

#### **LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1. Análisis físico – químico PTAP – SOPO.</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 2. Elementos y compuestos indeseables en agua tratada.</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 3. Análisis hidráulico de bombeo.</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 4. Potencia Teórica de la bomba</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 5. Cálculo del sistema de abatimiento de aguas freáticas</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 6. Análisis Hidráulico</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 7. Datos de análisis de caudales.</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 8. Cálculo de socavación.</b>	<b>98</b>

## RESUMEN

Teniendo en cuenta que la Universidad brinda el espacio académico para participar de manera directa sobre proyectos que se ejecutan en el campo de la Ingeniería, específicamente en el área de recursos hídricos, el presente proyecto se centra en una problemática real en la cual uno de los autores se ha encontrado inmerso. Se trata del contrato de obra de la construcción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Sopo – Cundinamarca. Desde mediados del año 2018, se firmó su inicio y luego de ello se encontraron una serie de anomalías e irregularidades, tanto en los diseños, como en las circunstancias propias del terreno que lo hicieron inviable desde el punto de vista técnico. Es por ello que el contratista de obra adquirió la labor de revisión de una consultoría a fin de poder dar curso al proceso contractual. En este informe, se hará una descripción general del proyecto, los factores sobrevinientes y las actividades que se dieron para conseguir viabilizar la obra e invertir el recurso disponible. Aunque existen procedimientos de cálculo de los diferentes constitutivos del proyecto, el objetivo no es hacer un diseño o rediseño de la planta, únicamente un chequeo general y ajustes a algunos elementos basados en parámetros iniciales

Palabras clave: PTAP, Tratamiento de agua potable, Acueducto, Sistema de tratamiento de agua.

## **ABSTRACT**

Considering that the Catholic university gives the space to participate directly on projects that are executed in the field of Engineering, specifically on the water resources area, this project deals with a real problem in which one of the authors have been involved. The construction of the Drinking Water Treatment Plant of the Municipality of Sopo. Since the middle of 2018, the project began but a series of anomalies and irregularities were found, both in the designs and in the soil stability, that made it unfeasible from the technical point of view. Therefore, the company in charge of the project decided to hire a consulting company in order to be able to carry out the contractual process. In this study, there will be a general description of the project, the supervening factors and the activities that were carried out to make the work feasible. Although there are calculation procedures for the different constituents of the project, the objective is not to design or redesign the plant, only a general check and adjustments to some elements based on initial parameters.

Keywords: PTAP, Drinking water treatment, Water Distribution System, Water Treatment System.

## INTRODUCCIÓN

La contratación en Colombia es un proceso dinámico, en el que se evidencian cambios de normas y leyes de manera constante, así mismo, está tiene debilidades como: sobrecostos por errores de diseño y otros factores adicionales que podrían establecer un importante punto de aplicación para la gestión académica de los trabajos de investigación de las universidades. En este caso particular, se muestra el desarrollo de un proceso de gestión de cambios nace de prácticas de la gestión pública y circunstancias adversas que se dieron en la construcción de la Planta de Tratamiento del Municipio de Sopo, en el Departamento de Cundinamarca.

Es importante tener en cuenta que la mayor parte de los municipios colombianos no cuentan con este tipo de infraestructura ya que no existen recursos disponibles para construir estas obras a este nivel de la Administración nacional. Lo anterior debido a que se requieren cuantiosas inversiones y este tipo de proyectos conllevan diferentes dificultades técnicas. Sin embargo, gracias a las redes de acueducto que se extiendes desde centros poblados de mayor envergadura la cobertura alcanza hasta un “92 % en acueducto y 88.2% en alcantarillado”. (DANE, Estadísticas nacionales, 2018). Con lo cual cerca de 3.6 millones de habitantes no cuentan con servicio de agua y 5.6 millones alcantarillado. De esta forma es un recurso básico que debe ser atendido de manera adecuada y los recursos aplicables a cada proyecto invertidos de manera eficiente.

El proyecto que se está analizando tiene una historia de fracasos en referencia a los procesos contractuales previos que se hicieron extensibles a nuestra época y que desde hace más de una década han imposibilitado a la población de Sopo de su planta de Abastecimiento. Sobre este proyecto existen procesos jurídicos en curso y conflictos técnicos que hasta el momento de la realización de este proyecto han evitado una ejecución adecuada de su construcción.

Dado el escenario descrito anteriormente, los autores de la presente investigación aplicada conforman el presente documento a través del cual se hace el análisis integral de los

documentos entregados por la entidad contratante al contratista para la ejecución del contrato de obra y establecen una gestión de cambios destinada a redireccionar los estudios y diseños, así como las circunstancias sobrevinientes hacia el camino de poseer una herramienta de consultoría mucho más eficiente la cual serviría de base para la materialización del proyecto.

El desarrollo del presente informe está constituido por cuatro capítulos, el primero hace referencia a la explicación general del proyecto, las circunstancias sociales y ambientales del mismo y los aspectos técnicos. En el segundo capítulo se detallan las anomalías sobrevinientes al proceso y su efecto sobre el desarrollo de este. En un tercer capítulo, núcleo del trabajo, se enfoca en el desarrollo de las modificaciones y adecuaciones que se hicieron a fin de conseguir viabilizar nuevamente el proyecto. En un cuarto y último capítulo, da la solución al problema planteado.

Básicamente el problema que se trata de resolver es: iniciado con un proceso contractual de ejecución de la construcción de la PTAP del Municipio de Sopo y encontradas unas anomalías sobrevinientes al proceso, ¿Cuál es la manera más efectiva de ajustar el proyecto inicial a las condiciones actuales de la obra a fin de conseguir el objetivo final, que es suministrar el servicio de agua potable a una población de más de 25 mil habitantes?.



# 1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

## 1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Saneamiento de comunidades (Aguas)

Temática Recursos Hídricos                      Plantas de tratamiento

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.2.1 Antecedentes del problema

1. Luego de recibidos los estudios y diseños para la ejecución del contrato de obra se detectaron una serie de anomalías en los productos constitutivos de la consultoría que no permitían efectuar los trabajos de campo por falta de claridad en planos, memorias de cálculo y documentos. Todo ello asociado a la Topografía, hidrología, geotecnia y otros elementos necesarios para construir el proyecto.
2. Luego de la firma del Acta de inicio del contrato de ejecución de la obra de la PTAP, la CAR (Corporación Autónoma Regional) inicio un contrato paralelo que implicaba el dragado del Río Teusacá y el lote donde se tenía previsto dar inicio a la construcción de la obra, por esta razón se agregó un nuevo factor que agravo la situación del inicio y se incrementó la incertidumbre acerca de la pertinencia de los estudios y diseños.

### 1.2.2 Pregunta de investigación

¿De qué manera se estructuraran y adecuaran los estudios y diseños del proyecto “PTAP del Municipio de Sopo en el Departamento de Cundinamarca, para conseguir un producto que pueda ser utilizado para ejecutar el contrato de obra luego de detectadas las falencias de la consultoría y el cambio de la zona de trabajo a fin de conseguir el objetivo final, que es suministrar el servicio de agua potable a una población de más de 25 mil habitantes?.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Se trata de un tema cuyo proyecto hace parte de la infraestructura de servicios públicos básicos de las Comunidades Colombianas y cuyos resultados pueden ser aplicables, en determinadas circunstancias, a proyectos de la misma naturaleza.

Desde el punto de vista académico, el tema tratado en este documento hace parte del área disciplinar de la especialización, en aspectos como: Hidrología, Hidráulica y Plantas de tratamiento.

Desde el punto de vista de la oportunidad, es tal vez, la circunstancia más relevante y adecuada ya que el trabajo realizado sobreviene a un hecho real en el que uno de los autores está participando de manera activa en la solución de la problemática planteada. El factor tiempo y espacio se conjugan para configurar un producto académico que impacta de manera directa y positiva la filosofía de una tesis de investigación aplicada que incide directamente sobre la solución de un problema real.

### **1.4 HIPÓTESIS**

Teniendo en cuenta los factores antes señalados, la problemática y condiciones del problema planteado, la hipótesis de trabajo será:

Con la revisión, ajuste y chequeo de los procesos establecidos en los estudios iniciales del contrato se podrá poner en marcha la ejecución de las obras de construcción de la PTAP de Sopo sin necesidad de efectuar diseños nuevos y con ello se podrá cumplir con el objetivo de entregar una obra capaz de suministrar el agua potable a la comunidad del Municipio.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo general**

Establecer los procesos y procedimientos utilizados para ajustar los estudios y diseños de la Planta de Tratamiento del Municipio de Sopo a fin de que sirvan de base como documentos de consultoría para la ejecución de los trabajos de campo.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

1. Hacer un análisis de la información técnica inicial del proyecto PTAP.
2. Establecer los diferentes factores que hacen parte de las anomalías que no permitieron la ejecución del proyecto de obra.
3. Analizar la incidencia de los factores expuestos en cada uno de los elementos que hacen parte de la PTAP.
4. Establecer los procesos y procedimientos hechos por los especialistas para ajustar los estudios y las actividades de campo que permitieron viabilizar la ejecución de las obras de construcción de la PTAP.
5. Elaborar el documento final con las conclusiones y recomendaciones.

## **2 MARCO CONCEPTUAL**

El propósito de tratar el agua es servir para las diferentes aplicaciones que el hombre le da a este líquido; consumo directo, como insumo para el procesamiento de alimentos, para el procesamiento de bienes industriales, hospitalarios, para la limpieza de diferentes elementos con uso de detergentes y una infinidad de usos que requieren de un líquido con determinadas condiciones físico químicas.

### **2.1 ELEMENTOS CONCEPTUALES ASOCIADOS A PLANTAS DE TRATAMIENTO**

Las PTAP son montajes concebidos para tomar caudales de agua de fuentes o reservorios especiales y mediante un proceso físico – químico liberar el agua del contenido de elementos disueltos dentro de ella, a fin de conseguir características tales que le permitan ser utilizada y consumida por la comunidad.

El crecimiento exponencial de la población en los últimos cien años han provocado un cambio drástico en el uso del recurso hídrico, la distribución del agua, potencialmente útil para el servicio humano se ha venido diezmando con el crecimiento de la población con el agravante de que el contenido de agua susceptible de ser consumida en la corteza terrestre es cada vez menor, adicionalmente su distribución global no es constante por lo que existen sitios donde se carece de este importante líquido, dificultando la supervivencia de pueblos enteros.

En términos generales, Colombia es un país que cuenta con importantes riquezas hídricas gracias a su naturaleza topográfica con muy pocas excepciones, especialmente localizadas en la zona norte de la Costa Atlántica y algunas regiones del centro del país. No obstante, a lo anterior no toda esta agua puede ser consumida de manera directa y en ocasiones es una vía fundamental para la propagación de infecciones y enfermedades, es por ello que la necesidad de tratarla es inminente.

A continuación, se describen los elementos básicos y la tipología de las instalaciones industriales encaminadas a tratar el agua, los diferentes procesos y secuencias con las cuales debe contar una PTAP para conseguir las calidades suficientes de consumo y utilización por parte del hombre.

### **2.1.1 Clasificación general de las PTAP**

Existen infinidad de tipologías y montajes, desde aquellas pequeñas plantas compactas usadas en las fincas hasta los grandes sistemas de tratamiento usados en ciudades principales, generando toda una gama de clasificaciones asociadas a su tamaño, a los materiales para su construcción, el orden y proceso de tratamiento, al tipo de fuente y esquema de captación, entre otros.

#### ***2.1.1.1 Convencionales o de ciclo completo:***

En las cuales cada proceso se desarrolla en un reservorio diferente, usualmente se emplean cuando el requerimiento poblacional es grande. Los materiales empleados hacen referencia al uso de concretos, aceros y eventualmente paneles de fibrocemento, fibras de vidrio y demás en elementos pequeños del sistema. Los consumos son superiores a los 30 mil litros por hora.

#### ***2.1.1.2 Compactas:***

En este tipo de plantas los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, se desarrollan en una sola unidad y se emplean para bajas demandas de caudal, de 250 a 30 mil litros por hora. Usualmente se emplean materiales sintéticos, fibras y membranas en su fabricación.

### 2.1.1.3 Otras:

Pueden ser modalidades de plantas de las anteriormente mencionadas en las que se implementan procesos especiales de microfiltración, presión, módulos y proceso de tratamiento propio del agua.

En el caso que nos ocupa de la planta analizada, hace parte de la primera tipología de plantas de tratamiento, razón por la cual estableceremos el detalle de los procesos que se dan en estos tipos de plantas. Cabe recalcar que este tipo de montajes es el que más se utiliza en Colombia en las diferentes ciudades y municipios.

### 2.1.2 Elementos constitutivos de una Planta Convencional

En orden, iniciando desde el momento en que se capta el agua hasta que se distribuye, se tienen los elementos generales que pueden ser apreciados en el esquema de la Figura No. 1.

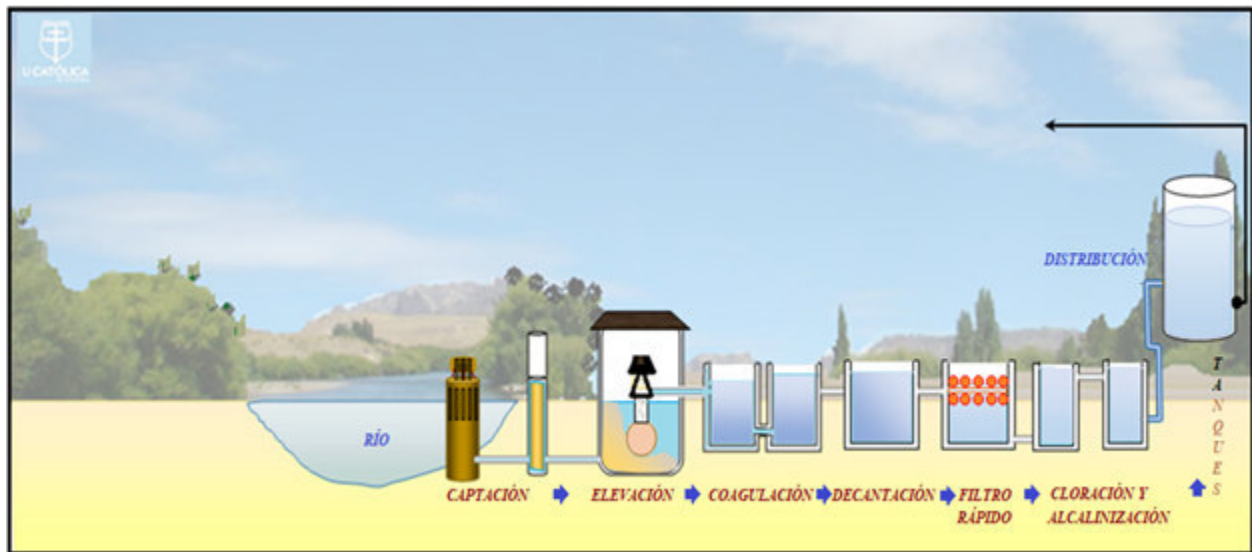


Figura 1. Modelo de una planta de una PTAP.

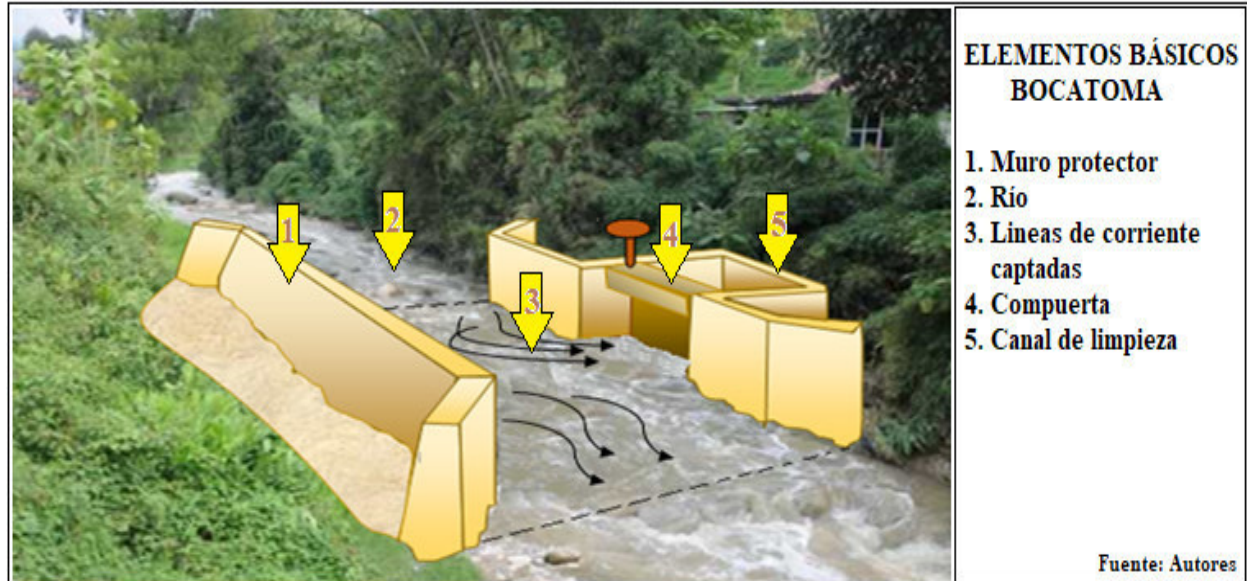
Fuente: Autores

En el proceso de la figura, el ciclo se inicia con una torre captadora, la cual está prevista por un elemento de retención de sólidos, posterior a ella, una cámara de entrada donde se hace un

proceso previo de retención de sedimentos cuando los valores de turbidez son muy altos. Luego, llega a un tanque de elevación donde el agua cruda es bombeada a los tanques de coagulación, allí se le adiciona un químico que facilita este proceso y en los tanques de decantación se da un primer proceso de sedimentación, luego el agua pasa a una cámara de filtración rápida antes de llegar a la depuración química mediante cloro y cal, de donde es bombeada o conducida a los tanques de distribución. A continuación, se describirán cada una de las unidades fundamentales del sistema para una PTAP convencional.

### 2.1.2.1 Captación - Bocatoma:

La bocatoma es la estructura hidráulica destinada a tomar la llamada agua para el tratamiento “agua cruda” del canal, lago o el mar, el objetivo de este elemento es tomar de manera directa o mediante elementos de desvío un determinado caudal de la fuente, si es posible retener algunos elementos de gran tamaño, rocas palos y demás y conducirla a un determinado sitio a fin de ser bombeada lo trasladada a los otros elementos de la planta.



**Figura 2. Modelo de una bocatoma típica.**

En la Figura de puede observar un ejemplo claro del sistema de captación lateral en el cual mediante una canalización del cauce del río se obliga a que parte de la corriente penetre

dentro de la bocatoma de manera regulada ya que existe una compuerta para la modulación del caudal. Luego de ella existen una serie de trampas o rejillas que retienen los sólidos ya mencionados.

Básicamente y dependiendo de la naturaleza de lecho estas estructuras deben ser previstas por aditamentos que buscan captar un determinado volumen de agua en las condiciones de limpieza lo más adecuadas posibles y bajo un régimen de flujo adecuado, en este sentido se pueden encontrar dentro de los elementos constitutivos de la captación:

### ***2.1.2.2 Impulsión***

En algunas ocasiones, cuando la fuente se encuentra por debajo de la planta es necesario obligar a subir el líquido mediante bombeo, a esta fase del proceso se le conoce como impulsión, luego de lo cual el líquido se incorpora a los demás procesos secuenciales de la planta.

### ***2.1.2.3 Coagulación y decantación***

Teniendo en cuenta que el proceso físico de sedimentación se limita a determinados tamaños y clases de partículas es necesario forzar la precipitación de aquellas partículas minúsculas, del orden de micras, que por su composición química y su tamaño permanecen suspendidas en el agua, estas partículas pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica, desde el punto de vista molecular esta característica físico químicas se refleja en una especie de estado de equilibrio coloidal en que las carga eléctrica y las fuerzas de Van der Waals, provocan una repulsión entre estas partículas.

Por lo anterior, es necesario adicionar un agente desestabilizante de dicho estado y para obligar a las partículas a agolparse en grupos, denominados flóculos, que por su peso se precipitan al fondo del tanque (decantación) y así pueden ser sustraídas del agua cuando, por su peso, se depositan en el fondo del tanque.



### 2.1.2.4 Filtración rápida

El proceso de filtración rápida hace referencia al retiro de algunas partículas del agua tratada, a través de lechos filtrantes. Estos filtros, al ser atravesados por un flujo de agua a velocidades moderadas entre 5 y 50 m/s permiten la formación de una película de organismos biológicos que quedan adheridos a la superficie del mencionado lecho.

Este elemento se coloca con el fin de atrapar aquellas partículas coloidales orgánicas que no son retenidas en los demás procesos de filtración especialmente en procesos superficiales, estos dispositivos están hechos de materiales capaces de retener dichas partículas y en la medida que pasa el tiempo se colmatan y llega un momento en el que deben ser limpiadas mecánicamente a fin de reestablecer su capacidad. Existe una tipología variada de este tipo de filtros, pero básicamente se trata de un tanque que tiene varias recamaras y aditamentos para el flujo de las aguas de entrada, las aguas tratadas y los relaves.

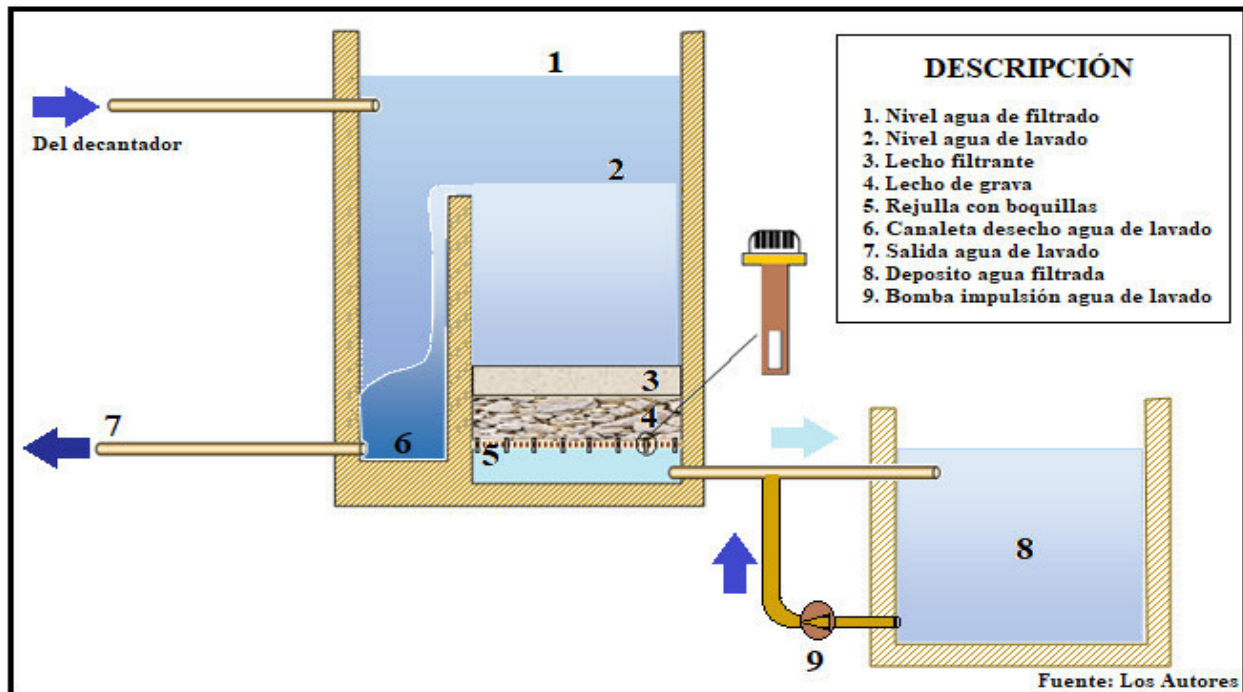


Figura 3. Modelo de tanques de filtración rápida

### ***2.1.2.5 Cloración y alcalinización***

En esta etapa se involucran agentes químicos para la desinfección microbiana, dentro de estos compuestos está el hipoclorito de sodio, dióxido cloro, ozonos y otros compuestos.

