



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 26 de septiembre de 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

JEISMEN CAMILO OLAYA SUACHE, con C.C. No. 1075320547

DANIEL SANTIAGO PERDOMO GUTIERREZ, con C.C. No. 1007704748

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o Trabajo de grado

Titulado Diagnóstico de la Planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hobo, Huila, desde la captación hasta el almacenamiento en planta.

presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de

Ingeniero Civil;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

JEISMEN CAMILO OLAYA SUACHE

DANIEL SANTIAGO PERDOMO GUTIÉRREZ

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hobo, Huila desde su captación hasta el almacenamiento en planta.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
OLAYA SUACHE	JEISMEN CAMILO
PERDOMO GUTIÉRREZ	DANIEL SANTIAGO

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
IZQUIERDO BAUTISTA	JAIME

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** INGENIERO CIVIL

**FACULTAD:** INGENIERIA

**PROGRAMA O POSGRADO:** INGENIERIA CIVIL

**CIUDAD:** NEIVA      **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2022      **NÚMERO DE PÁGINAS:** 87

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



Diagramas \_\_\_ Fotografías X Grabaciones en discos \_\_\_ Ilustraciones en general \_\_\_ Grabados \_\_\_  
Láminas \_\_\_ Litografías \_\_\_ Mapas X Música impresa \_\_\_ Planos X Retratos \_\_\_ Sin ilustraciones \_\_\_  
Tablas o Cuadros X

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Diagnóstico	Diagnosis
2. Evaluación	Evaluation
3. Recomendación	Recommendation
4. Abastecimiento	Supply
5. Cálculo hidráulico	Hydraulic Calculation
6. Planta tratamiento agua potable	Drinking water treatment plant

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

En el presente trabajo se ha llevado a cabo un diagnóstico al sistema de abastecimiento de agua del municipio de Hobo, desde la captación hasta el almacenamiento, con la finalidad de establecer las posibles razones del desabastecimiento de agua potable en la localidad. El desarrollo contempla la elaboración de cálculos hidráulicos para la evaluación de criterios establecidos en el RAS 2000 y los planteados por figuras de autoridad en el tema. De igual forma, se plantean recomendaciones respecto al funcionamiento de las estructuras examinadas en base a los resultados obtenidos y su comparativa con los parámetros establecidos en la Resolución 330 de 2017, buscando la mejora en los procesos del sistema. Por otro lado, el trabajo contempla la elaboración de los planos respectivos a las estructuras analizadas y el reconocimiento topográfico de la zona de estudio mediante el uso de herramientas digitales como Google Earth y AutoCad



**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

In the present work, a diagnosis of the water supply system of the town of Hobo has been carried out, from collection to storage, in order to establish the possible reasons for the shortage of drinking water in the locality. The development contemplates the elaboration of hydraulic calculations for the evaluation of test established in the RAS 2000 and those proposed by authority figures on the subject. Similarly, recommendations are made regarding the operation of the examined structures based on the results obtained and their comparison with the parameters established in Resolution 330 of 2017, seeking improvement in the system's processes. On the other hand, the work contemplates the elaboration of the respective plans to the analyzed structures and the topographical recognition of the study area through the use of digital tools such as Google Earth and AutoCad.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado: Jackson Andrés Gil Hernández

Firma:

Nombre Jurado: Nadia Brigitte Sanabria Méndez

Firma:



**Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hobo,  
Huila, desde la captación hasta el almacenamiento en planta.**

**Jeismen Camilo Olaya Suache 20171154659**

**Daniel Santiago Perdomo Gutiérrez 20171155806**

**Universidad Surcolombiana de Colombia**

**Facultad de ingeniería**

**Neiva, Colombia**

**2022**

**Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hobo,  
Huila, desde la captación hasta el almacenamiento en planta.**

**Jeismen Camilo Olaya Suache 20171154659**

**Daniel Santiago Perdomo Gutiérrez 20171155806**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar por al título de:

Ingeniero Civil

Director:

Jaime Izquierdo Bautista.

Línea de investigación:

Acueductos y alcantarillado.