Respecto de la cloración es un procedimiento que tiene como objetivo el de desinfectar el agua y mantener esta condición hasta el momento de que sea consumida a kilómetros del sitio donde fue tratada. El tratamiento de potabilización se realiza especialmente con cloruro de cal o cal clorada, con una proporción de 25 a 30% de cloro disponible, hipoclorito de calcio, que se caracteriza por ser un polvo blanco con aproximadamente 70% de cloro disponible, hipoclorito de sodio en forma de solución al 10% de cloro activo. (RAS, Título a, pág.- 59, 2000).

Se conoce como demanda de cloro aquella cantidad del químico resultante entre la cantidad aplicada y la que finalmente permanece luego del proceso de adición y es la que actúa efectivamente atacando las impurezas existentes.

### ***2.1.2.6 Almacenamiento y distribución del agua tratada***

Ya surtidos los pasos anteriormente ilustrados, el agua es confinada dentro de reservorios cerrados herméticamente con los respectivos cuidados que se deben tener con el líquido procesado. Mediante un tanque especial de bombeo, si es necesario, el agua es trasladada a la red de distribución o a tanque más cercanos a los asentamientos urbanos.

## **2.1.3 Cualidades esperadas del agua tratada**

Luego de los procesos efectuados sobre el recurso, el agua tratada debe ser apta para el consumo humano y contar con una serie de características físicas y químicas susceptible de ser evaluadas a través de ensayos de laboratorio dando cumplimiento a los parámetros establecidos por la ley. Dentro de estas características está el olor, el sabor, alcalinidad, entre otros.

Los sabores y olores del agua están fuertemente asociadas al medio circundante y a las condiciones de su origen, usualmente estas percepciones se originan por la presencia de algas, descomposición de vegetales, lodos bacterianos, sustancias orgánicas y residuos industriales. Uno de los elementos más utilizados para el control de estas características es filtrar el agua mediante carbón activado, en una proporción de entre 0,24 y 120 g por m<sup>3</sup>.

El pH es una medida fundamental de las sustancias asociadas a hombre y su control resulta ser importante para el control de la degradación de ciertos materiales. Se busca el control del gas carbónico libre mediante la alcalinización del agua.

Así como el agua podría ser un medio de transmisión de enfermedades cuando no es tratada, así también puede ser un vehículo de transporte de elementos que contribuyen a la buena salud, por ejemplo, puede llevar proporciones microscópicas de hierro o de yodo útiles para la función normal de la glándula tiroidea, flúor para la integridad del esmalte dental, entre otros.

La dureza es otra característica especial del agua, el contacto del recurso con las diferentes sales de la corteza terrestre genera procesos de disolución y contenidos de elementos que, como el calcio, el magnesio y otros, establece la característica de dureza del agua, estos elementos se encuentran en forma de bicarbonatos, sulfatos, cloruros o nitratos. Los dos primeros compuestos componen la dureza parcial o momentánea y los segundos la dureza permanente. En este sentido el tratamiento a la dureza es sencillo si es parcial y complejo si es permanente.

#### **2.1.4 Criterios de determinación de ciclos en el tratamiento en una planta convencional**

La variedad de las plantas convencionales, en relación con sus procesos individuales tienen variaciones debido, especialmente a la calidad del agua que captan, es decir, las fuentes de toma del líquido, para solo hablar de corrientes fluviales, presentan algunas variaciones respecto de los sólidos suspendidos, eventualmente la composición química o los elementos disueltos en

el agua, entre otros, requiriendo así algunas variaciones en los dispositivos y esquemas de procesamiento propio de cada elemento. En este sentido, los factores que podrían tenerse en cuenta para la tipificación de la planta podrían ser:

#### ***2.1.4.1 Turbiedad:***

Medida del grado de transparencia del agua con motivo de la presencia de partículas en suspensión. Su unidad de medida según la OMS, es NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), siendo el nefelómetro el instrumento que a través de la intensidad de la luz que pasa por una muestra de agua, mide este factor. Esta medida puede ser empleada para establecer una correlación entre la turbidez y las partículas totales en suspensión de una muestra de agua.

#### ***2.1.4.2 Contenidos de hierro o magnesio:***

Se establece igualmente unos niveles estándar de contenidos de Fe o Mg, (Fe > 0.3 mg/lit y/o Mg 0.05 mg/lit) y en el agua para establecer los tipos de filtración del agua. (RAS, Título a, pág.- 59, 2000).

Los criterios antes mencionados determinan si las plantas poseen o no un determinado número de pasos que permiten efectuar el tratamiento de manera adecuada, en términos generales la presencia o no de los metales y el incremento de la turbidez del agua establecen una mayor cantidad de elementos para mitigar la presencia de dichas concentraciones. En este sentido de menor a mayor se tiene:

#### ***2.1.4.3 Plantas tipo 1:***

En las cuales la turbiedad en menor a 10 UNT, si existen concentraciones superiores a las establecidas para el Fe o Mg, se debe implementar un módulo de mezcla rápida de coagulante por difusión mediante bombeo a través de un canal y sistema de filtración de gravedad con capas de arena y antracita doble.

Plantas tipo 2: Cuando las concentraciones de partículas en suspensión reflejan medidas de nefelometría entre 10 y 250 UNT, es necesario implementar sistemas de floculación y sedimentadores de placas paralelas adicionales a proceso de filtrado.

Plantas tipo 3: En este caso se trata de aguas con características de turbidez superiores a 250 UNT. En este caso antes del dispositivo de mezcla rápida se instala un pre decantador para la floculación.

### **2.1.5 Criterios generales de diseño**

El criterio más importante para el diseño de una planta de tratamiento es el caudal de operación, una planta convencional maneja caudales superiores a los 60 l/s, la planta que se analiza en este documento está diseñada bajo las siguientes características:

- a. Caudal de operación mínimo de 70 l/s y máximo de 140 l/s.
- b. Turbidez 11 UNT.
- c. Contenido de Mg = 2,41 mg/l
- d. Contenido de Fe = 1,01 mg/l

Dentro de los criterios de diseño se debe tener en cuenta que las concentraciones de Fe y Mg superiores a 0,3 y 0,1 mg/l, respectivamente requieren adición de oxidantes previo a la mezcla rápida.

En cuanto al dimensionamiento hidráulico se deben tener en cuenta las conexiones de los elementos de la planta los cuales se deben hacer a través de tuberías. La velocidad de diseño de las tuberías de una planta convencional es de 1,0 m/s. Igualmente en entradas y salidas de la planta se deben implementar cajas de control con tiempo de retención de 10 s y profundidad de 1,0 m.

Entre los elementos hidráulicos a considerar se deben tener en cuenta, además de las conexiones y la cámara de llegada y salida, las unidades de mezcla rápida, que pueden ser canales de pendiente o rampa, canaletas Parshall, vertederos rectangulares y triangulares, difusores o inyectores, un criterio es el de utilizar canaleta Parshall para turbiedades menores a 250 UNT.

Respecto del floculador hidráulico, este elemento se utiliza para turbiedades mayores a 10 UNT, con los determinados criterios de dimensionamiento. De la misma forma para esta turbidez se emplea un desecador. Las plantas convencionales deben utilizar filtros rápidos, el lavado de los filtros se hace por relavado.

Respecto de las obras de construcción, en este caso participan ramas de la ingeniería civil como son el cálculo o diseño estructural, la geotecnia y los procedimientos de planeación y estrategias de movimiento de los equipos, aditamentos, tuberías, elementos eléctricos y demás

## **2.2 MARCO TEÓRICO FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

El este numeral se establece el marco teórico a través del cual se desarrollarán los procesos de gestión de cambios que hacen referencia a las anomalías que se dieron con el inicio de la ejecución del contrato de construcción de la PTAP

Se trata de una planta convencional que fue concebida para abastecer a cerca de 25000 habitantes del Municipio de Sopo, capta sus aguas del Río Teusacá, siendo uno de los afluentes más importantes del Río Bogotá en lo que respecta al norte de la sabana, fue diseñada para un caudal de más de 70 lt/s, correspondiente a algo más del 50% del caudal autorizado por la CAR y esto se debe a que tiene la versatilidad de trabajar de manera parcial, es decir al 50%, a fin de realizar mantenimientos sobre sus instalaciones sin necesidad de entorpecer su funcionamiento ya que los tanques de floculación y desinfección están divididos en dos partes y sus bombas tienen la posibilidad de ser apagadas de manera independiente a fin de que solamente funcione la mitad de dichos procesos.

## 2.2.1 Componentes de la PTAP de Sopo

Los siguientes son los componentes básicos que los estudios iniciales arrojaron en el diseño de la planta de tratamiento:

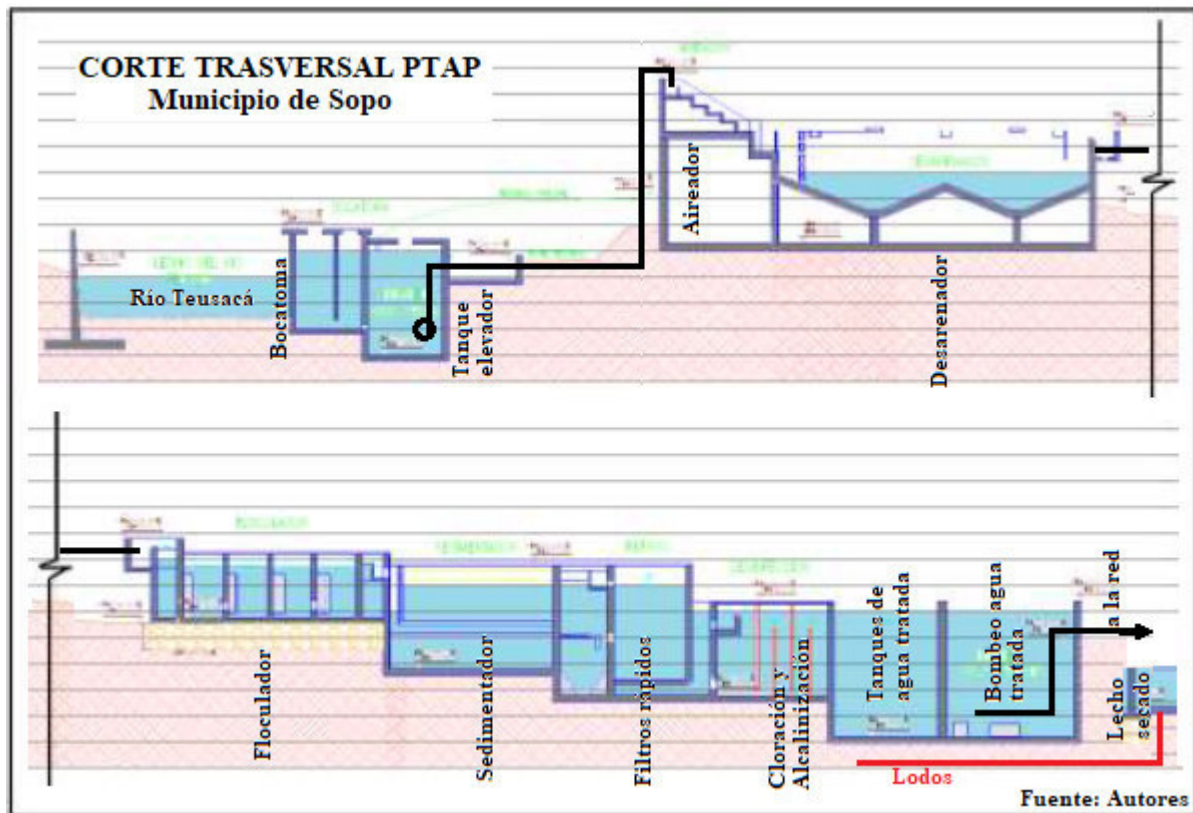
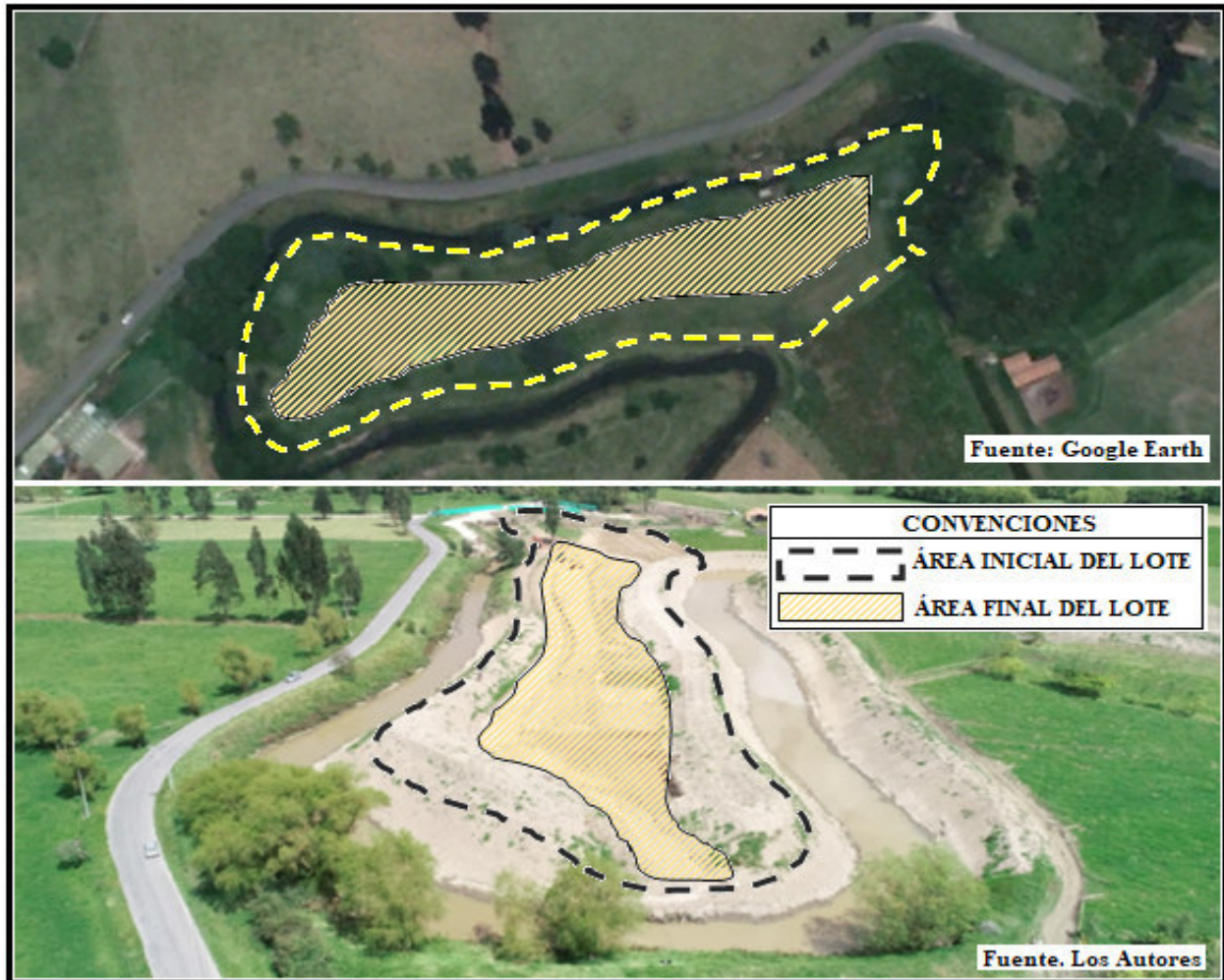


Figura 4. Corte longitudinal. Plano inicial de la PTAP del Municipio De Sopo.

En el corte longitudinal del plano se pueden apreciar los componentes del sistema de tratamiento de agua, inicialmente la bocatoma lateral, posteriormente un tanque de bombeo de elevación, un aireador, desarenador, pasa al floculador, sedimentador, filtros rápidos, cloración y alcalinización, tanques de agua tratada y tanques de bombeo encargados de impulsar el agua tratada a un tanque elevado de abastecimiento de la población. En la parte inferior derecha, como parte de la planta el lecho de lodos encargado de la captación de los desechos del proceso.

### 2.2.2 Cambios del terreno sobrevinientes al inicio del contrato de obra.

El problema nace con el paralelismo de dos contratos de obra pública dentro de la misma zona de intervención del proyecto ya que la CAR dio inicio a la adecuación de las protecciones hidráulicas del Río Teusacá en el sitio de la planta.



En la figura 5, parte inferior, se observa el cambio drástico que sufrió el terreno luego de la ejecución del contrato de la CAR, su reducción tubo un doble efecto; el primero el de la necesidad de una reestructuración del proyecto por las interferencias y el segundo la liberación de cualquier responsabilidad del consultor por el cambio de las condiciones del terreno.



### 2.2.2.1 Cambio en los aspectos geométricos del terreno

Respecto del primer factor establecido, el cambio de la geometría del terreno, su área disminuyó en cerca del 50%, resultando afectadas la Bocatoma, el desarenador, las vías de circulación y las edificaciones administrativas y de laboratorios.

### 2.2.2.2 Cambio en la sección transversal del Río Teusacá

Otros elementos asociados al cambio de la geometría, hace referencia al cambio de la geometría del cauce del Río ya que la sección transversal sufrió un ensanchamiento y el dragado una profundización del mismo, con lo cual, los parámetros hidráulicos del cauce cambiaron y así algunos elementos de cálculo para el manejo de caudales, velocidades y la captación del agua.

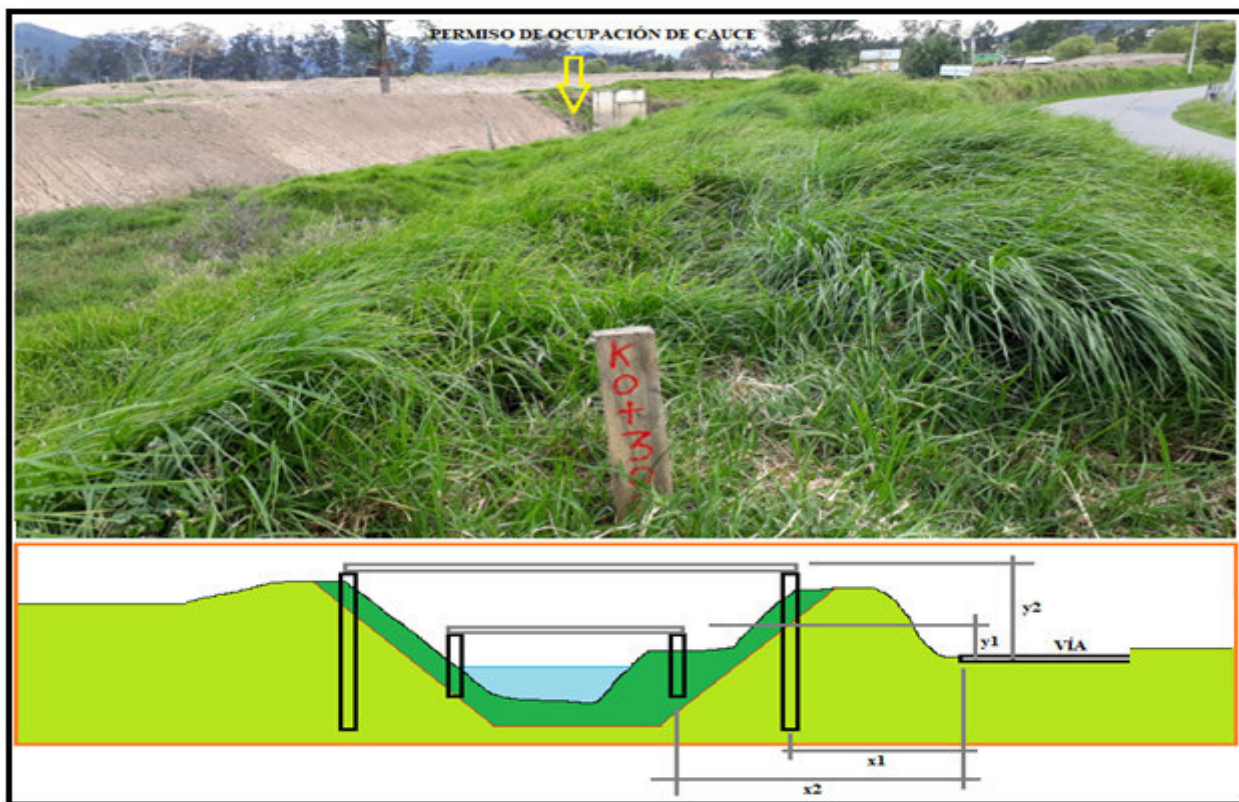


Figura 6. Cambio en la sección transversal del Río Teusacá.

En la Figura 6, se observa un cambio de las cotas de fondo del río, posiblemente en variables como la velocidad, las cotas de lámina del río para los diferentes periodos de retorno

con los cuales fueron calculadas las estructuras, en el mismo caso del puente los valores estimados para su galibo, para su socavación, implantación de cimientos y demás cambiaron completamente.

Como se mencionó anteriormente el inicio de la ejecución del contrato estableció un insumo de consultoría inapropiado para la ejecución del proyecto y cualquier posibilidad de repetición o reclamación ante la empresa consultora desapareció con el cambio de las condiciones iniciales del terreno, es así como se constata la desorganización y falta de planeación de las entidades estatales y el desdén con que se manejan los recursos del Estado. Igualmente, el grupo de contratista quedo involucrado en una coyuntura que de alguna forma se concilio a fin de poder cumplir con la aplicación de los recursos disponibles y se abrió la oportunidad para adecuar algunos de los elementos relacionados con la consultoría de soporte.

Por lo anterior, los ajustes a los estudios y diseños se prolongaron por un (1) año, la falta de comunicación y la indecisión de las entidades involucras se demoraron para reestablecer las condiciones contractuales y fueron necesarias una gran cantidad de reuniones para dar paso a los ajustes, que, pasado el año del inicio, se siguen dando.

Es por esta razón, que el presente documento establece la manera como se ha venido desarrollando el proceso de ajuste, las consideraciones de tipo técnico en las áreas de hidrología, hidráulica, geología, geotecnia, presupuestos y programación a fin de ajustar los productos a la situación real del proyecto.

### **2.3 MARCO JURÍDICO**

Dentro del contexto jurídico de las normas y leyes asociadas a la construcción de este tipo de obras de ingeniería de interés prioritario se deben tener en cuenta las siguientes:

Decreto 1575 del 09 de Mayo de 2007: A través del cual el Ministerio de la Protección Social junto con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establecen el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, con el propósito de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.

Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007 Mediante la cual los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, establecen las características de calidad del agua para consumo humano, se disponen para todo el territorio colombiano, por lo que se deben acatar en todo sistema de abastecimiento de agua potable.

Resolución 0811 del 05 de Marzo de 2008 En la que los Ministerios de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, fijan los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.

Resolución 1096 del 17 de Noviembre del 2000 El Ministerio de Desarrollo Económico adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Resolución 1096 / 2000). Documento en que se señalan los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias que adelanten las Entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto, alcantarillado y aseo o quien haga sus veces

Resolución 000082 de 2009: Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.

## 2.4 MARCO GEOGRÁFICO

El proyecto se encuentra localizado en el Departamento de Cundinamarca a las afueras del casco urbano municipal, a unos metros del Puente Adobes, como indica la Figura. 7, se trata de una zona de en la que se desarrollará el proyecto de servicio público de la Planta de Tratamiento de agua potable (PTAP), del Municipio de Sopo. El eje está ubicado en las coordenadas geográficas latitud: 4°53'11.93"N y longitud: 73°57'46.83"Oa 2562 metros sobre el nivel del mar.



Figura 7. Localización del proyecto

El acceso a esta zona se puede dar, por la carretera Sopo La Calera en cerca de 900 m por el desvío que conduce a la vereda el Chuscal a cerca de 2 kilómetros sobre la margen izquierda del Puente Adobes.

## 2.5 MARCO DEMOGRÁFICO.

### 2.5.1 Datos censales

- Departamento: Cundinamarca

- Código Municipal: 25758
- Región: Centro Oriente
- Sub región: Sabana Centro
- Entorno e desarrollo (DNP). Robusto
- Categoría Ley 617 de 2000: 3
- Superficie: 113 km.
- Población: 28.518 habitantes
- Densidad de población: 252,4 Hab. /km 2

### 2.5.2 Distribución poblacional

La distribución des-agregada por sexo de la Población del Municipio se encuentra distribuida en un 46,6% hombres y 50,4% mujeres con una tendencia similar pero algo baja a la que presenta el territorio nacional, en cuanto a su distribución por edades se observa una aportante tendencia de población joven con más del 40% menor a 40 años, con cerca del 15% menores de edad. Figura 8.

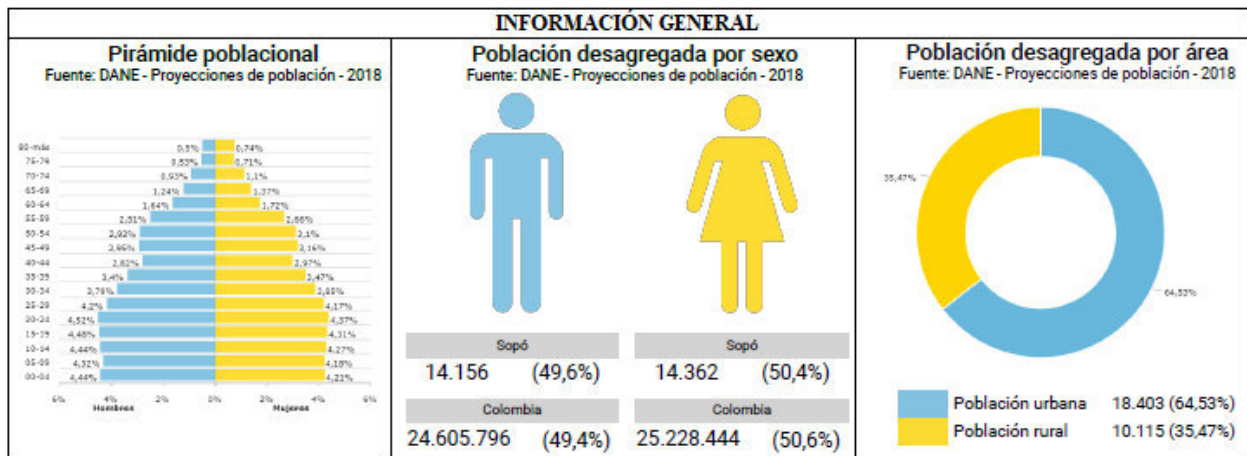
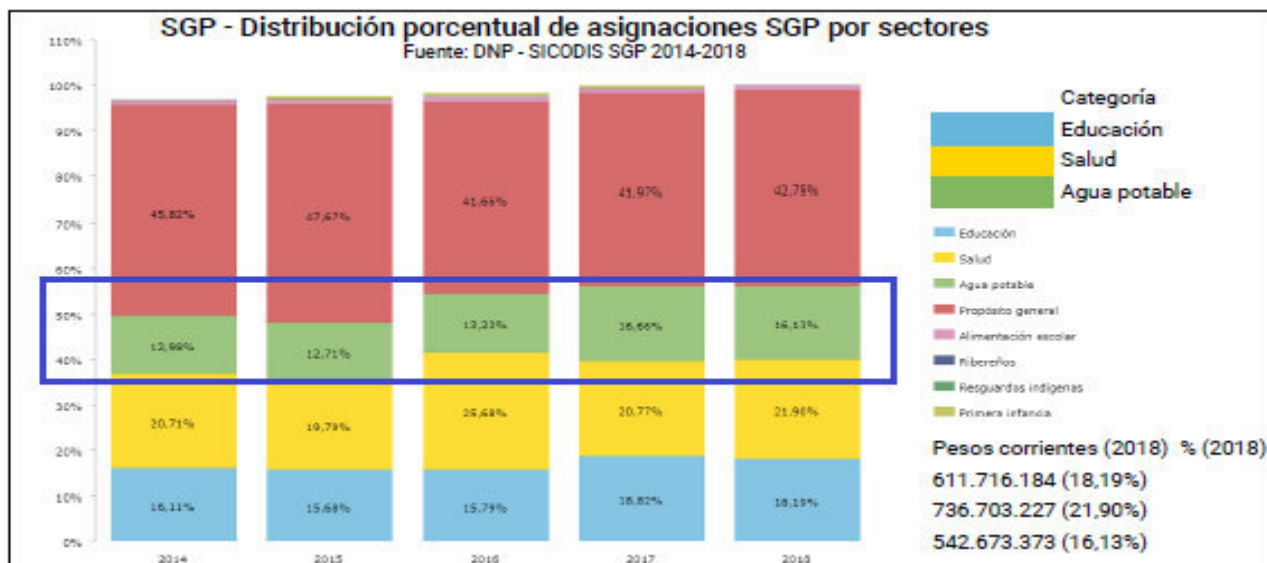


Figura 8. Distribución de habitantes

Fuente: TERRIDATA - DNP

En la Figura 8 se puede establecer que desde el punto de vista de las distribuciones poblacionales rural y urbana es mayor la última con cerca del 64,5% del total, con cerca de 18.403 habitantes en los cascos urbanos municipales y 10.115 en zonas rurales.





**Figura 9. Inversión servicios públicos**

**Fuente: TERRIDATA - DNP**

En cuanto a las inversiones en servicios públicos de los últimos años, tal como aparece en la Figura 9, se observa una tendencia a incrementar la inversión en el saneamiento básico de agua potable, de 12,98% a 16,13% en el 2018, año en el cual se encuentra establecida la inversión asociada al proyecto al cual se hace seguimiento en el presente informe.

En lo que hace referencia a las actividades económicas del Municipio, la Figura 10 discrimina los sub sectores de las actividades económicas y los porcentajes de ellas dentro del conjunto de la economía regional.



**Figura 10. Actividades económicas**

**Fuente: TERRIDATA - DNP**

La actividad económica fundamental de los municipios de esta zona del Departamento y en especial de Sopo está fuertemente inclinada a la industria manufacturera que ocupa algo más del 60% del valor total, seguida por la construcción, servicios sociales y personales y los establecimientos financieros, especialmente.

En cuanto hace referencia a las potencialidades de amenazas naturales, especialmente asociados a los riesgos hidrometeorológicos se puede establecer el evento de inundación como el fundamental dentro de la gama de riesgos y este hecho es un especial factor que tiene impacto sobre el proyecto de la Planta de Tratamiento ya que incide directamente en los procesos de adecuación que han venido adelantándose dentro del marco de seguimiento del presente informe. Figura 11.

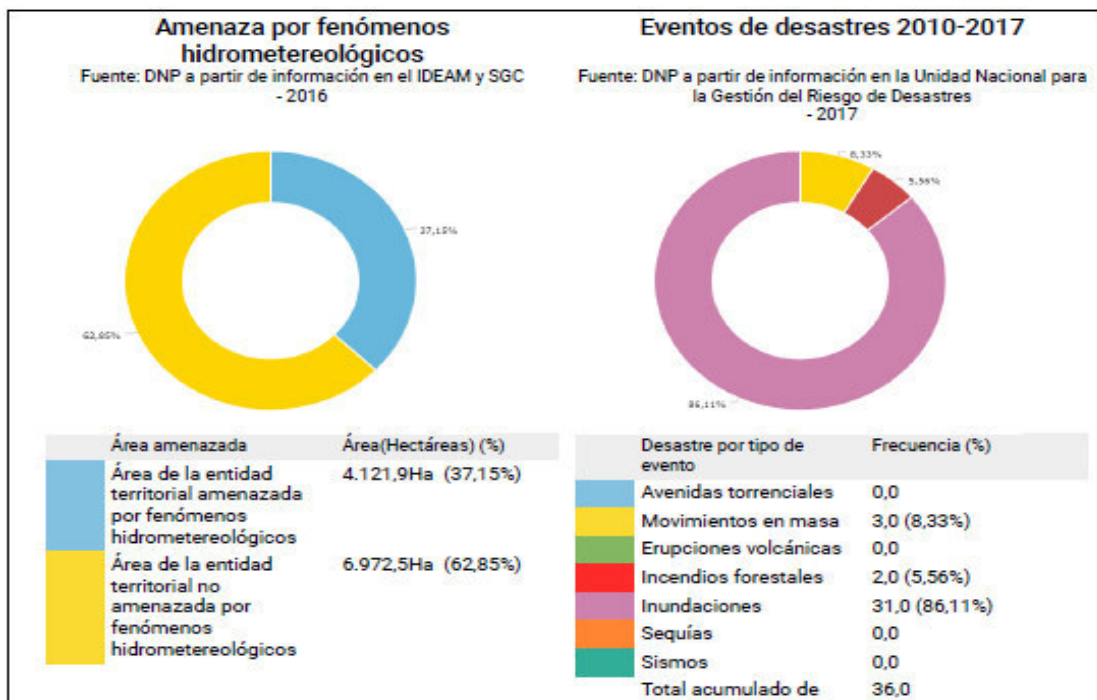


Figura 11. Amenazas y desastres

Fuente: TERRIDATA - DNP

La cobertura de servicios públicos municipales a partir de los datos registrados en el censo de 2015, Figura 12, establecen una cobertura en acueducto del 95,5% que es superior al

promedio departamental del 81% y nacional del 83,4%. En el censo del 2016, este valor se atenúa disminuye al 89,3% pero sigue siendo superior a los promedios departamental y nacional.

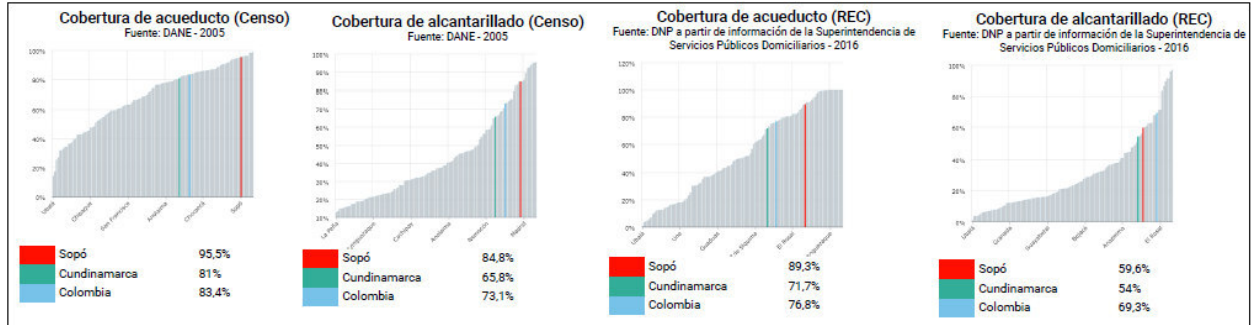


Figura 12. Cobertura servicios públicos

Fuente: TERRIDATA - DNP

## 2.6 ESTADO DEL ARTE

Teniendo en cuenta el proceso de elaboración del proyecto de la PTAP, del Municipio de Sopo, el estado del arte se encuentra circunscrito a la información de consultoría con la que se cuenta, al tratarse de un trabajo de investigación aplicada a un proyecto específico, el desarrollo del trabajo va paralelo a las actividades que se vienen desarrollando en el contrato, en el tiempo y en el espacio, de esta forma, en si mismo es el estado del arte del problema que se está resolviendo y finalmente su conclusión será la entrega de los ajustes a los diseños, el inicio de los trabajos de campo y se espera que la terminación de las obra y su puesta en funcionamiento.



## **3 METODOLOGÍA**

### **3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO**

El trabajo de grado está compuesto de las siguientes fases:

#### **3.1.1 Fase de descripción general de la tipología de obra**

En esta fase es de gran importancia identificar los lineamientos de trabajo, la determinación de la posición en la cual se puede encasillar el tipo de estructura hidráulica que constituye el núcleo básico del trabajo, por esta razón se hace una clasificación y descripción temática de la tipología de plantas de tratamiento y en especial aquellas que por su composición y complejidad forman parte de los pares similares a la que se está trabajando.

#### **3.1.2 Fase de establecimiento de la condición actual de la PTAP**

En esta fase de la investigación se esgrimen las condiciones que dieron pie para tomar esta obra como un ejemplo típico de la generación de aportes a la solución de problemas específicos en obras de ingeniería hídrica real, es en esta fase donde se describe, con determinada exactitud la problemática existente y la necesidad de aplicar diversos conocimientos a fin de lograr conseguir la ejecución exitosa de un contrato civil de obra y específicamente uno que tiene un marcado carácter disciplinar hacia la ingeniería en recursos hídricos.

#### **3.1.3 Fase de intervención de las disciplinas asociadas al proyecto**

Se efectuarán los cambios en cada uno de los elementos constitutivos de la consultoría a fin de llegar a una solución óptima que efectivamente sirva de herramienta para la construcción de la Planta de tratamiento.

### **3.1.4 Fase de determinación de soluciones y generación de productos**

En esta fase se desarrollan los procedimientos de gestión de cambios sobre los documentos de consultoría inicial, una vez revisados y establecidas las diferencias reales de los cambios que se dieron con los hechos sobrevinientes al cambio de las condiciones iniciales de trabajo, se establecerá una estrategia de aplicación del conocimiento para llegar a ajustar los productos de base de diseños.

## **3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS**

Se emplearán para esta investigación aplicada, toda una serie de documentos de tipo técnico, en los aspectos topográficos, geotécnicos, geológicos, hidrológicos, hidráulicos de materiales y procesos.

Igualmente se emplearán registros fotográficos, videos, fotografías satelitales registros de dron, registros de información de la red y consulta a diferentes especialistas e interesados en el proyecto en cuestión.

#### 4 CONDICIONES AMBIENTALES DEL PROYECTO

Como es de esperarse, para un proyecto de esta naturaleza, se esperaba que existiera una consistencia y claridad en la consultoría y que mínimo se tuvieran las herramientas necesarias para la materialización de la obra.

En este caso y por hechos asociados a los cambios de administración de los funcionarios de turno, al momento de la revisión de la consultoría para la construcción se encontraron importantes falencias en los siguientes temas:

1. No existía un estudio geológico de la zona del proyecto.
2. No existía una geotecnia consistente y con la cobertura necesaria para asegurar la estabilidad de los diferentes elementos que componían la obra en general.
3. Los aspectos hidrológicos propios de la zona del proyecto no tenían la consistencia suficiente para conocer las verdaderas magnitudes de los caudales de trabajo, así como una incertidumbre en cuanto las cotas de inundación de esta misma zona.
4. Existía una importante discrepancia entre los planos estructurales y las memorias de cálculo del puente de acceso al predio, dispositivo a través del cual se accedía al terreno.
5. La topografía preliminar, luego del chequeo de algunos puntos estableció una diferencia de cota real de 15 m en su altitud, con lo cual la totalidad de la implantación quedaba enterrada bajo el Río Teusacá cerca de 12.00 m.
6. Se presentó un contrato paralelo que acentuó los problemas existentes ya que se intervino el lote modificando de manera dramática las condiciones iniciales de esta zona; en cuanto al terreno como también los anchos del cauce del río.

## 4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

El proyecto se encuentra dentro de zona aluvial del Río Teusacá y al igual que la mayor parte de los ríos de la Sabana sus suelos están compuestos por depósitos limosos y arcillosos con arenas, de la formación sabana (Qts).

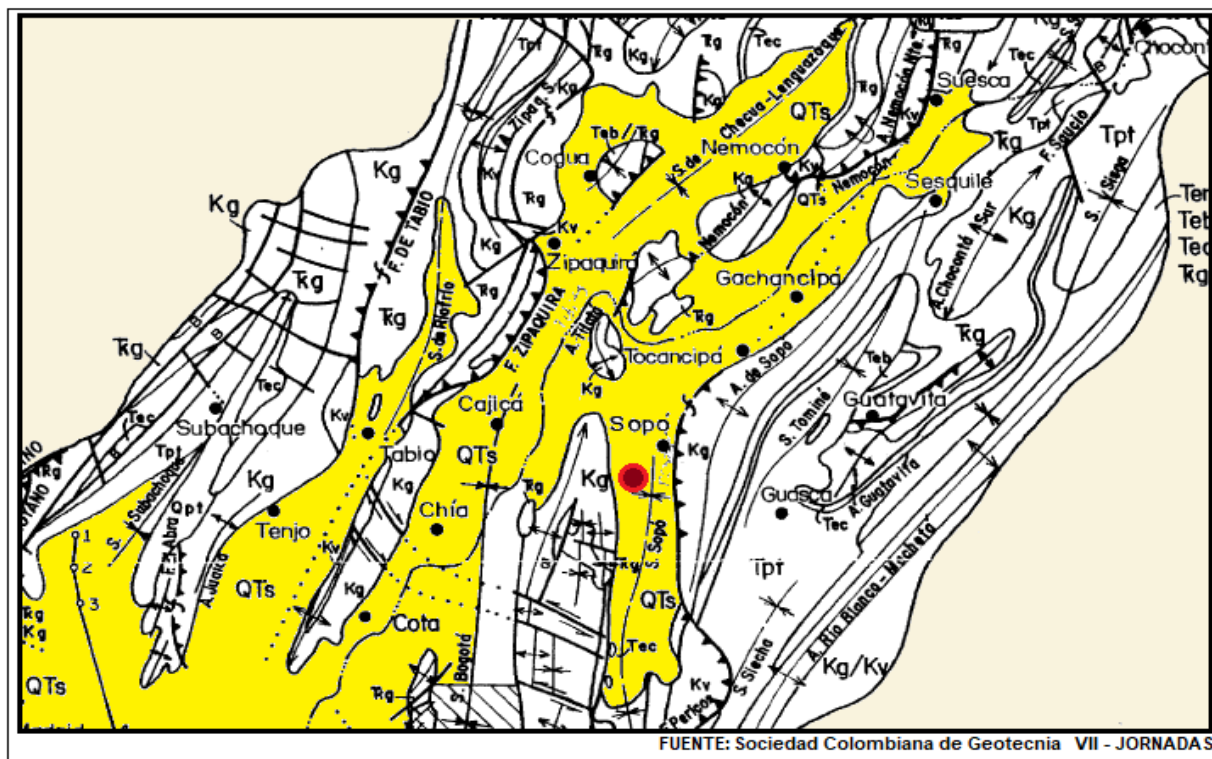


Figura 13. Geología Regional

El Río Teusacá, en la zona del proyecto, discurre entre formaciones montañosas, a cada lado del río, son plegamientos dentro de los cuales se pueden encontrar materiales del grupo Guadalupe (Ksg), conformados por areniscas de duras. Planers y labor, así como suelos procedentes de la degradación de rocas de la formación el Cacho (Tpc) hacia el municipio de Tocancipá los cuales presentan bancos de areniscas cuarzosas de grano fino y medio muy friables, con intercalaciones de arcillolitas de rojizas a amarillas, que coinciden con este valle y se dan hacia el norte del Municipio. Hacia el Oriente las formaciones Guadalupe y Tilata (Tpt), constituida especialmente por gravas, gravillas, arenas, limos y arcillas que de alguna forma

tienen influencia en la conformación de los suelos y los depósitos que se pueden encontrar en el valle y en especial en la cuenca del Río Teusacá.

#### 4.1.1 Geología local

El mapa geológico regional, muestra la posición del proyecto frente a los depósitos de agregados finos, limos arcillas y arenas finas, así como las turbas y todo tipo de materiales aluviales de la formación sabana.

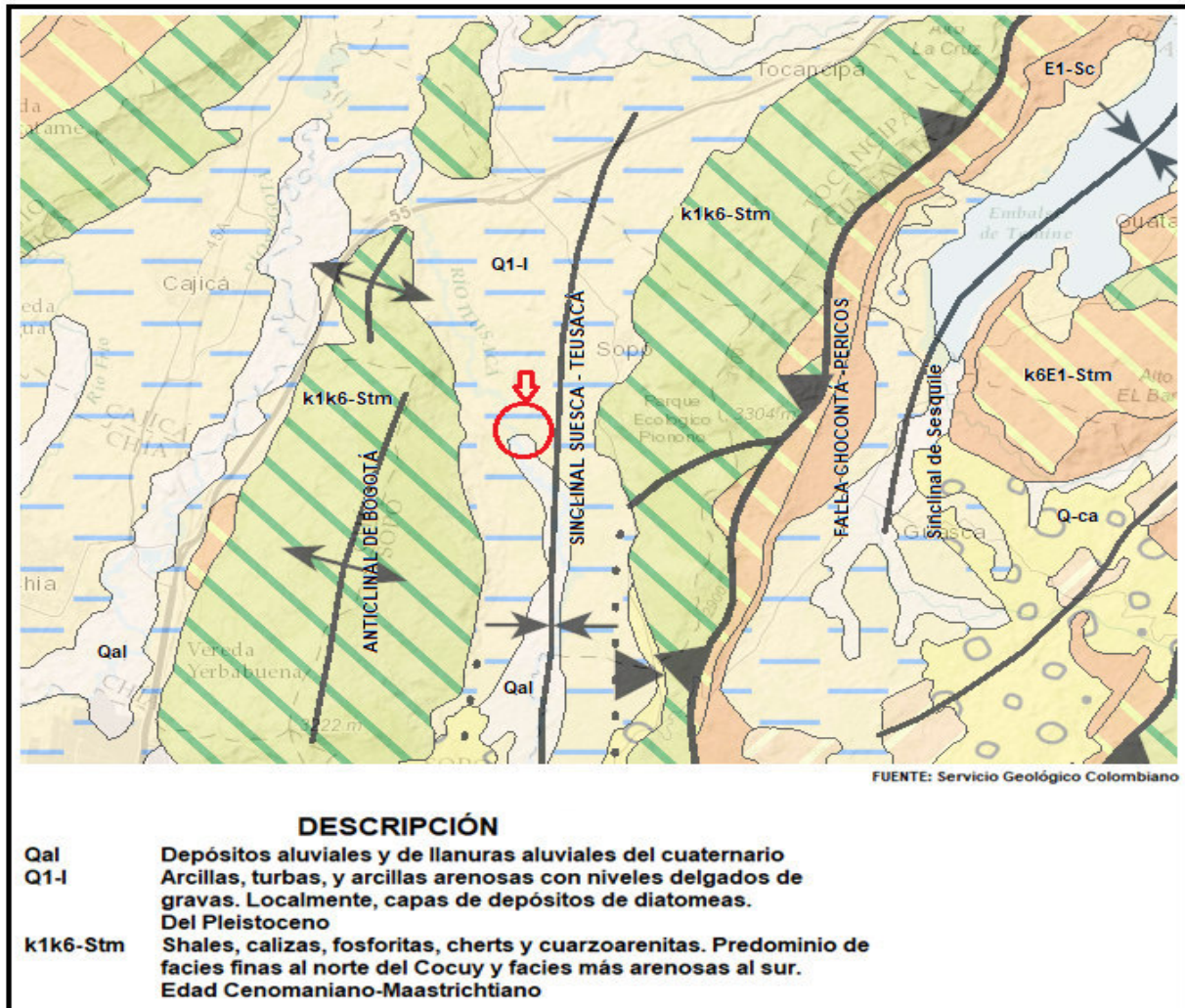


Figura 14. Geología del proyecto.

Fuente. SGC

### **4.1.2 Geología estructural**

En el mismo fragmento de plano particular se dejan ver algunos lineamiento y fallamientos estructurales apenas evidentes en la geología regional, se observan algunos fallamientos que discurren de norte a sur y forman parte de la caracterización general de esta zona de la Sabana, de acuerdo con la descripción de la geología (INGEOMINAS – Montoya y Reyes / 2005). La Falla Chocontá-Pericos es inversa, convergencia al Oriente y sinuosa dado que durante su trayectoria sufre varios cambios de dirección que coinciden con la ocurrencia de bloques muy tectonizados y probablemente rotados (sectores del Sisga, Sopó y La Calera). Las características anteriores permiten subdividirla en 2 tramos:

Se observa que el tramo que va desde Villapinzón hasta Sopó es rectilíneo, presenta una dirección N450 E, cabalgan la Formaciones Lidita superior, Plaeners y Labor Tierna sobre la Formación Guaduas y genera inversión de estratos y en algunos sectores como en la región de Sisga-Chocontá presenta bloques rotados.

El tramo sur (desde Sopó hasta La Calera), tiene segmentos rectilíneos de dirección N450 E y segmentos que forman salientes hacia el oriente; en estas salientes el desplazamiento sobre el plano de falla es mayor, tal como se observa al norte de La Calera, donde cabalga la Formación Chipaque sobre la Formación Cacho, mientras que, en el resto de su trazo, cabalgan las Formaciones Plaeners y Labor-Tierna sobre la Formación Guaduas. En las salientes, la dirección de la falla varía de NS a N600 E y generalmente presenta retro cabalgamientos asociados (sector de Pericos y Norte del Sisga), dejando bloques levantados con rocas de las Formaciones Lidita Superior, Plaeners y Labor-Tierna, obre rocas de la Formación Guaduas.