Universidad Surcolombiana de Colombia

Facultad de ingeniería

Neiva, Colombia

2022

## Dedicatoria

*A mi familia, por el apoyo que me han brindado para cumplir con mis objetivos en la vida, y su acompañamiento en mi formación tanto académica como personal.*

*Jeismen Olaya*

*A Dios y a mi familia, en especial a mis padres, por todo el apoyo que me han dado para lograr lo que me proponga y por estar siempre para mí en toda circunstancia.*

*Daniel Perdomo*



## Agradecimientos

Principalmente a mi familia, por brindarme su apoyo en el desarrollo de mi formación y ser mi fuente de motivación para seguir adelante y cumplir mis metas. Por otro lado, a todas las personas que me acompañaron en esta en las diferentes etapas de mi vida, y que para bien o para mal, me han permitido crecer.

Jeismen Olaya

Agradezco infinitamente a toda mi familia, a mis padres por su desmedido apoyo, a mis tías Lina y Ata y a mi tío Arturo por la mano que siempre me brindaron, a mi novia Daniela por siempre su incondicionalidad y cariño, a mis profesores por todo el conocimiento y carácter que me han entrega y forjado y a todos mis compañeros y amigos en especial a Carolina, Jeismen, Jorge, Carlos, Juan Pablo, Elian, Felipe, Nicolas, Ana, Paula, Lucia y Javier porque la universidad sin ellos no habría tenido ningún sentido.

Daniel Perdomo

## Resumen

En el presente trabajo se ha llevado a cabo un diagnóstico al sistema de abastecimiento de agua del municipio de Hobo, desde la captación hasta el almacenamiento, con la finalidad de establecer las posibles razones del desabastecimiento de agua potable en la localidad. El desarrollo contempla la elaboración de cálculos hidráulicos para la evaluación de criterios establecidos en el RAS 2000 y los planteados por figuras de autoridad en el tema. De igual forma, se plantean recomendaciones respecto al funcionamiento de las estructuras examinadas en base a los resultados obtenidos y su comparativa con los parámetros establecidos en la Resolución 330 de 2017, buscando la mejora en los procesos del sistema. Por otro lado, el trabajo contempla la elaboración de los planos respectivos a las estructuras analizadas y el reconocimiento topográfico de la zona de estudio mediante el uso de herramientas digitales como Google Earth y AutoCad

**Palabras clave:** Diagnóstico, evaluación, recomendación, abastecimiento, cálculo hidráulico, planta de tratamiento de agua potable.

## Abstract

In the present work, a diagnosis of the water supply system of the town of Hobo has been carried out, from collection to storage, in order to establish the possible reasons for the shortage of drinking water in the locality. The development contemplates the elaboration of hydraulic calculations for the evaluation of test established in the RAS 2000 and those proposed by authority figures on the subject. Similarly, recommendations are made regarding the operation of the examined structures based on the results obtained and their comparison with the parameters established in Resolution 330 of 2017, seeking improvement in the system's processes. On the other hand, the work contemplates the elaboration of the respective plans to the analyzed structures and the topographical recognition of the study area through the use of digital tools such as Google Earth and AutoCad.

**Keywords:** Diagnosis, evaluation, recommendation, supply, hydraulic calculation, drinking water treatment plant.

# Contenido

1. Introducción.....	1
2. Generalidades .....	2
2.1 Antecedentes y justificación .....	2
2.2 Planteamiento del problema .....	3
2.3 Objetivos .....	3
2.3.1 Objetivo general.....	3
2.3.2 Objetivos específicos .....	3
2.4 Delimitación de la justificación .....	3
2.5 Marco referencial.....	4
2.5.1 Marco conceptual .....	4
2.5.2 Marco teórico.....	5
2.5.3 Marco normativo .....	7
2.5.4 Marco contextual .....	10
3. Metodología.....	14
3.1 Fase 1. Proyección de población y determinación de la demanda de agua .....	14
3.1.1 Métodos de análisis poblacional para la determinación de la población proyectada .....	14
3.1.2 Determinación de la dotación neta y bruta de acuerdo con el RAS-2000 y a la población proyectada .....	17
3.1.3 Cálculo del caudal de demanda del municipio de Hobo.....	17
3.2 Fase 2. Inspección y medición de la red principal de captación y transporte hasta la PTAP.....	18
3.2.1 Captación .....	19
3.2.2 Aducción .....	20
3.2.3 Desarenador.....	21
3.2.4 Conducción .....	22
3.3 Fase 3. Diagnóstico de las estructuras hidráulicas de la PTAP y almacenamiento de agua potable	23
3.3.1 Canaleta Parshall.....	23
3.3.2 Floculadores.....	24
3.3.3 Sedimentadores .....	24
3.3.4 Filtros .....	25
3.3.5 Tanques de almacenamiento.....	25
4. Resultados.....	26