## **4.2 ASPECTOS DE MEDIO AMBIENTE**

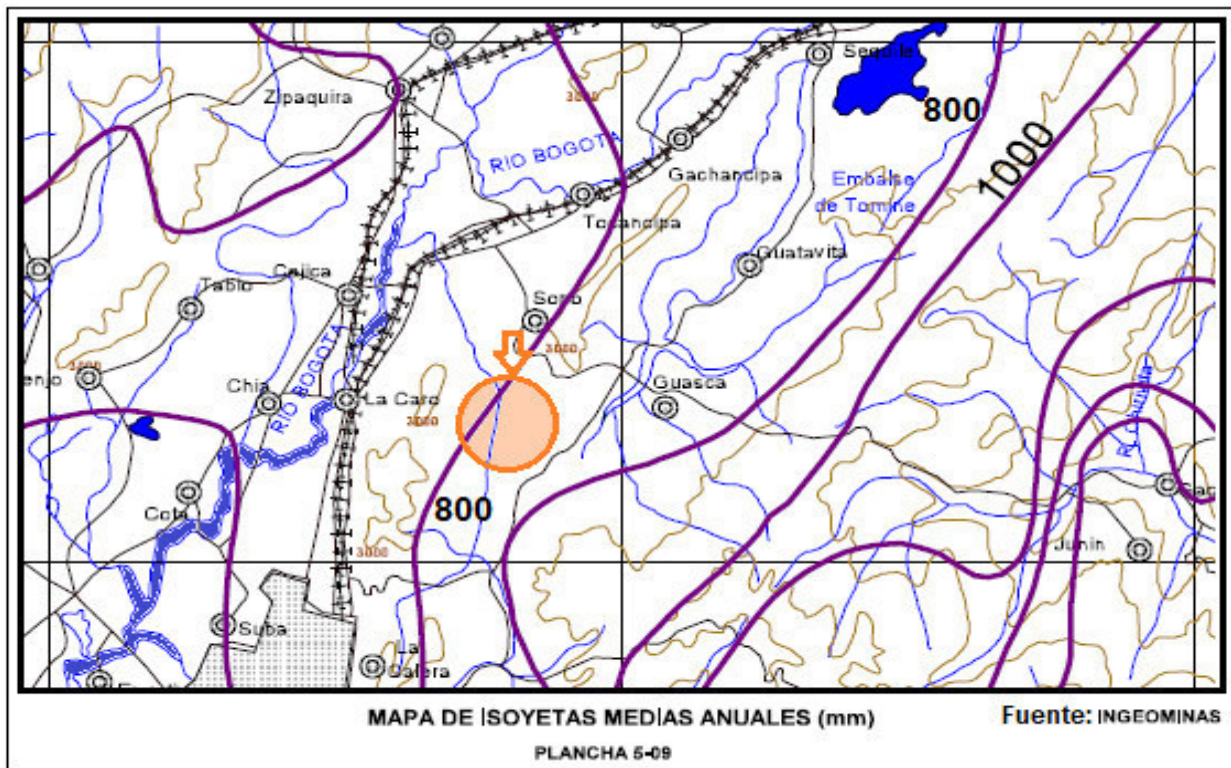
Dentro de las metodologías de diseño de pavimentos se tiene algunos elementos propios del medio ambiente que forman parte de los factores a tener en cuenta en las respectivas



estimaciones de los espesores. A continuación, se hace una descripción de los aspectos del medio circundante propio de la zona atinentes al diseño.

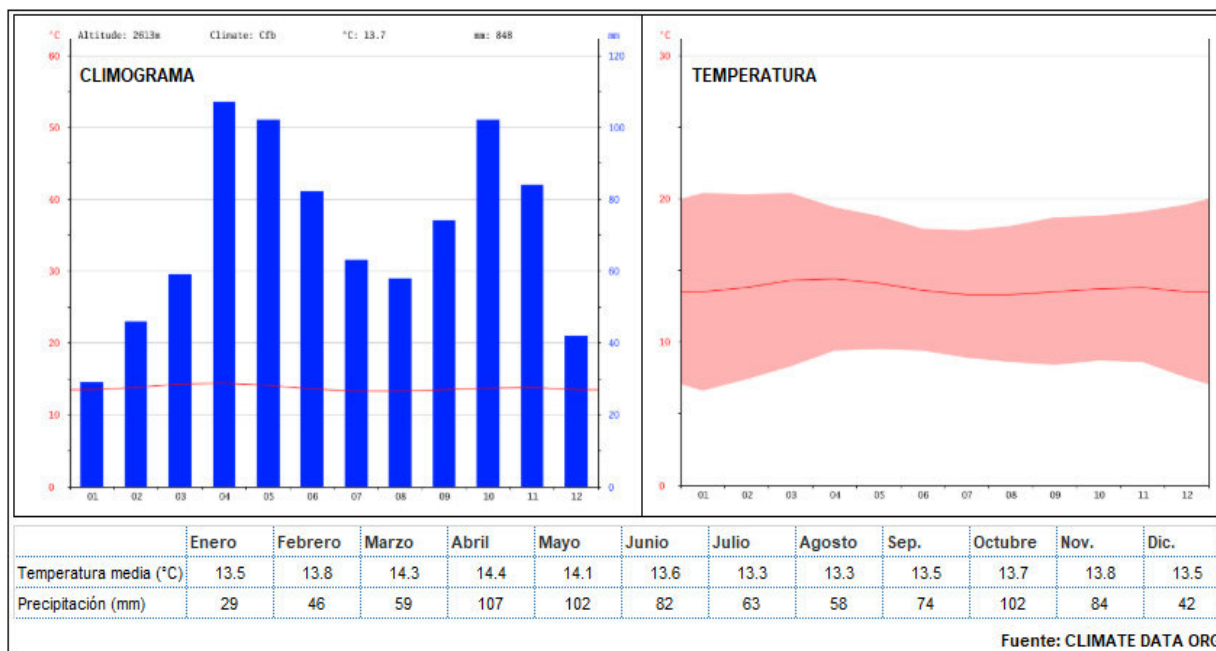
#### 4.2.1 Clima

El proyecto se encuentra localizado a una altura media sobre el nivel del mar de 2560 msnm, con una temperatura media de 13,7°C y una precipitación media multianual de 848 mm.



**Figura 15. Isoyetas medias anuales**

En este mapa se muestra la posición del municipio y la zona del proyecto con su nivel medio de precipitación anual y en la Figura 16, la distribución mensual de la precipitación y la temperatura.



**Figura 16. Distribución mensual de precipitaciones y temperaturas medias multianuales.**

Como se observa en los diagramas climáticos, el mes más seco es enero con una precipitación media de 29 mm y para el mes de marzo este factor aumenta hasta llegar a los 107 mm en el mes de abril, que precisamente coincide con el mes más cálido del año, con una media de 14,4°C y el mes de julio es el más frío con una media de 13,3°C. La humedad media anual es de 73%.

Desde el punto de vista del clima sobre el pavimento, que en este caso se trata de una carpeta de concreto asfáltico, la incidencia sobre la calidad y el comportamiento del mismo es mínimo desde la susceptibilidad térmica del material el baja, en lo que respecta a la humedad, el nivel de precipitación también es bajo, así como los cambios de este factor en el tiempo.

No obstante, los ensayos de resistencia que tienen que ver con las evaluaciones del comportamiento de los materiales de sub rasante deben ser sometidos al estado crítico ya que existen dos (2) periodos del año en el cual la incertidumbre del manejo de las aguas, al interior de la Planta de tratamiento es riesgoso dadas las condiciones de incertidumbre para la salida del drenaje en periodos de lluvia.



Desde el punto de vista global, se establece una separación importante del entorno a causa de su aislamiento, la clasificación climática de este sector, lo clasifica como sub húmedo. En el cual se presentan un régimen de lluvias de moderadas a fuertemente estacionales y un Índice de Thornthwite (Im), entre -20 7 +19. En cuanto a la clasificación de la categorización del clima por temperatura, se puede establecer como clima frío, siendo este la medida de temperatura media diaria del aire histórica, de los siete días (7) más calientes del año, por la variación de más o menos 1,3 °C al año, resulta difícil que se dé, aun cuando este valor es el resultado de análisis estadísticos. Para los fines del diseño, este valor es suficiente.

## **5 ESTUDIOS PTAP – SOPO PARA LA EJECUCIÓN DEL CONTRATO DE OBRA**

En este capítulo se hará un análisis general de los documentos entregados por la entidad contratante para la ejecución del contrato de obra, documentos que hacen referencia a los productos de consultoría del diseño de la PTAP. Los documentos entregados en un primer momento fueron:

- Diseños eléctricos
- Estudio de mecánica de suelos
- Diseños estructurales
- Diseño hidráulico
- Documentos generales proceso I
- Documentos generales de proceso II

### **5.1 DISEÑOS ELÉCTRICOS**

Se trata de un juego de planos generales de las instalaciones eléctricas de los componentes físicos del sistema, en este documento se pueden apreciar un capítulo de datos generales del proyecto, su descripción, los criterios de diseño eléctrico, cuadros de cargas, diagrama unifilar, selección de capacidad del transformador, dimensionamiento de conductores, coordinación de protecciones, malla de puesta a tierra, cálculos y especificaciones del equipo de medida, cálculos de barajes, selección de ductería de media y baja tensión.

Se verifica una lista de chequeo en cumplimiento del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, sin embargo, no aparecen los permisos y viabilidades que la empresa de energía eléctrica entrega para habilitar la obra desde el punto de vista del abastecimiento de las cargas requeridas.

## **5.2 ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

En este documento se presenta el informe general de mecánica de suelos del sitio de la obra, anexo de fotografías de los sondeos y de los ensayos de laboratorio respectivos, en el contenido se encuentra la investigación del sub suelo, proceso de exploración, toma de muestras y las gráficas de la respectiva estratigrafía encontrada, análisis de factores de seguridad y limitaciones. Se hace referencia al tanque y al muro de contención.

Dentro de este documento no se han encontrado los cálculos referidos al diseño de cimentaciones, se debe tener en cuenta que por la tipología de la obra se deben hacer consideraciones particulares para cada uno de los elementos, sin embargo, no existe ningún tipo de diseño de cimientos, cabe anotar que existen:

- Edificios administrativos y laboratorios
- Vías de acceso y patios de maniobra
- Puente de acceso al predio
- Bocatoma lateral de la planta
- Desarenados, Floculadores y tanques
- Sistema de manejo de aguas residuales.
- Cuarto de sistemas de controles, plantas eléctricas y demás

Todos y cada uno de ellos debe tener una especificación particular para su fundación, cuestión que no aparece dentro de este volumen de los estudios.

### 5.3 DISEÑOS ESTRUCTURALES

Una vez revisados los estudios y diseños estructurales solamente se pudieron encontrar algunas memorias de cálculo del sistema general de la estructura de la PTAP y juegos de planos que involucran tanto los reforzamientos de las instalaciones propias de la planta como de las diferentes edificaciones que forman parte de bodegas oficinas y cuartos que hacen parte integral del sistema de la Planta.

En lo que respecta a los planos y cálculos propios del puente de acceso, se cuenta con los que han sido suministrados en la primera revisión, de la misma forma los cálculos complementarios del sistema de cimentación, en lo que respecta a los análisis estructurales a los planos o cualquier tipo de información a este respecto.

Cabe anotar, que debido a que se trata de una planta de tratamiento de agua, sometida al flujo continuo de agua cruda o tratada según sea el nivel de tratamiento y al uso de químicos para el proceso, se esperaría un desglose adecuado de la naturaleza de los materiales, en este caso de los concretos estructurales, si son o no revestidos o que tipos de cementos deberían ser utilizados para su elaboración, para este caso no existen especificaciones.

De otro lado y luego de que han aparecido nuevos documentos de diseño, se pudieron conseguir algunos detalles, pero en ningún caso compensan las deficiencias ya descritas. Por otro lado, el sistema cuenta con una serie de canales, orificios, ductos y demás dispositivos hidráulicos que deberían ser considerados en los planos de diseño a fin de que se permita un adecuado proceso constructivo, si no hay efecto estructural en dichas oquedades, y que con ellos se pueda hacer una buena gestión administrativa de las adquisiciones ya que la falta de estos detalles dificulta el despiece de los aceros y su respectiva compra, este nivel de detalle no aparece en los diseños.

## 5.4 DISEÑO HIDRÁULICO

Se encontró el volumen general de las memorias de cálculo de los elementos de la PTAP, allí se discrimina, entre otros:

La información general con su localización, vías de acceso a la zona, aspectos generales de hidrología, climatología, usos del suelo, topografía geología, sismología y otros. En un segundo capítulo se encuentran los estudios de población, dotación y demanda bajo la cual se estableció el horizonte del diseño. El documento contiene un análisis de alternativas de captación.

Dentro del diseño hidráulico se establece lo que se refiere a la sedimentación, filtración, desinfección y aspectos de la bocatoma, desarenador, planta de tratamiento de agua potable, sistema de aireación, mezcla, floculación, manejo de lodos, sistemas de bombeo, análisis de redes y de demandas. En este volumen se incluyen las respectivas especificaciones técnicas de construcción.

No obstante a lo anterior, el producto carece de ingeniería de detalle, aunque posteriormente aparezcan nuevos documentos de estos estudios, en ningún caso se puede establecer una cohesión entre estos elementos y la parte presupuestal del contrato, es decir, casi el 50% de los elementos hidráulicos del presupuesto no son detallados en los planos, las memorias de cálculo son deficientes y algunos elementos de la parte hidráulica no aparecen, como son el diseño del alcantarillado de las aguas procesadas, el alcantarillado de aguas servidas de la planta y las edificaciones, el manejo del sistema de aguas lluvias, de aguas de infiltración que como veremos más adelante resulta ser fundamental en el adecuado funcionamiento de la planta.

Desde el punto de vista hidrológico no se consideró la cota de inundación del proyecto para un periodo de retorno específico. Además, se pudo constatar que el lote de terreno hace algunos años se encontró cubierto de agua (Figura 17) y este factor no apareció por ningún lado

en los estudios y diseños, posteriormente se pudo establecer que existía discrepancia, incluso, en el cálculo de los caudales manejados por el Río Teusacá.



**Figura 17. Predio del proyecto inundado año 2012.**

**Fuente: Google-map**

En términos generales, siendo este el núcleo del diseño de la PTAP, sin desconocer el resto de componentes, su contenido y especificidad no podían servir de base para la ejecución del contrato de obra sin correr el riesgo de fallas graves o simplemente la imposibilidad de su construcción por falta de material de consultoría.

## **5.5 DOCUMENTOS GENERALES DEL PROCESO I**

Dentro de esta documentación se entregó:

1. Constancia de disponibilidad presupuestal
2. Certificado de paz y salvo
3. Certificado de banco de proyectos
4. Certificado de inclusión PBOT
5. Certificado de inclusión PDM
6. Certificado de Ley 142 de 1994

7. Certificado de la CAR
8. Diagnóstico de la entidad prestadora de servicio
9. Documentos prediales
10. Edificio de operaciones

## **5.6 DOCUMENTOS GENERALES DEL PROCESO II**

En este volumen de documentación se pueden encontrar una serie de oficios y soportes propios de esta actividad, dentro de ellos se pueden verificar.

1. Carta de solicitud de recursos
2. Concepto de viabilidad MAVDT
3. Análisis comparativo viabilización vs reformulación
4. Justificación
5. Presupuesto de reformulación
6. Plan financiero de reformulación
7. Análisis de precios unitarios de reformulación
8. Certificado de disponibilidad presupuestal del Municipio
9. Metodología General Ajustada MGA.

Como se puede observar la mayor parte de los volúmenes de estudios y diseños entregados carece de los elementos contundentes con los que se pueda definir una construcción por lo que no fue posible dar vía libre a la ejecución de la obra a pesar de que se firmó el acta de inicio.

## **5.7 CONTRATO PARALELO**

Teniendo en cuenta que a la par con el contrato de la PTAP, coincidió la adecuación de las protecciones del Río Teusacá en el mismo periodo de tiempo establecido para el inicio de la construcción de la PTAP, el contratista de la CAR dio inicio al dragado y conformación de protecciones hidráulicas en los márgenes del río. Además de las deficiencias de los estudios y

diseños se agregó el cambio del alindramiento de la zona de construcción de la PTAP, por la construcción de los Jarillones perimetrales y el cambio de la geometría del cauce del Río.

Como se había anotado en los capítulos preliminares y tal como se aprecia en la Figura 5, los cambios generados por este contrato establecieron la necesidad de adoptar dos elementos adicionales a los anteriormente registrados, que pueden ser discriminados de la siguiente forma:



**Figura 18. Área disponible luego de la obra hidráulica.**

**Fuente: Autores**

1. La necesidad de la reubicación de la totalidad de los elementos constitutivos de la obra, PTAP, accesos, vías internas, edificaciones y demás.
2. Chequeo del impacto hidráulico de las modificaciones del cauce del río sobre la estructura de captación de agua cruda y sobre el puente de acceso.



En la Figura 19 se puede observar el plano en planta de la planta como se tenía previsto inicialmente y la línea roja punteada deja ver el límite interno de los Jarillones y los elementos del plano bajo ellos.

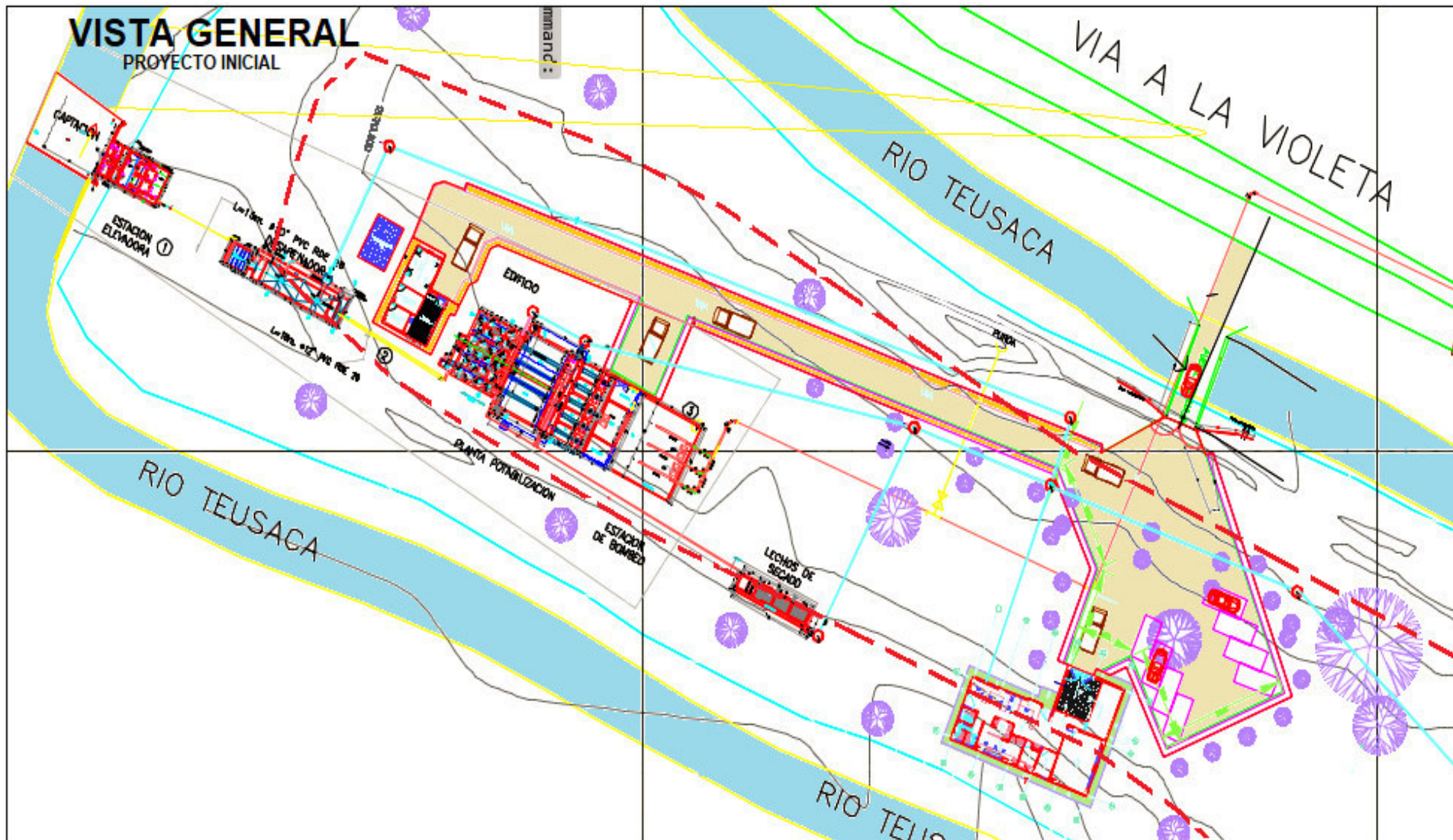


Figura 19. Plano en planta de la implantación del proyecto de la PTAP.

Fuente: CONTRATISTA

Los factores vistos anteriormente son la partida para la reestructuración de los estudios y diseños del contrato, la filosofía que se trató de implementar inicialmente fue:

1. Adoptar los ajustes necesarios para complementar los estudios y diseños iniciales intentando conservar los elementos planteados por el consultor, especialmente en lo que hace referencia a la diferencia de niveles, composición de los elementos hidráulicos, pendientes internas, longitudes y dimensiones de cada uno de ellos.
2. Buscar la participación del consultor en las modificaciones que se irían implementando teniendo en cuenta que solo él podría identificar las posibles fallas o inexactitudes que se dieran con las modificaciones, se debe tener en cuenta que la empresa diseñadora estaba integrada por un conjunto de especialistas y que el ejercicio de la integración de ellos no era una tarea fácil.
3. La intensidad de las intervenciones sobre los estudios y diseños, estarían limitadas solo a algunos componentes disciplinares, teniendo en cuenta que dentro de cada elemento existen aspectos, estructurales, de suelos, de criterio geológico, hidrológico, hidráulico y otros.

## **6 MODIFICACIONES Y AJUSTES A LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS**

Teniendo en cuenta la complejidad que representa una planta de tratamiento en el análisis que se muestra en este capítulo inicialmente se establecerá la localización general de los elementos constitutivos de la planta y posteriormente se tratarán los elementos por separado dado que las intervenciones que se hicieron sobre los diseños tuvieron diferentes tratamientos.

### **6.1 RELOCALIZACIÓN GENERAL DE LA PTAP Y SUS OBRAS ANEXAS**

Para la relocalización de los elementos de la planta, inicialmente se tenía previsto conservar el nivel de implantación, sin embargo, se encontraron varias circunstancias que dieron pie para modificar la decisión:

- Los resultados de los estudios de suelos
- La cota de inundación.
- El sistema de drenaje general

#### **6.1.1 Resultados de los estudios de suelos**

En lo que respecta a la caracterización de la zona de trabajo, desde el punto de vista de la geotecnia existe una similitud con la capacidad portante del suelo, sin embargo, su profundidad y los problemas asociados a las capas superiores de la superficie de fundación no son tratadas correctamente y no fue posible determinar las condiciones preponderantes que solo tuvieron claridad con los nuevos estudios y las excavaciones realizadas sobre el lote.

El proyecto no tiene una geología particular clara y en la realidad del proyecto existe el influjo de una serie de coincidencias geológicas que afectan de manera directa el desarrollo del mismo ya que en algunos puntos la heterogeneidad de los suelos está asociada a la historia geológica del Río Teusacá. Con ello existe un riesgo para la calidad del soporte y no solo eso, la

confluencia de formaciones de diferente procedencia determina suelos distintos que dividen el lote casi en dos partes de sur a norte. Aunque se trata de materiales aluviales, su composición y característica fino granular es diferente en el terreno, por lo tanto, en un sector se encuentran suelos no plásticos y en otro sector suelos con plasticidades superiores al 20% y límites líquidos mayores al 40% que establece un problema de saturación que en determinadas circunstancias podría ser crítico.



**Figura 20. Perfil de los suelos de la PTAP.**

**Fuente: Autores.**

Como se observa, existe un perfil de suelos característicos en la zona de implantación de la planta. En cerca de 2,00 m de altura la capacidad de soporte es extremadamente baja, hasta el punto de tener que reconsiderar la fundación y el sistema de manejo de las aguas de infiltración de las bases de los elementos. Con el cambio de saturación por la fluctuación del nivel de aguas freáticas y la naturaleza propia de las arcillas limosas existentes se ponía en peligro la integridad de los tanques y los demás elementos constitutivos.

### **6.1.2 Cota de inundación**

Como se anotó anteriormente, la cota de inundación fue un valor de fundamental importancia que no fue tenido en cuenta en los diseños iniciales. Sin embargo, con la construcción de las protecciones hidráulicas perimetrales, de alguna forma se protegía el interior de la PTAP, que evidentemente quedó dentro de un cajón de tierra rodeado por un río. Teniendo en cuenta que las aguas del río circundaban el contorno del área de la planta y como se aprecia en la gráfica del perfil estratigráfico (Figura 19), el nivel de aguas aparecía bajo las estructuras a la misma cota de la lámina de agua del río.

### **6.1.3 Sistema de drenaje general**

Otro factor importante de la relocalización de los elementos de la planta fue el perfil transversal del lote ya que en este caso las aguas escurrían hacia los elementos de la planta y la inexistencia de un sistema de drenaje general en los diseños ponía en riesgo la estabilidad de las diferentes obras. Además, se debe tener en cuenta que el material limoso del suelo al estar en contacto con el agua se reblandece, baja su capacidad portante a un valor cercano a cero (0) y las posibilidades de cabeceo o inclinación de las estructuras entraría dentro de las probabilidades de falla.

Por lo anterior se estableció dentro de los diseños generales que se deberían atacar todos estos factores de riesgo sobre los elementos de la PTAP de la siguiente forma:

1. Se efectuaron excavaciones bajo la totalidad de las estructuras de la PTAP y sus elementos anexos a fin de llegar a la cota donde se encuentra el material de mejor condición de soporte, es decir de dos (2) metros hacia debajo de la superficie del terreno.

2. Se efectuaron los respectivos diseños del sistema de filtración con el propósito de abatir y controlar la fluctuación del nivel freático y las posibles percolaciones de las aguas de escurrimiento que penetraran dentro del terreno cerca de los taludes y los elementos de la planta.
  
3. Subir, de manera conjunta la totalidad de los elementos de la PTAP, sin incluir la bocatoma y hacer los respectivos chequeos de las capacidades de las bombas. El resultado estableció un nivel de 1,20 m sobre el nivel del terreno natural y de esta forma las pendientes transversales se direccionaron hacia un punto común, lejano a los elementos a proteger.

Esto en lo que respecta a las cotas de localización, respecto de la ubicación en planta, se alinearon los elementos de tal forma que con el espacio disponible fuera posible integrar cada uno de los elementos, los sistemas de desagüe, las vías de comunicación, los sistemas eléctricos y de controles de una manera similar a lo inicialmente concebido por el diseño original, con lo cual se trataría de conservar las longitudes y accesorios de las tuberías, de las bombas, válvulas y todos los elementos que forman parte del sistema general.

En la Figura 20, se puede apreciar el plano general de la PTAP, con la reubicación de sus componentes y los elementos anexos a él, sin incluir el puente de acceso que fue localizado en un lugar distinto y que a la fecha no ha sido viabilizado.



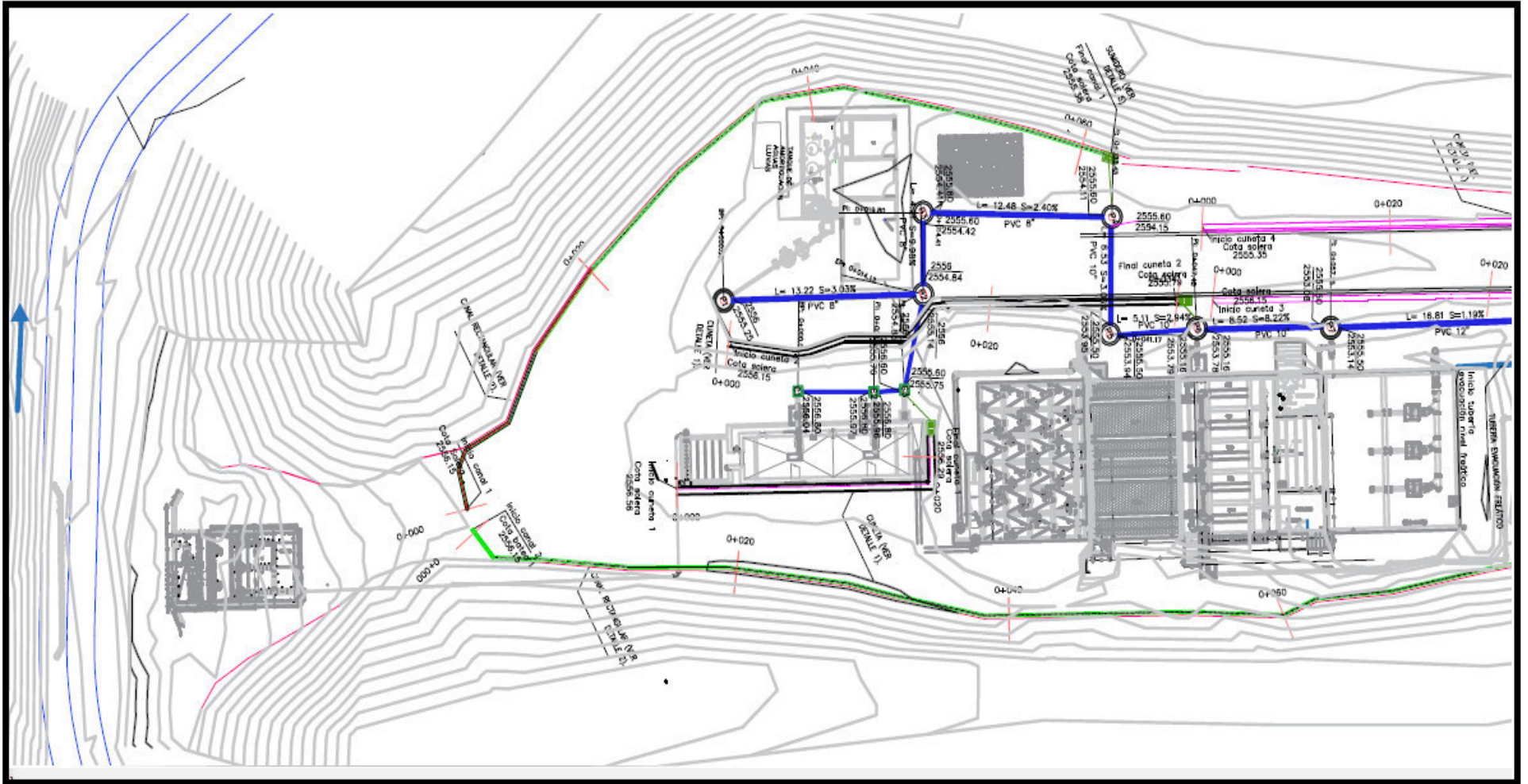


Figura 21. Plano en planta de la nueva implantación de la PTAP. (Parte 1).

Fuente: Contratista.





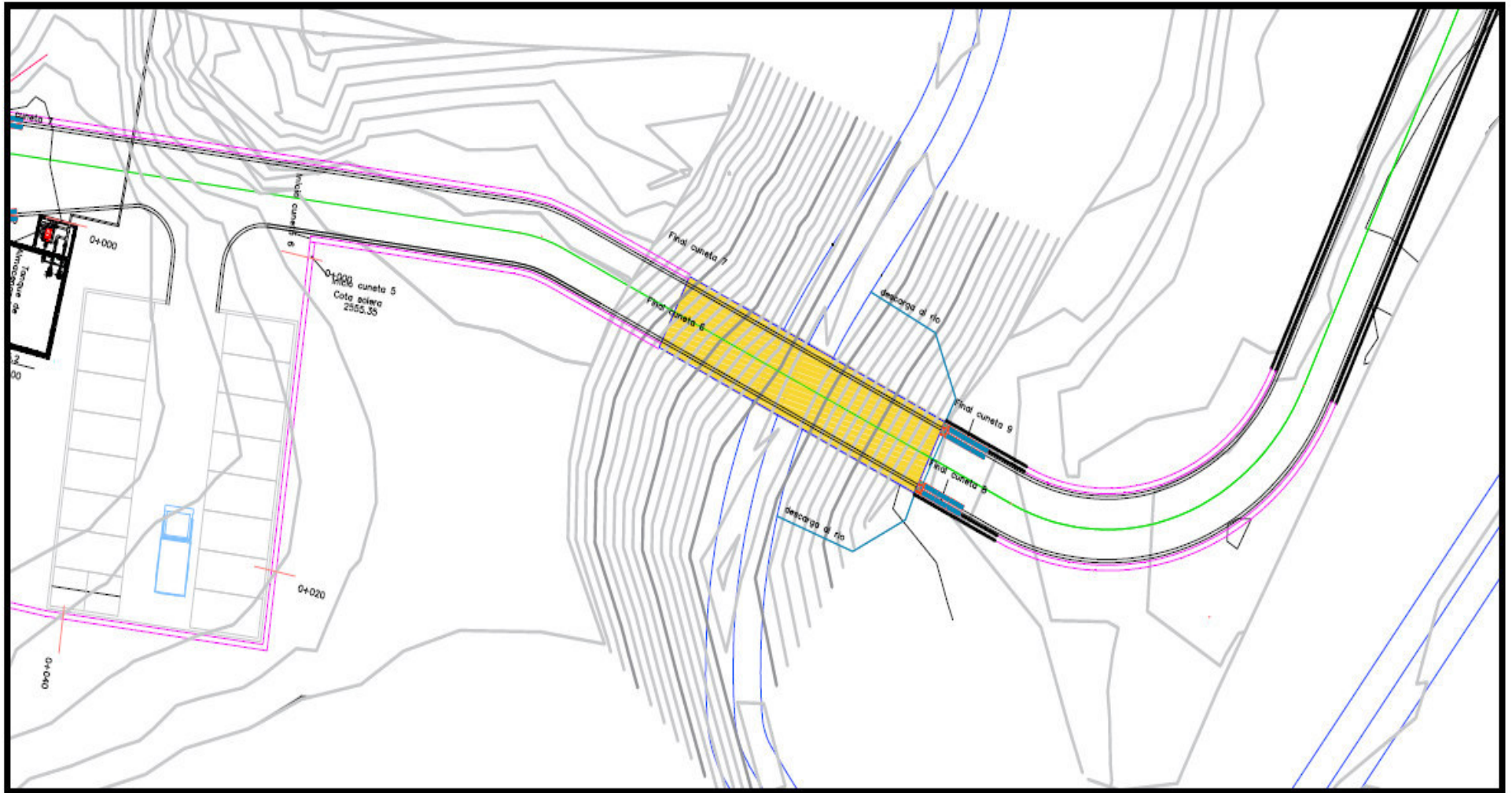


Figura 21. Plano en planta de la nueva implantación de la PTAP. (Parte 3)

Fuente: Contratista.

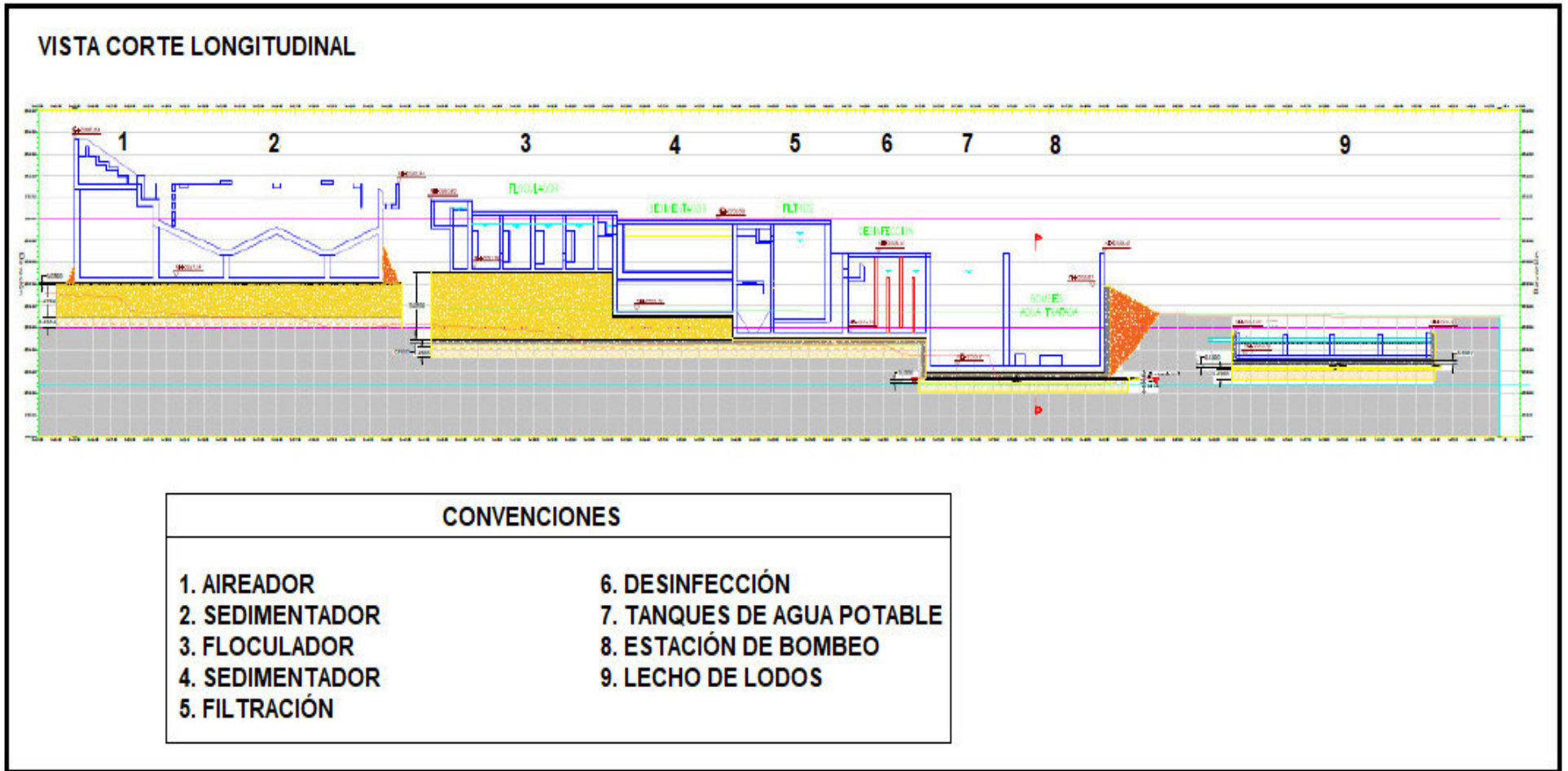


Figura 22. Plano en corte longitudinal PTAP.

Fuente: Contratista

Tal como se puede apreciar en el plano de la Figura 21 fraccionada a fin de ver los detalles del mismo, los elementos de la PTAP, se agolparon hacia el centro del lote de terreno y en lo que respecta al acceso al predio cambió completamente, ya que se trasladó de la parte superior del plano inicial hacia la parte derecha del mismo a cerca de 100 m de esta posición,

En el plano de corte longitudinal se observa que el desarenador, los floculadores, el filtro y demás unidades, sin incluir los tanques de distribución, se levantaron del terreno inicial quedando desde 1,20 m hasta 2,00 m del nivel inicialmente previsto. Esta elevación solo correspondió a la parte de la planta encargada del procesamiento del agua cruda ya que en elemento de captación se dejó en la misma posición vertical y se le infringieron otros cambios que posteriormente se establecerán.

En lo que respecta a la vía interna de circulación, como se observa, al comparar los planos antes y después, existe una pequeña variación en el eje y en la parte cercana a la planta producto de la restricción del área. Además, se debieron anular los accesos al tanque de cloración y al desarenador por lo que solo se dejó una pequeña área de maniobra para los vehículos, el cuarto de controles quedo justo al final de dicha vía.

## **6.2 ELEMENTOS DE LA PTAP, BOCATOMA**

La captación del agua cruda da inicio al proceso de tratamiento del agua, con los resultados del análisis hidrológico se determinan los respectivos caudales de trabajo. Por otro lado, las determinaciones de los parámetros de calidad del agua ayudaron a establecer el tratamiento mecánico y químico que se debe dar para conseguir un agua con las condiciones mínimas requeridas para el consumo. Por lo anterior se dan dos procesos de análisis general; el análisis físico – químico y microbiológicas del agua cruda y el funcionamiento hidráulico de la planta en función del caudal de entrada. En la siguiente tabla se observan los resultados iniciales del análisis químico del agua cruda.





**INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO**

**CÓDIGO:** 127627  
**PÁGINA:** 1 de 1

**SEÑOR(ES):** RAMON LEONARDO VELASQUEZ RINCON  
**DIRECCIÓN:** CRA 101 NO 147 C 34 INT 2 APTO 301  
**TELÉFONO:** 6857687  
**MUESTRA PROCEDENTE DE :** SOPO  
**DEPARTAMENTO:** CUNDINAMARCA  
**LUGAR TOMA DE LA MUESTRA:** RIO TEUSACA  
**PUNTO DE CAPTACIÓN:** PUENTE ADOBES  
**TIPO DE MUESTRA :** AGUA CRUDA  
**FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA:** 11-OCT-2016  
**HORA TOMA DE LA MUESTRA:** 10:00H  
**FECHA RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 11-OCT-2016

**RESULTADOS**

ENSAYO	FEC-ANALISIS	TECNICA DE ANALISIS	REFERENCIA	RESULTADO
a. ACIDEZ TOTAL	11-OCT-2016	Titulometría	SM 2310 B	6 mg/L CaCO3
b. ALCALINIDAD TOTAL	11-OCT-2016	Titulometría	SM 2320 B	30 mg/L CaCO3
CALCIO	25-OCT-2016	A.A de Llama	SM 3111 B	8,04 mg/L Ca
b. CLORUROS	11-OCT-2016	Argentométrico	SM 4500 Cl- B	15,2 mg/L Cl-
b. COLIFORMES TOTALES	11-OCT-2016	Sustrato definido - Multicelda	SM 9223 B	17,3X10E3 NMP/100 mL
COLOR APARENTE	11-OCT-2016	Comparación visual	SM 2120 B	28 UPC
b. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	11-OCT-2016	Electrométrico	SM 2510 B	101,0 µS/cm a 25°C
a. D.B.O	12-OCT-2016	Incubación 5 días y Electrodo de membrana	SM 5210 B	<2 mg/L O2
a. DUREZA TOTAL	11-OCT-2016	Titulometría	SM 2340 C	36 mg/L CaCO3
a. FLUORUROS	13-OCT-2016	Electrodo ión selectivo	SM 4500 F-C	0,07 mg/L F-
HIERRO	25-OCT-2016	A.A de Llama	SM 3111 B	1,01 mg/L Fe
b. MAGNESIO	25-OCT-2016	A.A de Llama	SM 3111 B	2,41 mg/L Mg
b. MANGANESO	25-OCT-2016	A.A de Llama	SM 3111 B	<0,03 mg/L Mn
MATERIA FLOTANTE	11-OCT-2016	Partículas flotantes	SM 2530 B	Ausente mL/L
b. NITRITOS	11-OCT-2016	Colorimetría	SM 4500 NO2-B	<0,007 mg/L N
OLOR	11-OCT-2016	--		Aceptable
a. ORTOFOSFATOS FOSFATOS	11 OCT 2016	Colorimetría	SM 4300 P+D	0,28 mg/L PO4
b. OXÍGENO DISUELTO	11-OCT-2016	Electrodo de membrana	SM 4500 O-G	4,17 mg/L O2
PH	11-OCT-2016	Electrométrico	SM 4500 H-B	6,70 Unidades
SABOR	11-OCT-2016	--		Aceptable
SULFATOS	11-OCT-2016	Turbidimétrico	SM 4500-SO4 E	<5,0 mg/L SO4
b. TURBIEDAD	11-OCT-2016	Nefelométrico	SM 2130 B	11,0 UNT

**No ANALISIS 22 --- FIN DEL REPORTE**

**OBSERVACIONES:** Muestra puntual recolectada por el cliente.

Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22d Edition. 2012.

a. Ensayo(s) de laboratorio acreditado(s) en Analquim Ltda. Resolución de acreditación N° 1215 del 14 de Junio de 2016. IDEAM

El presente documento no podrá ser reproducido total ni parcialmente y es válido únicamente si tiene el sello seco.

  
**Qca. MAGDA JULIETH CASTAÑO ANGEL**  
**DIRECTOR DE LABORATORIO**

**NOTA:** Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada.

Bogotá, 4-NOV-2016  
**FECHA DE EXPEDICIÓN**

ANQ-PL-071-1 - Versión 2

El plazo límite para cualquier observación sobre los resultados de este informe, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.

**Tabla 1. Análisis físico – químico y microbiológicas PTAP – SOPO.**

**Fuente: EMSERSOPO.**

El proceso de tratamiento sigue una secuencia de ciclos los cuales involucran desde el retiro de sedimentos de regular tamaño al control del contenido de elementos orgánicos e inorgánicos presentes que, eventualmente podrían ser perjudiciales para la salud humana, de conformidad con la Resolución 2115 del 22 de junio de 2007. En la cual se establecen las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, en función de las facultades legales de los Decretos Ley 205 de 2003 y 216 de 2003, bajo o cual se definen:

1. Análisis microbiológicos para determinar la presencia de microorganismos que afecten la calidad del agua.
2. Análisis básicos para conocer las propiedades de turbiedad, color aparente, pH, color residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y Echerichia coli.
3. Determinación de propiedades físico-químicas y microbiológicas que puedan establecer algún tipo de riesgo para la salud humana.

Los valores de las mediciones deben encontrarse enmarcadas dentro de determinados parámetros normales y se efectúan luego del tratamiento, especialmente en los reservorios y tanques de abastecimiento.

### **6.2.1 Cloro residual**

Es el porcentaje remanente que queda luego del proceso de contacto y que reacciona de manera químicamente y biológicamente como ácido hipocloroso o como ion hipoclorito.

### **6.2.2 Bacterias coliformes**

Son bacterias bacilares aerobias o anaerobias que reaccionan enzimáticamente a temperaturas medias de 36°C, fermentando la lactosa produciendo CO<sub>2</sub> y sirven para determinar la presencia de contaminación microbiológica en el agua.

### **6.2.3 Dosis DL<sub>50</sub>**

La dosis letal media es un parámetro estadístico que permite establecer la dosis mínima de un compuesto con el cual se elimina al menos el 50% de una determinada población de animales de laboratorio en condiciones controladas.

### **6.2.4 Echerichia Coli**

Se trata de un Bacilo aerobio que posee enzimas específicas de la galactosa y glucoronidosa que permite establecer si existe contaminación fecal en el agua.

Existen una serie de variables susceptibles a ser consideradas tanto en la fase de agua cruda como en el agua tratada; además de los riesgos biológicos existen determinados compuestos y elementos químicos que tienen efecto adverso e implicaciones para la vida humana. De igual forma, hay compuestos que tienen un efecto negativo desde el punto de vista económico y/o consecuencias indirectas sobre la vida humana. La siguiente es la tabla que se encuentra dentro de la Resolución 2115 que lista todos estos elementos y compuestos químicos indeseables dentro del agua de consumo humano.

**Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana**

<b>Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias</b>	<b>Expresados como</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN <sup>-</sup>	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

**PARÁGRAFO.** Si los compuestos de trihalometanos totales o los de hidrocarburos policíclicos aromáticos señalados en el cuadro N°.2, exceden los valores máximos aceptables, es necesario identificarlos y evaluarlos, de acuerdo al mapa de riesgo y a lo señalado por la autoridad sanitaria.

**Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana**

<b>Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana</b>	<b>Expresados como</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>
Carbono Orgánico Total	COT	5,0
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10
Fluoruros	F <sup>-</sup>	1,0

**Características Químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana**

<b>Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico</b>	<b>Expresadas como</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO <sub>3</sub>	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Aluminio	Al <sup>3+</sup>	0,2
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,5

Resolución 2115 del 22 de junio del 2007 - Ministerio de la Protección Social.  
Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial

Tabla 2. Elementos y compuestos indeseables en agua tratada.