4.1 Fase 1. Proyección de población y determinación de la demanda de agua .....	26
4.1.1. Métodos de análisis poblacional (geométrico, exponencial, aritmético) para la determinación de la población proyectada.....	26
4.1.2. Determinación de la dotación neta y bruta de acuerdo con el RAS-2000 y a la población proyectada .....	26
4.1.3 Cálculo del caudal de demanda del municipio de Hobo.....	27
4.2 Fase 2. Inspección y medición de la red principal de captación y transporte hasta la PTAP.....	27
4.2.1 Captación .....	27
4.2.2 Aducción .....	32
4.2.3 Desarenador.....	33
4.2.4 Conducción .....	37
4.3 Fase 3. Diagnóstico de las estructuras hidráulicas de la PTAP y almacenamiento de agua potable	40
4.3.1 Canaleta Parshall.....	40
4.3.2 Floculadores.....	42
4.3.3 Sedimentadores .....	44
4.3.4 Filtros .....	45
4.3.5 Tanques de almacenamiento.....	47
5. Conclusiones y recomendaciones.....	49
5.1 Conclusiones .....	49
5.2 Recomendaciones .....	49
Bibliografía .....	51
ANEXOS .....	53
ANEXO A. Fase 1. Proyección de población y determinación de la demanda de agua .....	53
ANEXO B. Fase 2. Inspección y medición de la red principal de captación y transporte hasta la PTAP .	53
ANEXO C. Fase 3. Diagnóstico de las estructuras hidráulicas de la PTAP y almacenamiento de agua potable.....	61

## Lista de figuras

Figura 1. Localización Geográfica del Municipio de Hobo. Fuente: Alcaldía de Hobo, 2013.....	11
Figura 2. División Política del Municipio de Hobo. Fuente: Alcaldía de Hobo, 2020.....	11
Figura 3. Bocatoma de fondo.....	28
Figura 4. Fuga de agua en muro de contención.....	28
Figura 5. Cámara de recolección primaria.....	29
Figura 6. Cámara de recolección secundaria.....	29
Figura 7. Primera cámara de vertedero.....	30
Figura 8. Segunda cámara de vertedero.....	30
Figura 9. Tercera cámara de vertedero.....	30
Figura 10. Tubería de excesos 12".....	31
Figura 11. Apique encontrado en tubería de aducción.....	33
Figura 12. Desarenador 1.....	34
Figura 13. Desarenador 2.....	34
Figura 14. Cámara de recolección aguas lluvia y de desarenador 1.....	35
Figura 15. Perforaciones de tubería PVC 3" entrada del desarenador.....	35
Figura 16. Válvula de lavado y mantenimiento desarenador 2.....	35
Figura 17. Entrada cámara de excesos desarenadores.....	36
Figura 18. Vertedero de salida desarenadores.....	36
Figura 19. Prolongación tubería 10" suspendida en el aire.....	38
Figura 20. Tubería apoyada en gaviones con anclajes.....	38
Figura 21. Fuga tubería de conducción 10".....	38
Figura 22. Apique encontrada tubería de conducción 10".....	39
Figura 23. Canaleta Parshall.....	40
Figura 24. Canaleta Parshall, mezcla rápida de tipo hidráulica.....	41
Figura 25. Vertedero canaleta Parshall.....	41
Figura 26. Floculador.....	42
Figura 27. Cámara de vertedero para mantenimiento y limpieza.....	43
Figura 28. Entrada del flujo a los floculadores.....	43
Figura 29. Sedimentador.....	44
Figura 30. Tubería perforada.....	44
Figura 31. Filtros.....	46
Figura 32. Cámara de salida a los tanques de almacenamiento.....	46
Figura 33. Cámara de desagüe y lavado de filtros.....	47
Figura 34. Tanque de almacenamiento 1.....	48
Figura 35. Tanque de almacenamiento 2 y tanque elevado para lavado de filtros.....	48