Fuente: Resolución 2115/07



En general las evaluaciones realizadas sobre el agua cruda establecen una serie de procesos físicos y químicos que se deben desarrollar para tratar el agua. Sin embargo, se tomaron nuevas muestras a fin de establecer si existe cambio o no en la calidad del agua a captar ya que con la entrada de nuevas plantas industriales al margen del Río Teusacá se podría presentar algún nuevo aspecto que no ha sido considerado. En la siguiente gráfica se muestran los cambios que se hicieron al sistema de captación dentro del proceso de adecuación de los estudios y diseños.

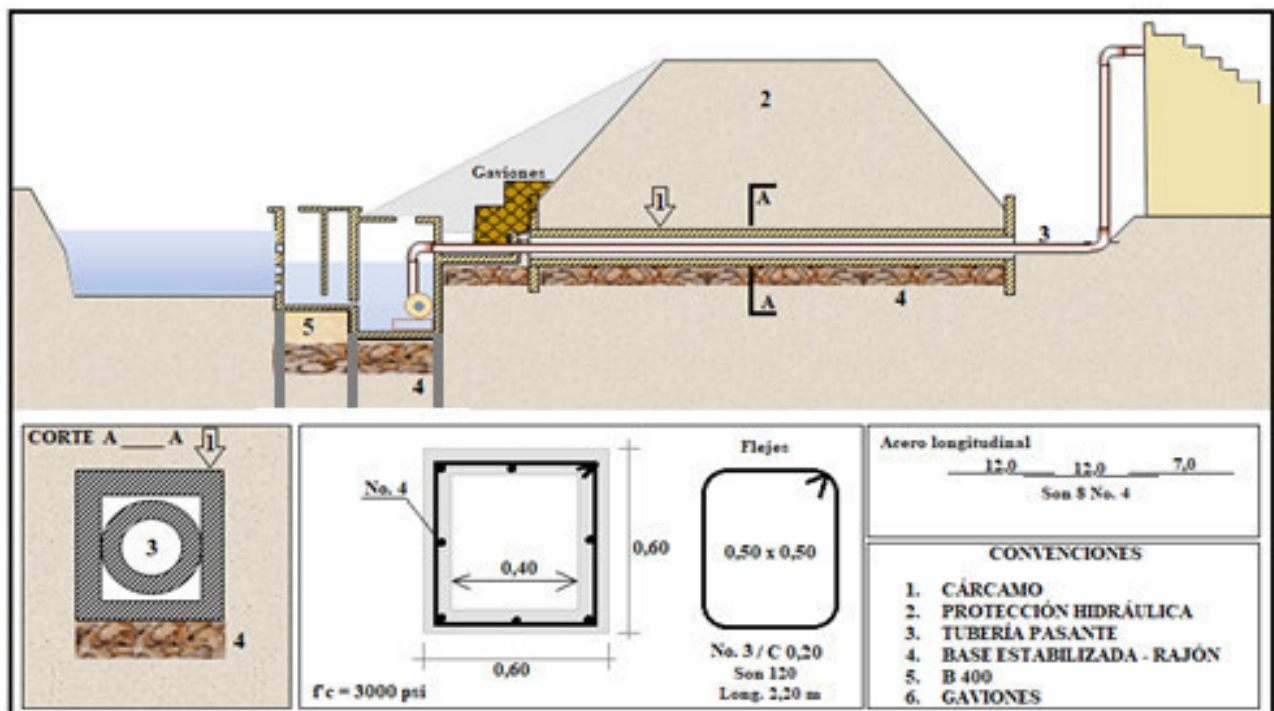


Figura 23. Bocatoma lateral.

Fuente: Contratista

Como se observa, la construcción del complemento del sistema de protecciones del río, implica un aislamiento total de este sistema con el interior de la planta. Además, se modificó el sistema de cimentación ya que de un tanque simplemente apoyado cerca del lecho del río se pasó a una cimentación profunda, ya que el estudio geotécnico determinó la existencia de suelos incapaces de asegurar la estabilidad de la estructura, por otro lado, se instalaron gaviones revestidos en concreto y realce de lecho con material granular intentando confinar los costados de la estructura en los momentos del aumento del nivel de las aguas.

Los siguientes son los criterios de evaluación empleados en la revisión y rediseño del sistema de captación teniendo en cuenta que de allí se proyecta el bombeo que ha de llegar el agua de la bocatoma al desarenador tal como se aprecia en la Tabla 2.

- Se utilizó como caudal de diseño 51.43 l/s (816 GPM).
- Se trazó el mismo recorrido que el establecido en el diseño anterior, para la instalación de la tubería de impulsión inicial que viene de la bocatoma hasta la torre de aireación y desarenador ubicado a 20 m aproximadamente.
- Se proyectó la ubicación de válvulas de retención en aras de controlar el golpe de ariete producido en las tuberías válvulas y equipos de bombeo, por el corte de energía súbito o el apagado normal del equipo de bombeo.
- Se modeló la impulsión para tuberías de PVC UM RDE 21 de 8" para 14 horas de bombeo y para un caudal de 408 GPM (25.71 l/s) entre dos bombas simultáneamente.

Luego de calculada la impulsión por medio del sistema de bombeo se han obtenido los siguientes resultados:

- Capacidad Planta de tratamiento: 70 l/s.
- Caudal de diseño del sistema: 51.43 l/s.
- Sistema de bombeo: Tres Bombas sumergibles, cada una con capacidad de 36.0 l/s.  
Número de horas de bombeo: 10 horas/día.
- Altura estática de impulsión: 9.79 m.

- Capacidad por bomba: Caudal 36.0 l/s, Altura dinámica total: 12.08 m, Potencia: 10 Hp.

En lo que respecta a la tubería de succión e impulsión se proyectó mediante tres (3) tuberías de diámetro 8" (HG) y la impulsión está conformada por una tubería PVC RDE 21. En el documento existe una inconsistencia en el diámetro de la impulsión: en las memorias de cálculo el diámetro de la impulsión es 8" y en los planos aparece 10". El siguiente es el esquema del elemento hidráulico.

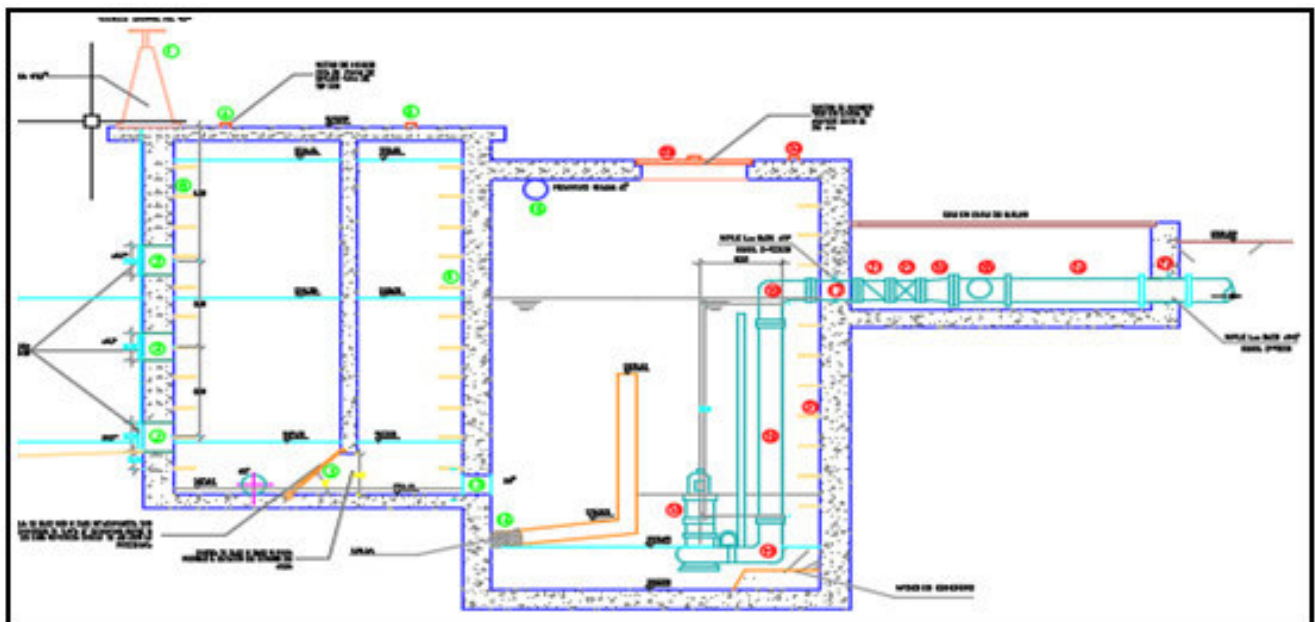


Figura 24. Corte longitudinal de la bocatoma.

Fuente: Contratista

Tal como lo muestra la Figura 24, la estructura hidráulica está constituida por tres (3) cámaras, en la primera de las cuales se da el inicio al proceso con la entrada del agua al reservorio, por medio de una primera rejilla se separan los contaminantes más gruesos; palos, piedras y basura de mayor tamaño, posteriormente se tamiza por un segundo sistema de filtración para pasar a las bombas que llevará el agua cruda al desarenador, el tanque de bombeo y sobre este en la parte externa un pedestal de arranque de tubería.

### 6.3 DESARENADOR

Esta estructura fue movida hacia el eje del proyecto, en cerca de 3,00 m y a una cota superior en 1,20 m de la prevista inicialmente, a ella llega el bombeo del agua cruda con un primer proceso de retiro de sedimentos gruesos.

Determinados los criterios de bombeo del agua cruda que viene desde la bocatoma y teniendo en cuenta que de aquí parte el agua para el tratamiento, el chequeo del estableció la siguiente altura estática de succión:

- Cota Superior aireador: 2560.74 msnm
- Cota Llegada tubería aireador: 2560.44 msnm
- Cota piso tanque bombeo: 2550.10 msnm
- Nivel mínimo de succión: 2550.55 msnm
- Altura estática de succión: 9.89 m (1)

El cálculo hidráulico múltiple de bombeo entre la bomba crítica y el accesorio, que en este caso es una tee de 10", estableció:

- Caudal de diseño: 36.0 lps
- Diámetro tubería succión: 8" HG
- Longitud succión: 4.21 m
- Vertical: 2.21 m.
- Horizontal: 2.0 m
- Diámetro tubería succión: 10" HG
- Longitud succión: 3.00 m
- Horizontal: 3.0 m
- Longitud equivalente Accesorios: 3.00 m

El cálculo hidráulico múltiple de bombeo entre la tee de 10" y el aireador:

- Caudal de diseño: 72.0 l/s
- Diámetro tubería succión: 10" PVC
- Longitud succión: 31.0 m
- Vertical: 0.0 m.
- Horizontal: 31.0 m
- Longitud equivalente Accesorios: 26.70 m

Codo RC de 90° X 10 – Cant. 3 Le= 8.23 m T. Le= 24.70 m

Salida D. 10

T. Le= 2.70 m

Utilizando la ecuación de Hazen William se calculan las pérdidas por fricción en cada tramo de la tubería:

$$J = \left( \frac{Q}{0.2785 \times C \times D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

En la siguiente tabla se presentan los parámetros de cálculo de las pérdidas por fricción y el resultado de las pérdidas acumuladas:

ANÁLISIS HIDRAULICO									
TRAMO		QDIS (L/s)	DIAM NOM		D. REAL	D. REAL	Material	CH	Velocidad (m/s)
INI	FIN		(pulg)	(m)	(pulg)	(m)			
1									
1	2	36.00	8	0.2032	8	0.2032	HG	120	1.11
2	3	36.00	10	0.2540	10	0.2540	HG	120	0.71
3	4	72.00	10	0.2540	10	0.2540	PVC	150	1.42

TRAMO		LONGITUD (m)			PERDIDAS			P.PARCIA L (m)	P. ACUM. (m)
INI	FIN	Tubería	Acces	Total	(%)	(m)	$\Delta Z(m)$		
1								0.00	0.00
1	2	4.21	37.70	41.91	0.75	0.32	0.00	0.32	0.32
2	3	3.00	31.04	34.04	0.25	0.09	0.00	0.09	0.40
3	4	31.00	26.70	57.70	0.61	0.35	9.89	10.24	10.64

**Tabla 3. Análisis hidráulico de bombeo.**

El tramo 1 -2, corresponde al múltiple de bombeo de 8" (HG) de diámetro y en el tramo 2 -3, corresponde al tramo desde la ampliación de 8" a 10" (HG), hasta la tee de 10". El tramo 3 – 4 corresponde al tramo entre la tee de 10" y el aireador, (Tubería PVC).

Cálculo de la Bomba: Ya con las pérdidas del sistema se establece la capacidad de las bombas, teniendo en cuenta:

- Caudal de cada bomba; 36 l/s.
- Altura dinámica total: 10.64 m.
- Eficiencia motor bomba: 70%.
- Potencia teórica requerida: 8,3 HP
- Potencia requerida: 10,0 HP

BOMBAS			
$Q_{100\%}$ (L/s)	72.00	$H_B$	10.64
No. Equipos	2.00	$\eta$	0.70
$Q_{100\%}$ (L/s)	36.00	$\gamma$	1.00
POTENCIA (HP)		8.28	

**Tabla 4. Potencia teórica requerida de la Bomba**

Con base en la revisión hidráulica efectuada, se puede decir que la reubicación y modificaciones realizadas a la bocatoma y desarenador, no modifican la capacidad de las bombas seleccionadas en la etapa de diseño, es decir desde el punto de vista hidráulico el sistema de bombeo permanece tal como fue establecido en los diseños.

#### 6.4 RESERVORIOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Teniendo en cuenta que no existen modificaciones hidráulicas en el flujo producto del bombeo hacia el desarenador, se revisará la respectiva conexión al resto del sistema de la PTAP, que como se ve también presentó una modificación en su localización ya que se han corrido hacia el centro del lote cerca de 2,00 m, los floculadores subieron 2,00 m, el sedimentador 1,00 m y el resto del sistema permaneció en la cota prevista por los diseños iniciales.

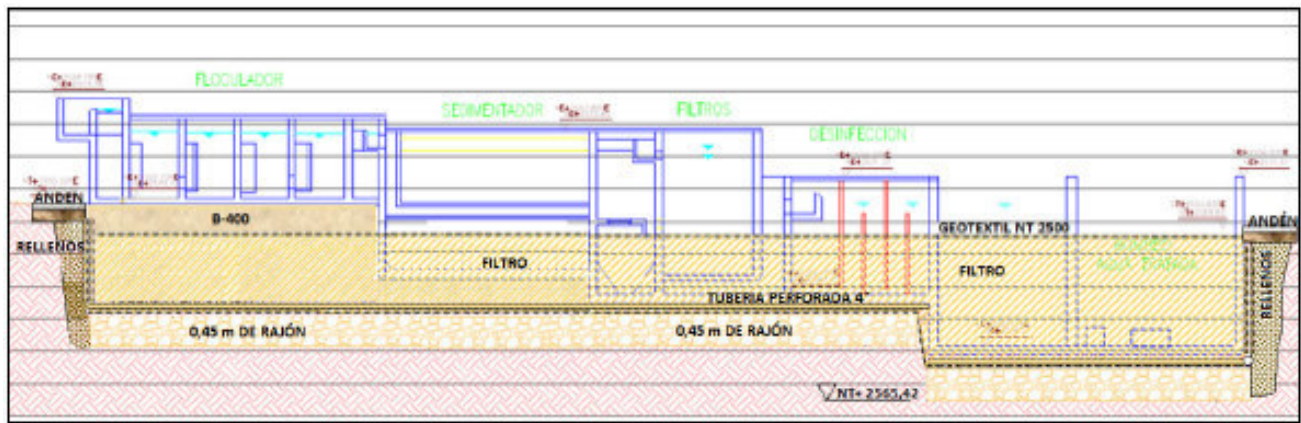


Figura 25. Elementos de tratamiento de la PTAP.

Fuente: Contratista

Como se observa en la figura 25, se implementó una cimentación basada en la colocación de una capa de rajón de 0,45 m de espesor sobre un estrato en que se encontró el nivel freático, a fin de abatir el mismo y de captar las aguas de infiltración lateral; se instaló un sistema de drenaje perimetral con el cual se espera mantener un equilibrio geotécnico en la base de los elementos de la PTAP.

## CALCULO DEL SISTEMA DE ABATIMIENTO DE AGUAS FREÁTICAS

### PARÁMETROS DE ENTRADA

<b>CAUDAL POR INFILTRACIÓN</b>	
Estimar aporte de caudal por infiltración	SI
Precipitación máxima horaria de frecuencia anual $I_r$ :	25.0 mm/h
Ancho del tramo de drenaje B :	30.0 m
Longitud del tramo del drenaje L :	40.0 m
Factor de infiltración $F_i$ :	0.3
<b>CAUDAL POR ABATIMIENTO DE NIVEL FREÁTICO</b>	
Estimar aporte por Abatimiento de Nivel Freático	SI
Permeabilidad del suelo K :	1.0E-6 m/s
Cota inferior del drenaje $N_d$ :	2569.83 m
Cota superior del nivel freático $N_f$ :	2566.17 m
Ancho del tramo de drenaje B (Área aferente total) :	30.0 m
Longitud del tramo del drenaje L (Sumados lados tanque):	30.0 m
<b>COLECTORES SECUNDARIOS</b>	
Estimar aporte por colectores secundarios	SI
Numero de colectores	2
Caudal por colector	6.0E-4 m <sup>3</sup> /s
Longitud del tramo del drenaje L :	10.0 m
<b>OTROS CAUDALES</b>	
Estimar otros aportes	SI
Otros aportes	2.0E-4 m <sup>3</sup> /s
Longitud del tramo del drenaje L :	20.0 m
Tipo de dren :	Frances 0,30 m
Altura media	3.0 m
Altura máxima de drenaje*	2.4 4 m
Diámetro tubería de drenaje	100.0 mm
Pendiente de Tubería (%)	1.0
Factor de reducción por colmatación y taponamiento (Geotextil) $FR_{scb}$ :	2.0
Factor de reducción por creep o fluencia (Geotextil) $FR_{cr}$ :	2.0
Factor de reducción por intrusión (Geotextil) $FR_{in}$ :	1.2
Factor de reducción por colmatación química (Geotextil) $FR_{cc}$ :	1.2



Factor de reducción por colmatación biológica (Geotextil) FRbc :	1.2
Factor de reducción por creep o fluencia (Drén) FRcr :	1.2
Factor de reducción por intrusión (Drén) FRin :	1.3
Factor de reducción por colmatación química (Drén) FRcc :	1.1
Factor de reducción por colmatación biológica (Drén) FRbc :	1.0
Tipo de suelo:	Suelos finos (más de 50% pasa tamiz #200)
* Se recomienda que la altura del drenaje sea el 80% de la altura total.	
<b>PARÁMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS</b>	

Caudal de diseño	3,9268E-3
Presión sobre el Dren	20,73 kPa
TAA <	0.3
Observación:	Cumple

#### CRITERIO DE PERMEABILIDAD

Observación	Cumple
-------------	--------

#### TUBERIA DE DRENAJE

Diámetro (mm) :	100.0
Caudal que es capaz de transportar la tubería [m <sup>3</sup> /s] :	4,3545E-3
Observación :	Cumple

#### PERMITIVIDAD

Permitividad admisible [1/s] :	3,47E-1
Permitividad requerida [1/s] :	2,15E-5
Factor de seguridad global > 3.0 :	Cumple

#### CONDUCCIÓN EN EL PLANO DEL DRÉN

Tasa de flujo admisible	2,71E-4
Tasa de flujo requerida	1,93E-4
Factor de seguridad global	1,4
Observación :	Cumple

Tabla 5. Calculo del sistema de abatimiento de aguas freáticas.

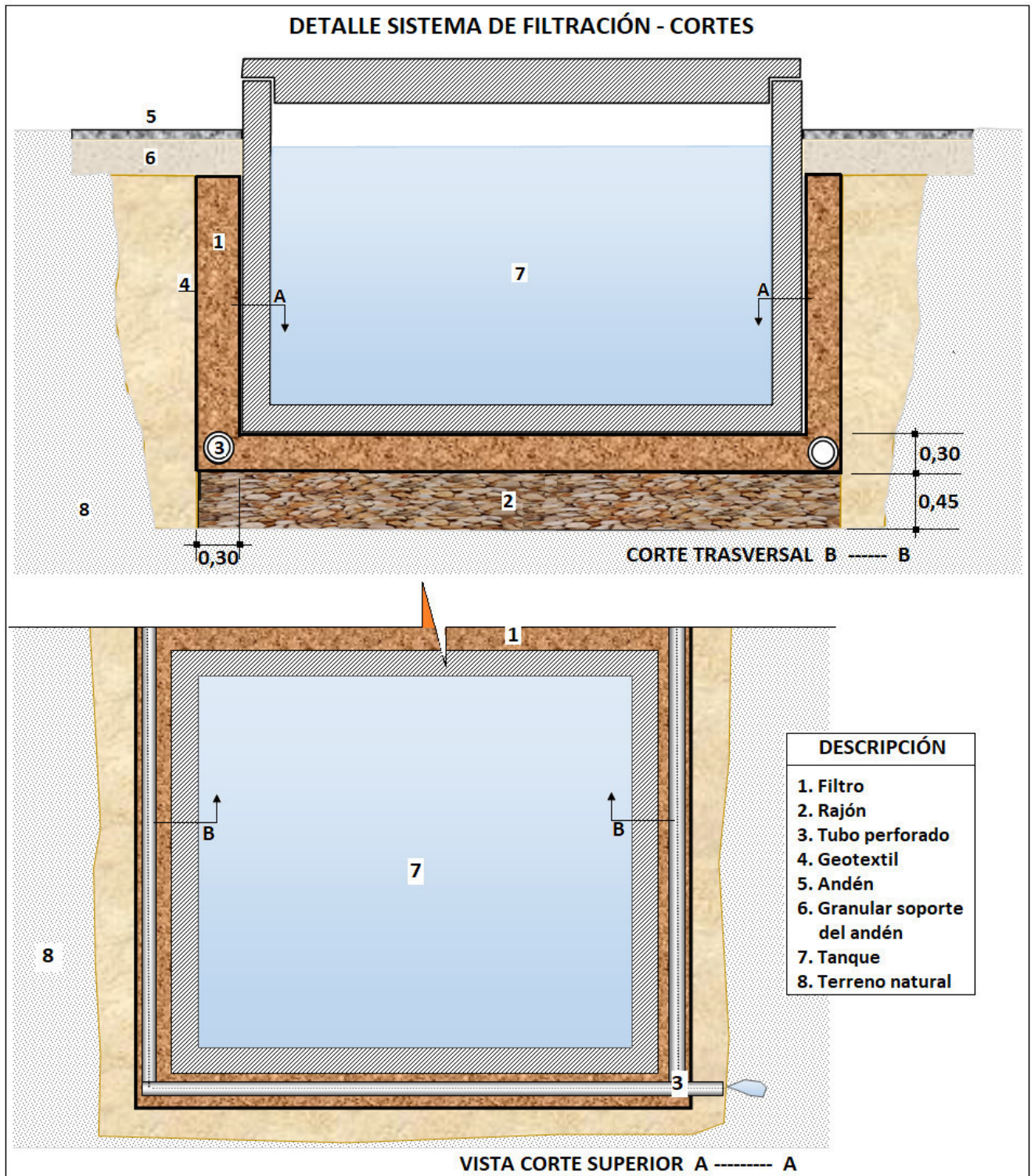


Figura 26. Esquema sistema de filtración de la PTAP.

Fuente: Contratista

Para el chequeo de las conexiones entre el desarenador y el sistema general de la PTAP, que es monolítico, los criterios de diseño utilizados en el chequeo tienen en cuenta que se trata de una tubería presión RDE 26 de PVC de 12” para un caudal de diseño de 70 l/s. Para el cálculo de la altura estática:

- Cota Salida Conducción: 2557.74 msnm
- Nivel de A. Máx. Vertedero llegada PTAP: 2557.613 msnm
- Diferencia de Altura neta: 0.13 cm.
- Longitud de tubería 12” 20.0 m
- Longitud equivalente Accesorios: 44.01 m

Codo RC de 90° X 12 – Cant. 4 Le= 9.75 m T. Le= 39.01 m

Salida D. 12 T. Le= 5.0 m

Utilizando la ecuación de Hazen William se calculan las pérdidas por fricción en cada tramo de la tubería:

$$J = \left( \frac{Q}{0.2785 \times C \times D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

ANÁLISIS HIDRAULICO									
TRAMO		QDIS (L/s)	DIAM NOM		D. REAL	D. REAL	Material	CH	Velocidad (m/s)
INI	FIN		(pulg)	(m)	(pulg)	(m)			
1									
1	2	72.00	12	0.3048	12	0.3048	PVC	150	0.99
TRAMO		LONGITUD (m)			PERDIDAS			P.PARCIAL (m)	P. ACUM. (m)
INI	FIN	Tuberia	Acces	Total	(%)	(m)	$\Delta Z(m)$		
1								0.00	0.00
1	2	20.00	44.01	64.01	0.25	0.16	0.00	0.16	0.16

**Tabla 6. Análisis Hidráulico**

Con base en la revisión hidráulica realizada, se puede concluir:

- La diferencia de altura disponible entre el desarenador y la PTAP es de 13.0 cm.
- Las pérdidas acumuladas en la tubería de conducción de 12” entre el desarenador y la PTAP son 16 m.

Por lo anterior, se recomienda ajustar la cota del vertedero de exceso y el vertedero de pared delgada de llegada a la PTAP en menos 5 cm. Con el ajuste de las alturas realizado se está cumpliendo con los requerimientos de flujo establecidos inicialmente en los diseños.

Lo que hace referencia al pozo de lodos, cambió de posición y se mantuvo en la altura prevista no presentó cambios drásticos y se mantuvieron las tuberías y conexiones inicialmente previstas, las pérdidas por accesorios no se calcularon al considerarse innecesario hacerlo ya que no fue importante el cambio.

## 6.5 OBRAS ANEXAS A LA PTAP

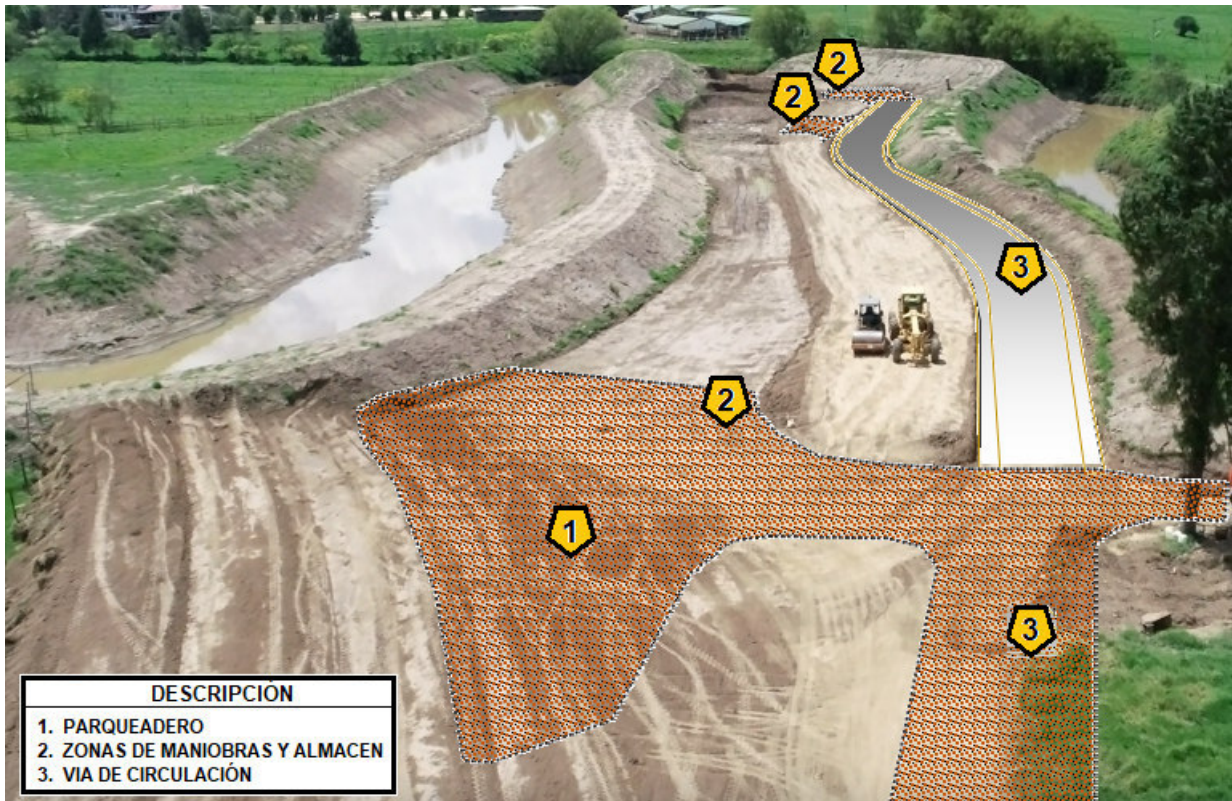
Como obras anexas y complementarias podemos ver que se encuentran las vías de acceso, los edificios administrativos y cuartos de controles, estos elementos fueron relocalizados

completamente en sitios diferentes a los inicialmente previstos, teniendo en cuenta que desde el punto de vista del funcionamiento de la PTAP tienen poca relevancia no se trataran en este documento sino en forma resumida.

### **6.5.1 Vías internas y acceso al predio**

Las vías internas planteadas inicialmente no contaban con un adecuado soporte para el pavimento y, al igual que los demás elementos, estaban fundadas muy cerca de la superficie del terreno natural. Al tener en cuenta, que la capa de material orgánica es considerable la capacidad de soporte de estas vías era limitada y no podía resistir las cargas impuestas por la estructura, por el tránsito ni por las condiciones propias del clima. En este sentido se modificó su soporte con la adición de una capa de rajón de estabilización y un filtro longitudinal para la captación de aguas de infiltración, así como un sistema de drenaje general que asegurara la recolección de las aguas de escurrimiento general.





**Figura 27. Modelo de Zonas de parqueo, vías y patios de maniobra. Fuente: Contratista**

En este aspecto se cambiaron las pendientes de la totalidad de los elementos involucrados ya que como se observa la sección transversal de la Figura 27, existía una depresión justo en la zona de la PTAP, que generaba una acumulación inadecuada de las aguas en el momento de las lluvias, de tal forma que se modificó la superficie del terreno para que la escorrentía se dirigiera a un solo punto, cerca del sector de disposición.

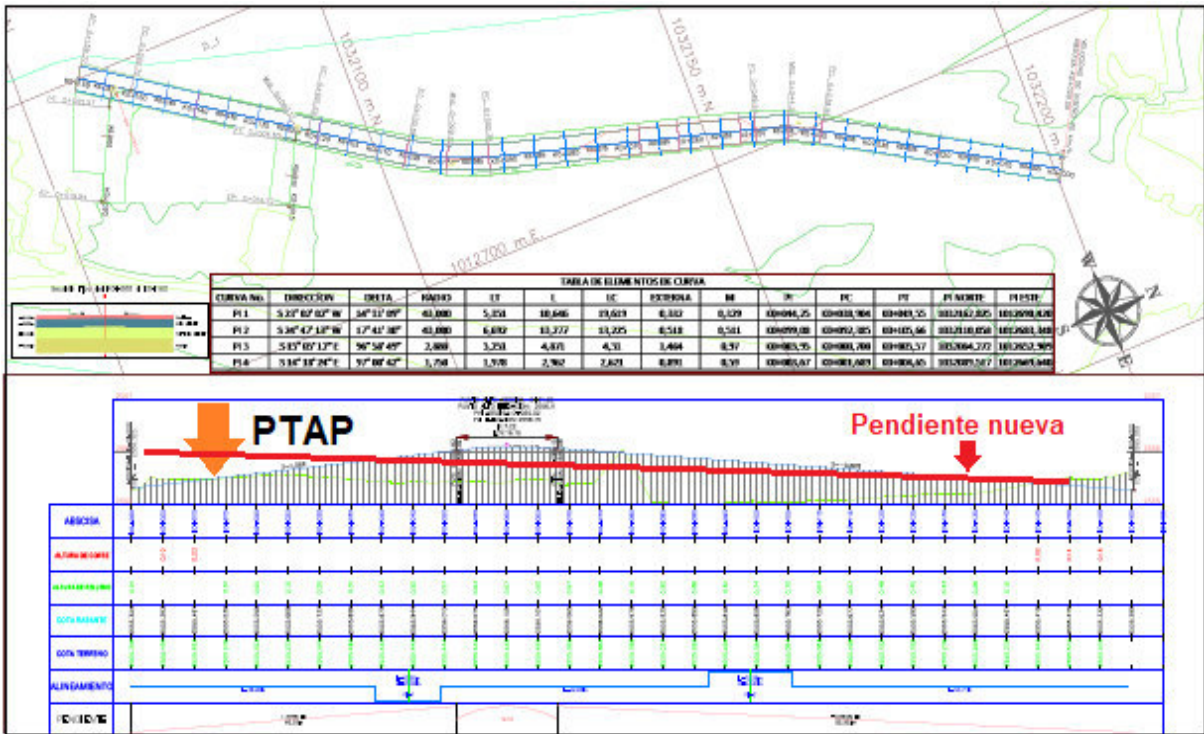


Figura 28. Pendientes longitudinales del lote y la vía.

Fuente: Contratista

Como se puede observar, el sistema de drenaje general del terreno de fundación de la planta se modificó completamente a fin de alejar las aguas de la zona de la PTAP y llevar este escurrimiento a un solo sitio para poder hacer un mejor manejo de estos caudales. Con el fin de estimar las magnitudes del escurrimiento se estableció una zona de trabajo aferente a los elementos de la obra, la cual se puede observar en la siguiente figura.

Cabe recalcar que por el espesor de los suelos orgánicos que cubren el lote y sus características geotécnicas es fundamental evitar que se saturen y no se permita el escurrimiento ya que podrían crear problemas de erosión, esto está sucediendo en algunos sitios donde se ubicaron las protecciones hidráulicas ya que se construyeron con material de préstamo y la revegetalización no alcanzó a cubrir esta superficie completamente.



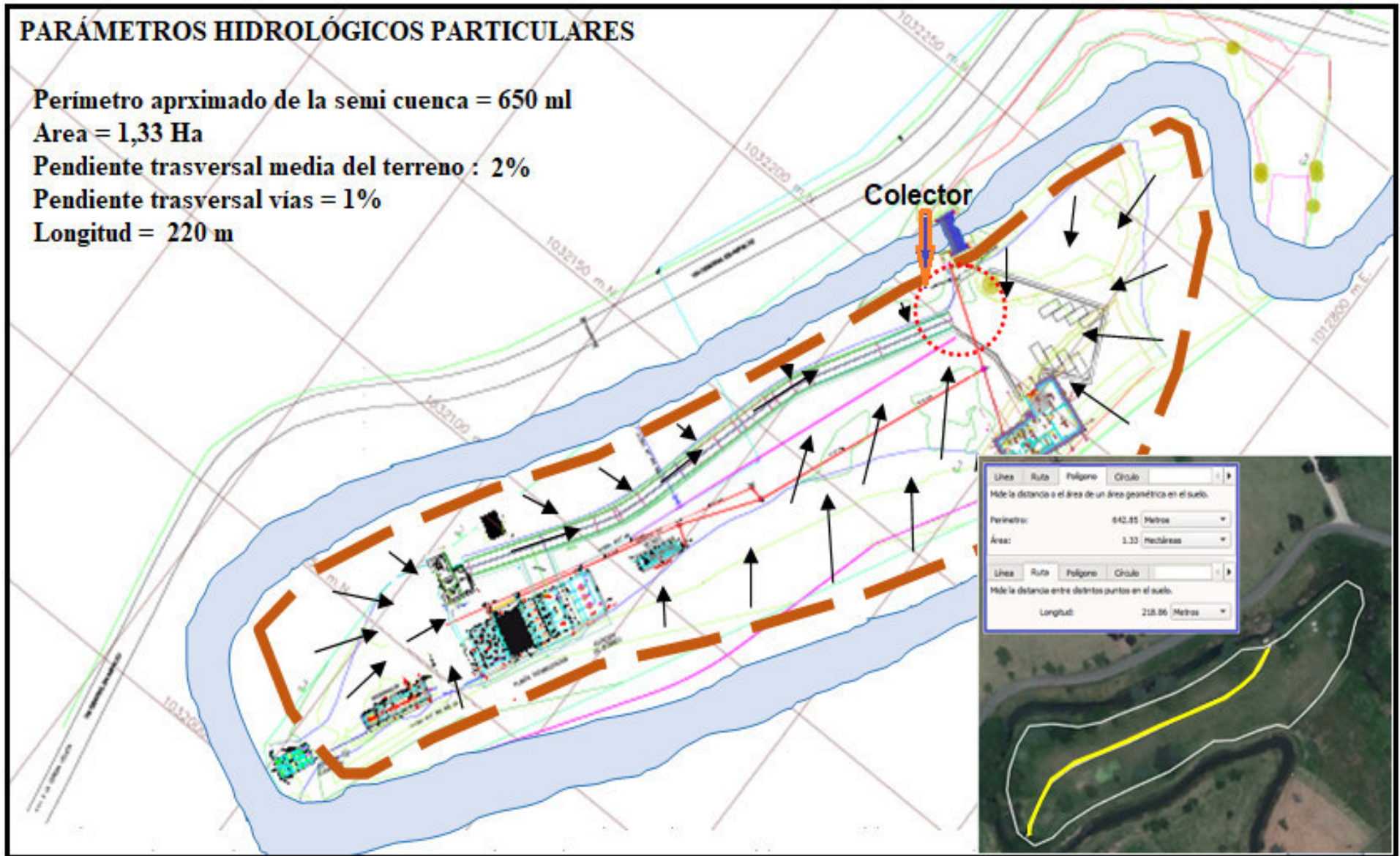


Figura 29. Flujo de las aguas del lote.

Fuente: Contratista



Respecto al alcantarillado, en los diseños iniciales solamente lo trazan en alguno de los planos, pero no existe cálculo del mismo. Este elemento fue también tenido en cuenta en la adecuación de los diseños porque encontró una anomalía riesgosa para el funcionamiento de la PTAP. La anomalía encontrada consistía en que el sitio de entrega, en las épocas de invierno, con las pendientes registradas en el plano inicial entregaba a una cota inferior a la lámina del río. Teniendo en cuenta que las aguas de rebose del a planta alimentan este alcantarillado se concluyó que la planta no podría funcionar por cerca de cuatro (4) meses al año por la imposibilidad de disponer dichas aguas.

Como se mencionó en los capítulos anteriores, el nivel freático, que coincide con la lámina de agua del río, fue necesario abatirlo con el sistema de filtración. Con una pendiente mínima al reservorio para la llegada de las aguas, queda a más de 2,00 m por debajo del nivel de aguas freáticas de tal forma que la posición de entrega del alcantarillado simplemente no puede hacerse por gravedad, sino que a este sistema se le tuvo que adecuar un sistema de bombeo para la disposición de estas aguas.

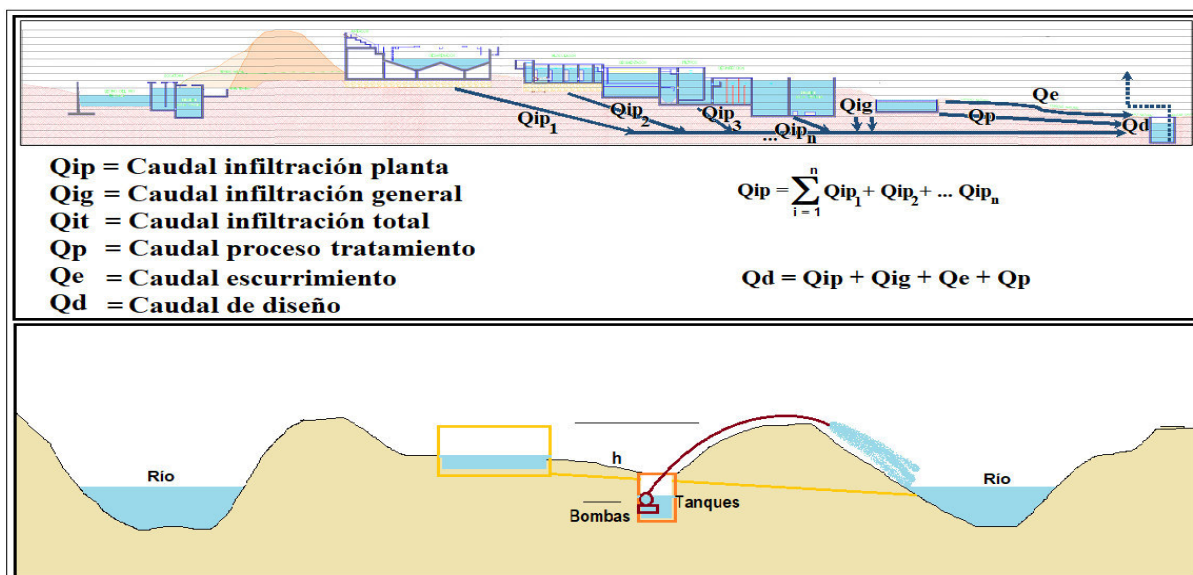


Figura 30. Bombeo aguas internas.

Fuente: Autores

### 6.5.2 Puente de acceso al predio

Como se mencionó en las partes preliminares del informe, el acceso al predio solo se puede hacer a través de un puente, dado que inicialmente el puente definitivo no se pudo iniciar teniendo en cuenta los múltiples factores ya explicados, fue necesario rediseñar el puente y construir uno provisional para el acceso al lote.



Figura 31. Puente definitivo de acceso al predio.

Fuente: Autores

En la panorámica se observa el cambio de localización del puente definitivo, ya que el puente inicial no fue viable desde el inicio, por lo tanto, se corrió al costado contrario con el fin de que la vía de acceso tenga un adecuado desarrollo en pendiente; en el lugar del puente inicial se adecuó un acceso provisional dado que se inició el diseño de una nueva estructura, en este punto se construyó, igualmente un paso peatonal para la entrada de personal y equipos de laboratorio, entre otros.



**Figura 32. Puente de acceso provisional al predio.**

**Fuente: Autores**

Es evidente que aun cuando se trata de obras anexas a la PTAP, el proyecto fue concebido con importantes dificultades desde el punto de vista de su localización y aquellos elementos influyeron en la puesta en marcha del proyecto.

En cuanto a las consideraciones técnicas del diseño del puente nuevo, específicamente lo relacionado con las consideraciones hidrológicas e hidráulicas, se establecieron una serie de elementos que se verán en forma general. Inicialmente el estudio de socavación de las pilas.

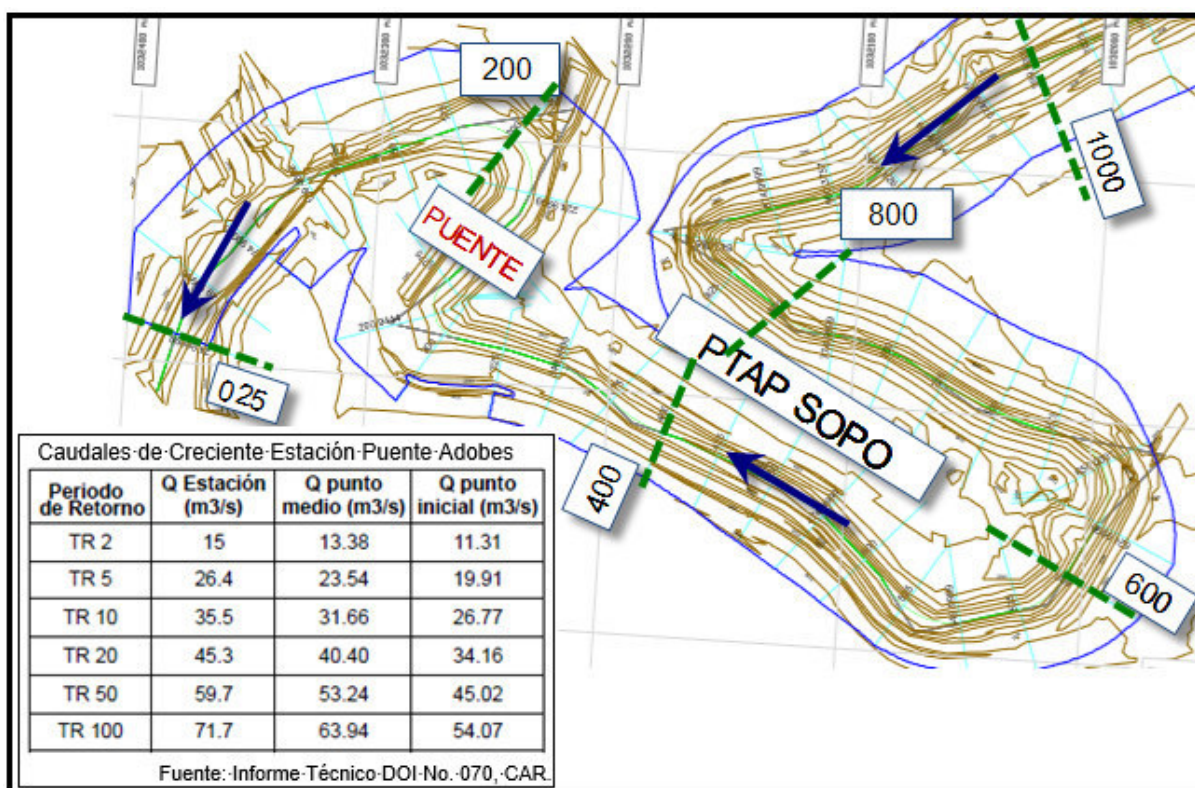
Con la información hidrológica recopilada y la batimetría del cauce, así como los estudios de suelos de la zona de ponteadero se examinaron las condiciones del cauce, el cual presenta una pendiente moderada, teniendo en cuenta que se trata de un río de valle. A partir de los datos de los caudales se establecieron perfiles hidráulicos, niveles y gálibos para el puente con un periodo de diseño de 50 y 100 años.

En los estudios contratados por la CAR, para la “Adecuación Hidráulica en el Río Teusacá” en el año 2017, se estimaron los caudales de crecientes para diferentes períodos de retorno en tres sectores del río Teusacá; Estación, Punto Medio y Tramo Inicial.



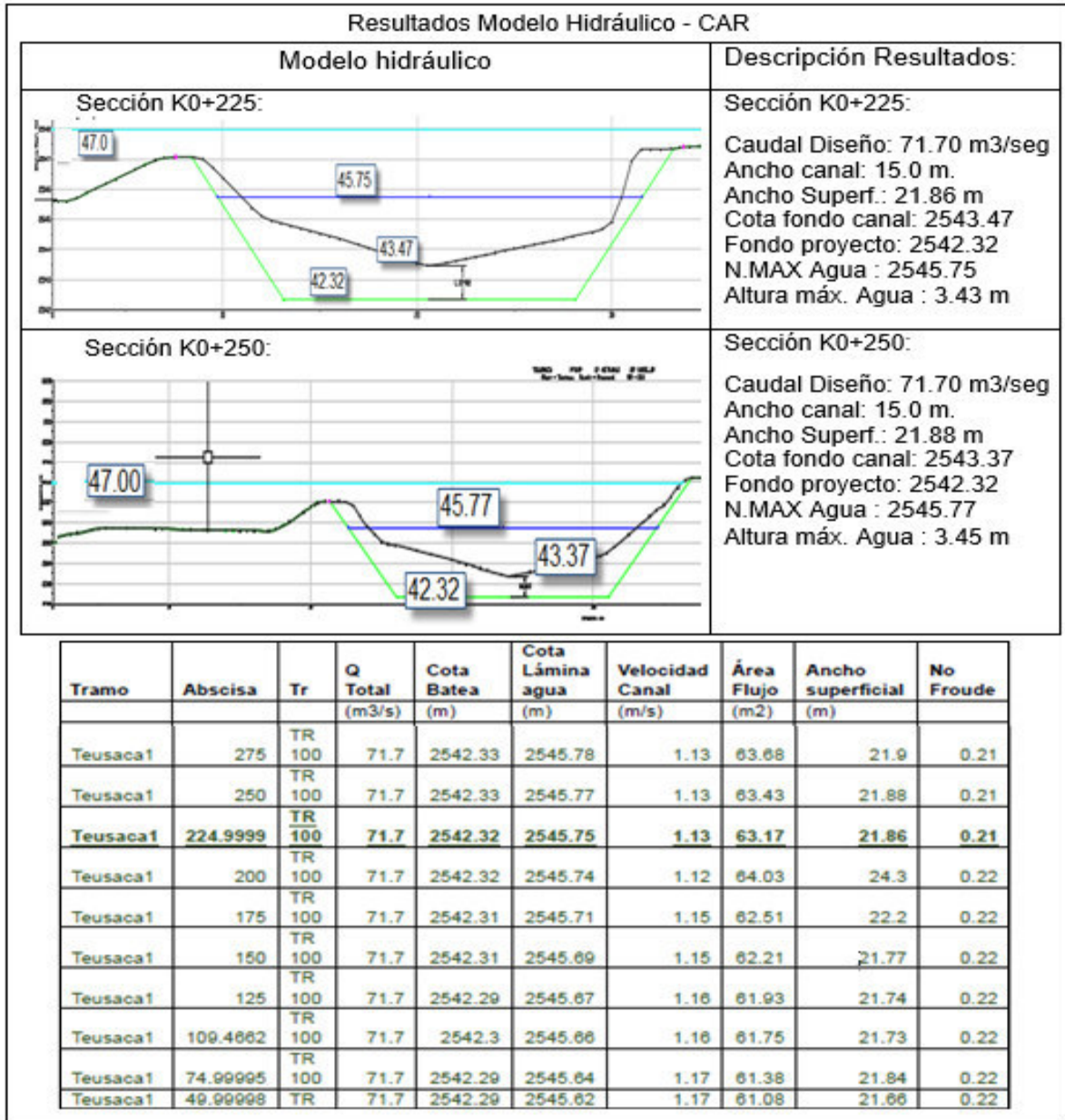
En el punto final que corresponde a la Estación limnimetrica Puente Adobes, operada por la CAR, se calcularon los caudales de creciente y de acuerdo con la información topográfica del proyecto, la PTAP del municipio se localiza aguas arriba del puente Adobes, entre las abscisas K0+200 a K0+800; la bocatoma se localiza en la abscisa K0+615 y el puente proyectado ente las abscisas K0+225 a K0+250.

En la figura No. 35 se presenta las abscisas del río Teusacá en la zona de construcción de la planta de tratamiento de agua potable; se resalta el sector entre K0+225 a K0+250 donde se tiene proyectado el puente de acceso a la planta.



**Figura 33. Localización y datos de caudales para estimación de la socavación.**

El modelo hidráulico implementado en el proyecto de la CAR arrojó los siguientes resultados para el río Teusacá en la zona del puente proyectado con la modelación hidráulica:



**Figura 34. Resultados modelo hidráulico CAR en las abscisas del puente. Fuente CAR**

En estas condiciones, el ancho mínimo del canal proyectado por la CAR es de 25,00 m con lo cual se genera una sección en la parte superior de 21, 80 m, en las abscisas estudiadas el río tendrá una profundidad de 1,00 m más que la actual, para el periodo de retorno de 100 años, el caudal de diseño considerado fue de 71,7 m<sup>3</sup>/s, altura 3,42 m y velocidad 1,15 m/s.

Para validar los caudales de diseño estimados en el estudio de la CAR, se procedió a recopilar la información de caudales máximos de la estación Puente Adobes y realizar un análisis de ajuste a distribuciones de frecuencia de la serie histórica de caudales máximos. Como la serie histórica de la estación está disponible entre los años 1970 a 2015 y algunos años presentan registros incompletos, se adoptaron los siguientes criterios para rechazar o aceptar un registro con datos incompletos:

1. Se aceptan el valor anual de aquellos años con 12 registros mensuales.
2. Para aquellos años con 11 registros mensuales, se acepta el valor anual si este es mayor al 90% del valor promedio.
3. Para aquellos años con 10 registros mensuales, se acepta el valor anual si este es mayor al 80% del valor promedio.
5. Para aquellos años con menos de 10 registros mensuales, se acepta el valor anual si este es mayor que el máximo valor de la serie.

La siguiente es la tabla de caudales máximos de la Estación Puente Adobes con el objeto de hacer el análisis para varias distribuciones de probabilidad para los caudales máximos de creciente de esta estación, ajuste a la distribución Normal, Gumbel, Pearson, Los Pearson y Log Normal, para periodos de retornos de 2.33, 10, 25, 50 y 100 años.

Serie Histórica de Caudales Máximos - Estación Puesto Adobes					
AÑO	Serie	Final	AÑO	Serie	Final
1970	13.08	13.08	1994	13.99	13.99
1971	12.68	12.68	1995	12.26	12.26
1972	17.33	17.33	1996	13.41	13.41
1973	14.85	14.85	1997	9.94	9.94
1974	9.92	9.92	1998	18.73	18.73
1975	13.65	13.65	1999	11.29	11.29
1976	11.87	11.87	2000	10.137	10.137
1977	9.69	9.69	2001	9.184	9.184
1978	9.69		2002	13.16	13.16
1979	17.08	17.08	2003	6.251	6.251
1980	16.49	16.49	2004	8.885	
1981	12.39	12.39	2005	11.03	
1982	36.78	36.78	2006	12.245	12.245
1983	27.21	27.21	2007	6.547	6.547
1984	41.71	41.71	2008	1.126	
1985	64.44	64.44	2009		0
1987	40.15	40.15	2010	66.5	66.5
1988	39.24	39.24	2011	15.3	15.3
1989	42.34	42.34	2012	18.63	18.63
1990	12.63		2013	10.14	10.14
1991	23.67	23.67	2014	10.14	10.14
1992	26.13	26.13	2015	15.3	
1993	19	19			

**Análisis de frecuencias Caudales Máximos, Estación Puesto Adobes.**

Probabilidad	Periodo de Retorno	VALOR ESPERADO DE DISTRIBUCIÓN PARA CADA Tr				
		NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR
0.571	2.33	23	21	18	17	18
0.8	5	33	33	29	26	28
0.9	10	39	42	39	37	38
0.96	25	46	55	52	54	51
0.98	50	50	64	62	71	62
0.99	100	54	73	72	92	75
0.995	200	58	82	83	118	88

Tabla 7. Datos de análisis de caudales.

Fuente: Contratista

De la prueba chi-cuadrado realizada para probar la hipótesis de distribución, en la distribución Log – Normal se obtuvieron los menores valores, por consiguiente, se puede decir que los caudales de creciente de la estación Puesto Adobes para Tr= 50 años es 62 m<sup>3</sup>/seg y Tr= 100 años 75.0 m<sup>3</sup>/seg.

Como los resultados anteriores son similares a los obtenidos en los estudios contratados por la CAR para la “Adecuación Hidráulica en el Río Teusacá” en el año 2017, se validan los caudales de diseño.

El periodo de retorno de la creciente de diseño de una obra de drenaje vial está ligado a la probabilidad de excedencia del caudal máximo instantáneo (o al riesgo permisible de que el caudal de diseño sea superado) durante la vida útil de la obra, mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - k)^{1/n}}$$

Dónde:

T= Periodo de retorno en años.

K= Riesgo permisible, Valor adimensional.

n= Vida útil de la obra, años.

Los periodos de retorno recomendados por el INVIAS, para el cálculo de caudales máximos instantáneos establecen que para una luz entre 10 y 50 m el periodo de retorno debe ser de 50 años, sin embargo, se hicieron comparaciones con un periodo de retorno de 100 años a fin de verificar el nivel de lámina para diferentes eventos hidrológicos para este sector.

Para este caso en particular, el puente tiene una luz de 22,0 m, sobre la cota 2557,2 con una altura de la viga superior de 1,50 m, cota 2555,71. Con los perfiles topográficos se efectuó la modelación HEC – RAS para flujos permanentes y no permanentes.



Con el programa HEC-RAS los perfiles del agua se determinan de una sección a otra, resolviendo la ecuación de energía utilizando un procedimiento denominado como método estándar por pasos. La ecuación de energía utilizada es la siguiente:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Siendo:

WS<sub>1</sub>, WS<sub>2</sub>: Niveles del agua en las secciones transversales 1 y 2.

V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>: Velocidades medias del flujo de las secciones 1 y 2.

α<sub>1</sub>, α<sub>2</sub>: Coeficientes de corrección a la velocidad.

g: Aceleración de la fuerza de gravedad.

h<sub>e</sub>: Pérdidas de energía.

Las pérdidas de energía entre dos secciones se componen de pérdidas por fricción y pérdidas por contracción o expansión. Este valor se determina de la siguiente manera:

$$h_e = L * S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Siendo:

L: Longitud entre secciones.

S<sub>f</sub>: Pendiente de fricción entre dos secciones

C: Coeficiente de pérdidas por expansión o contracción.

Para cada sección se aplica la fórmula de Robert Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Siendo:

- Q: Caudal de diseño
- A: Área de la sección transversal
- R: Radio hidráulico
- S: Pendiente longitudinal del cauce
- n: Coeficiente de rugosidad de Manning

Con base en los caudales obtenidos en el estudio de la CAR, se procedió a realizar la modelación hidráulica del río Teusacá, asumiendo los mismos parámetros hidráulicos del estudio de la CAR; coeficiente de Manning de 0.040.

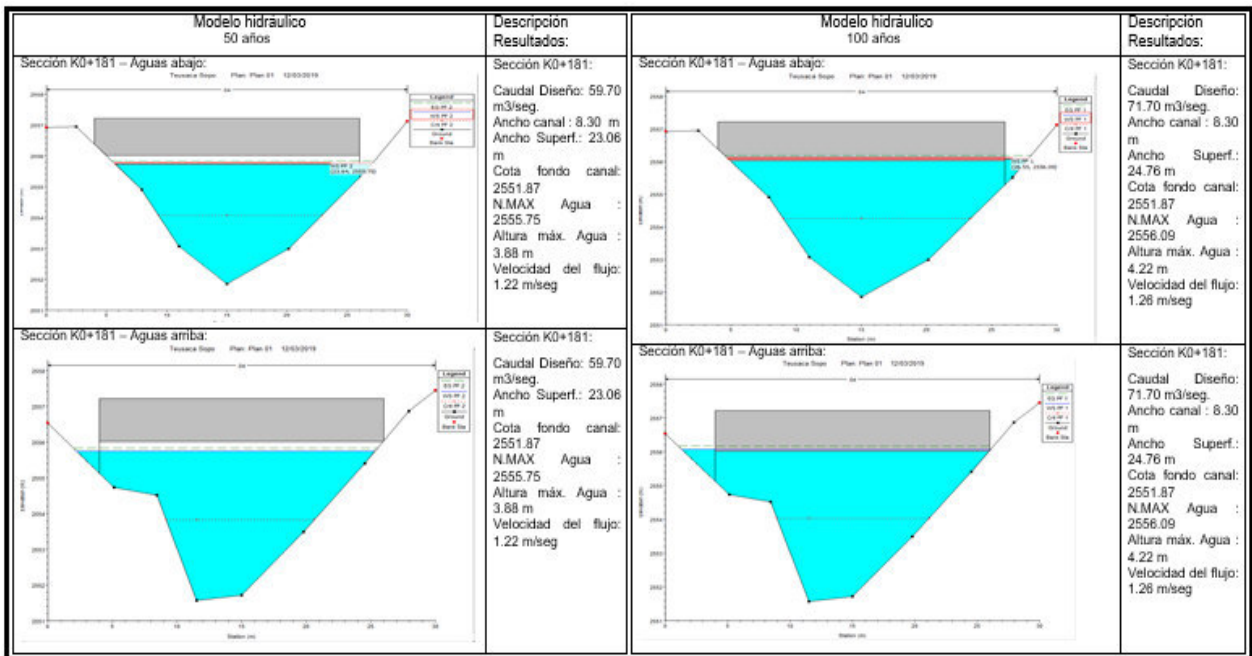


Figura 35. Modelación hidráulica para 50 y 100 años.

Fuente: Contratista

Por lo anterior, para el periodo de retorno de 50 años el caudal de diseño es de 59,7 m<sup>3</sup>/s, lámina de agua 2555,75 msnm y 3,88 m de lámina de agua y para 100 años 71,7 m<sup>3</sup>/s

caudal, cota 2556,1 y 4,22 m de lámina de agua. Lo anterior establece que el nivel del jarillón debe incrementarse en 2,00 m sobre el nivel actual de la estructura de protección hidráulica, lo que genera una pendiente transversal de la aproximación externa del puente de 4% y de 7% hacia el interior del lote.

PERIODO DE RETORNO	AÑOS	Teusacá	Teusacá
		50	100
Qd= Caudal de diseño	m3/s	59,7	71,7
μ Coeficiente de contracción		0,98	0,96
Luz puente			
Be = Anchura efectiva de la superficie de agua	m	21,42	22,98
A = area hidráulica	m2	46,35	53,59
V = velocidad del flujo en la sección	m/s	1,29	1,34
dm = A/Be= Profundidad media de la corriente	m	2,16	2,33
H = nivel mínimo de estiaje	m	2551,87	2551,87
H = nivel máximo de creciente	m	2555,75	2556,09
do = Diferencia de profundidades entre niveles máximos y mínimos	m	3,88	4,22
β = 0.8416+0.03342*Ln (T)		0,97	1,00
D84 =	m	0,001	0,001
α = Qd/(μ*Be*(dm)^(5/3))		0,79	0,79
<b>LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION SERA:</b>			
ds = ((α*do^(5/3))/(4.7*β*D84^(0.28)))^(Factor)	m	5,54	6,05
Factor Ecuacion: D84^(0.092)/(0.223+D84^(0.092))		0,70	0,70
Socavación esperada:	m	1,66	1,83
Método Maza Álvarez:	$d_s = \left( \frac{\alpha d_o^{5/3}}{4.7 \beta D_{84}^{0.28}} \right)^{\frac{d_{s4}^{0.092}}{0.223 + D_{s4}^{0.092}}}$		
Coeficiente para calcular la velocidad media y es función de la geometría de la sección del río.	$\alpha = \frac{Q_d}{m * B_e * d_m^{5/3}}$		
Profundidad media de la sección en m			
Altura, entre el nivel del agua al pasar la creciente y el nivel del fondo, en m.			
Profundidad de socavación medida desde el nivel del agua al pasar la avenida hasta el nivel del fondo erosionado.			
Caudal máximo de diseño en m3/s			
Anchura efectiva de la sección, en m			
Coeficiente que tiene en cuenta el efecto de contracción lateral del flujo por los estribos del puente.			

Tabla 8. Cálculo de socavación.

Fuente: Contratista

A partir de lo anterior (Figura 34), se establece el perfil de socavación, considerando el efecto combinado de las socavaciones; general, transversal o por contracción y local, con un valor de 1,83 m.

## 7 ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO DEL CONTRATO

Con cerca del 50% de adelanto en la actualización de los estudios y diseños de la PTAP, se dio visto bueno para el inicio de las obras del contrato en el mes de julio de 2019 y a la fecha 30 de agosto de 2019, aún se están haciendo ajustes, además se tramitó una suspensión de un (1) mes que termina el 12 de septiembre de 2019.

El siguiente es el registro fotográfico de los elementos que se han podido construir desde el inicio de la ejecución del contrato de obra.



**Figura 36. Construcción de tanques de desinfección y agua potable.**

**Fuente: Autores**

Se aprecia el vaciado de los muros laterales de los tanques de desinfección, tanques de agua potable y los de sistemas de bombeo, también de agua potable, en lo que respecta a la cimentación está completamente terminada.



**Figura 37. Construcción de desarenador.**

**Fuente: Autores**

El desarenador es tal vez la estructura de mayor complejidad del sistema desde el punto de vista constructivo ya que las formas y el detalle que se debe dar al concreto es difícil de elaborar, en este caso ya está terminado lo relacionado con el cimiento y las obras de estabilización y realce del elemento.





**Figura 38. Construcción de lecho de lodos.**

**Fuente: Autores**

El lecho de lodos solamente tiene vaciado el piso, el cimiento está terminado, esta estructura es pequeña y tiene una complejidad baja.



**Figura 39. Construcción de vías internas.**

**Fuente: Autores**



Al igual que los elementos en construcción, las vías cuentan con su cimiento y el sistema de filtros laterales.

Finalmente, de acuerdo al estado actual del desarrollo del contrato se establece la gestión de cambios destinada a redireccionar los estudios y diseños, así como las circunstancias sobrevinientes hacia el camino de poseer una herramienta de consultoría mucho más eficiente la cual sirve de base para la materialización del proyecto.

Como actores directos de la investigación aplicada y estudiantes de la Especialización en recursos hídricos de la Universidad Católica de Colombia, se participó en lo siguiente:

La dirección de la etapa de revisión de los estudios y diseños, la cual generó como producto inicial, el requerimiento a la entidad contratante de una consultoría más apropiada para ejecutar la materialización del proyecto.

Se efectuó la primera revisión del material entregado por EMSERSOPO, que consistió en:

- Parámetros generales de oferta y demanda y parámetros generales
- Aspectos de hidrología de la planta
- Estudios y diseños del puente de acceso a la planta
- Estudios y diseños de las estructuras hidráulicas
- Estudios y diseños eléctricos
- Estudios y diseños de vías internas, zonas de parqueo y maniobra
- Estudios y localización del sistema

Se encontraron falencias en la mayor parte de estos productos, se formularon ajustes a ellos y se rediseñaron algunos de ellos, dentro de los cuales se participó en lo siguiente:

1. Formulación de lineamientos para la adecuación de la PTAP, teniendo en cuenta que se cambiaron las condiciones iniciales del lote de terreno de implantación.
2. Relocalización de las estructuras
3. Estudios de suelos para la caracterización de los suelos de fundación, determinación de potenciales de erosión, socavación e infiltración.
4. Estudios y diseños de las fundaciones de la totalidad de las estructuras, adecuación del sistema de drenaje superficial y sub superficial.

5. Estudios y diseños para las vías internas, zonas de parqueo y maniobras.
6. Estados de suelos y cimentaciones profundas para el puente y la bocatoma.

Para las actividades propias del diseño estructural se involucró el especialista en estructuras que de manera conjunta estableció, donde se requería, los nuevos elementos estructurales faltantes.

Para el sistema hidráulico de la PTAP, en lo que hace referencia a la dinámica interna de cada elemento, como se mencionó en el documento, no se varió, sin embargo, se convocó al diseñador hidráulico para que revisara lo que había diseñado y avalara aquellos elementos nuevos que surgieron con la revisión y adecuación del sistema a las condiciones actuales.

Se contrató un Ingeniero hidráulico para que chequeara los caudales de captación y las alturas de las entradas de las mismas y ajustará las cotas de la bocatoma, igualmente para que hiciera el estudio de socavación y cota de inundación, aplicable a la PTAP y al Puente de acceso.

Como se observa, la participación dentro del proceso de ajuste a estudios y diseños de parte de los estudiantes de la Especialización, resultó ser fundamental para la solución de una buena parte de los conflictos generados por una consultoría deficiente y unas circunstancias sobrevinientes no esperadas.

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo muestra el resultado al seguimiento de la ejecución de una obra específica en el campo de la Ingeniería de los Recursos Hídricos, específicamente una planta de tratamiento de agua potable que se encuentra localizada muy cerca de la Ciudad de Bogotá y que por circunstancia sobrevinientes presentó problemas para el inicio de la ejecución de las obras y fue necesaria una reingeniería o una gestión de cambios a fin de lograr conseguir procedimientos que permitiera ajustar los estudios y diseños para llevar a feliz término la ejecución de las obras de construcción.

Dentro de las actividades desarrolladas se pudo concluir.

- Revisada la documentación entregada por la entidad contratante para la revisión de la consultoría con la cual se efectuarían los trabajos de campo, se pudieron detectar una serie de falencias en los diferentes productos, lo cual trae consigo la imposibilidad, para el constructor, de lograr ejecutar la fase de desarrollo del proyecto.
- Dentro de las anomalías detectadas se pudieron encontrar que no existen los detalles geotécnicos, hidráulicos, estructurales y de ingeniería de detalle con los que se pudiera construir la planta.
- En primera instancia sin el planteamiento de una cimentación y con la naturaleza del suelo no era posible dar inicio a las actividades de construcción de las bases de los elementos; sin la existencia de planos estructurales coherentes con la ingeniería hidráulica no existe, para el constructor, la concordancia que se debe dar entre los elementos estructurales y los flujos hidráulicos dentro de dichos elementos ya que, por ejemplo, en los planos estructurales no existen las oquedades y pasos de agua en algunos sitios, que permitan el flujo real del agua y en los esquemas hidráulicos sí.

- Se pudo constatar que se abre la posibilidad para crear un nuevo ítem contractual “Ajuste a los estudios y diseños” y que en virtud de que la consultoría obedece a un proceso de contratación previo, el consultor deberá ser involucrado dentro de estas actividades a fin de suplir las deficiencias encontradas so pena de infringir la Ley y estar involucrado en un proceso jurídico de incumplimiento con los efectos sancionatorios legales, disciplinarios y penales sobre los interesados que participaron en forma directa en dichos procesos.

Dentro de las actividades tendientes a desarrollar una metodología de trabajo es importante mencionar los siguientes aspectos:

1. Fue fundamental hacer una descripción general de la tipología de plantas de tratamiento de agua potable ya que con ello se pudo ubicar la estructura hidráulica estudiada y verificar así algún tipo de posible discrepancia que desde ese punto de vista se pudiera obtener para plantas de similares características.
2. Con el estudio de los documentos iniciales se pudieron establecer los principales problemas que generaron el cambio en las condiciones iniciales de trabajo para el contratista ejecutor de las labores de campo.
3. Se pudo verificar la verdadera incidencia de la reducción del área de trabajo y el cambio de las condiciones hidrológicas e hidráulicas del cauce del Río y su impacto en el funcionamiento de los elementos de la PTAP.
4. Se establecieron los procedimientos de trabajo la gestión del cambio y los ajustes necesarios para tener un producto adecuado de consultoría con el cual se pudiera hacer realidad el proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

Arboleda, j. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: Mc GRAW HILL

CHAVARRO, Rodríguez Daniel Alfonso. Diseño de una planta de tratamiento de agua potable de 2 l/s para una población de 750 habitantes. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.

Chow, V. T., et al. Hidrología Aplicada. Mc GRAW-HILL. Santafé de Bogotá. 1994.

Corcho F y Duque J. Acueductos Teoría y diseño. Universidad de Medellín.

FANDIÑO PIAMONTE, J. S. (2016). Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de purificación en el departamento del Tolima. Bogotá: Repositorio Institucional Tesis Base de Datos.

Maldonado Y, V. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración. rápida. sedimentación. lima: CEPIS/OPS.

República de Colombia Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (10 de Noviembre de 2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, de Ras2000: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO%2030714.pdf>

Romero Rojas, J. A. (2006). Purificación del agua. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Organización Mundial de la Salud. (22 de 03 de 2015). Guías para la calidad del agua potable. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/).

ROMERO ROJAS, J. A. (1999). Potabilización del Agua. En J. A. ROMERO ROJAS. México DF: Alfaomega Grupo Editor SA.

Romero, R. J. Purificación del Agua, Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 2004.

SISTEC, A. (s.f.). Solucioin en tratamientos de agua. Obtenido de Planta de tratamiento de agua potable: <http://www.aguasistec.com/planta-detratamiento-de-agua-potable.php>(2016)

## **8.1 REFERENCIAS VIRTUALES**

Aguasistec, (2019), planta de tratamiento de agua, Calle José Jiménez Borja 180, San Borja - Lima 41, Perú: Recuperado de <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua.php>

Fibras y normas de Colombia S.A.S, (2019), Bucaramanga – Colombia, texto de consulta de <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/potabilizacion-definicion-etapas-del-proceso-e-importancia/#Impulsion>

Fibras y normas de Colombia S.A.S, (2019), Bucaramanga – Colombia, texto de consulta de <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/coagulacion-floculacion-definicion/>

Escuela Superior Técnica. Ingenieros e Caminos Canales y Puertos. FILTRACIÓN.  
Revista 140211. Ingeniería Ambiental – Grado en Tecnología en Ingeniería Civil.  
C:/Users/ING%20ROBIN/Downloads/TEMA-filtracion%20rapida-rev140211-ajb.pdf