## Lista de tablas

Tabla 1. Datos de Proyección Poblacional para el municipio de Hobo. Fuente: DANE 2020. ....	15
Tabla 2. Niveles de complejidad de un sistema. Fuente: Ministerio de Vivienda, 2010. ....	15
Tabla 3. Valores de dotación neta de acuerdo con el sistema de complejidad. Fuente: Ministerio de Vivienda, 2010. ....	17
Tabla 4. Dotaciones hídricas para el municipio de Hobo.....	27
Tabla 5. Chequeo presa.....	31
Tabla 6. Chequeo rejilla y canal de aducción.....	31
Tabla 7. Chequeo cámara de recolección. ....	31
Tabla 8. Chequeo muro de contención.....	32
Tabla 9. Chequeo caudal y cámara de excesos.....	32
Tabla 10. Chequeo tubería de aducción. ....	33
Tabla 11. Chequeo desarenador 1.....	36
Tabla 12. Chequeo desarenador 2.....	37
Tabla 13. Chequeo tubería de conducción. ....	39
Tabla 14. Chequeo canaleta Parshall. ....	41
Tabla 15. Chequeo floculadores. ....	43
Tabla 16. Chequeo sedimentadores. ....	45
Tabla 17. Chequeo filtros. ....	47
Tabla 18. Chequeo tanques de almacenamiento. ....	48
Tabla 19. Población proyectada por el método aritmético. ....	53
Tabla 20. Población proyectada por el método geométrico. ....	53
Tabla 21. Población proyectada con el método exponencial. ....	53
Tabla 22. Datos de iniciales presa.....	53
Tabla 23. Resultados de cálculos presa. ....	54
Tabla 24. Datos iniciales rejilla y canal de aducción. ....	54
Tabla 25. Resultados cálculos canal de aducción. ....	55
Tabla 26. Datos iniciales muro de contención.....	55
Tabla 27. Resultados muro de contención. ....	55
Tabla 28. Datos de entrada caudal y cámara de excesos.....	56
Tabla 29. Resultados cámara de excesos.....	56
Tabla 30. Datos iniciales tubería de aducción.....	57
Tabla 31. Datos iniciales tubería de aducción (perdidas). ....	57
Tabla 32. Resultados tubería de aducción. ....	58
Tabla 33. Datos iniciales desarenador 1. ....	58
Tabla 34. Datos iniciales desarenador 2. ....	58
Tabla 35. Resultados desarenador 1 (1 de 2).....	59
Tabla 36. Resultados desarenador 1 (2 de 2).....	60
Tabla 37. Resultados desarenador 2 (1 de 2).....	60
Tabla 38. Resultados desarenador 2 (2 de 2).....	60
Tabla 39. Datos iniciales cálculo de tuberías de conducción.....	60
Tabla 40. Coeficientes de perdidas menores tubería de conducción.....	60
Tabla 41. Resultados tubería de conducción.....	60

Tabla 42. Dimensiones estándar de medidores Parshall. Fuente: Acevedo 8va edición 1998.....	61
Tabla 43 Datos iniciales canaleta Parshall. ....	61
Tabla 44. Resultados canaleta Parshall (1 de 3).....	63
Tabla 45. Resultados canaleta Parshall (2 de 3).....	63
Tabla 46 Resultados canaleta Parshall (3 de 3).....	63
Tabla 47. Datos iniciales floculador. ....	63
Tabla 48. Resultados floculadores (1 de 2).....	64
Tabla 49. Resultados floculadores (2 de 2).....	64
Tabla 50. Datos iniciales sedimentadores.....	64
Tabla 51. Resultados sedimentadores. ....	65
Tabla 52. Datos iniciales filtro. ....	65
Tabla 53. Resultados filtro. ....	66
Tabla 54. Resultados capacidad de regulación. ....	67
Tabla 55. Resultados capacidad demanda contra incendio.....	67



## Lista de gráficas

Gráfico 1. Perfil de tubería y línea de energía. ....	39
---	----

# Capítulo 1

## 1. Introducción

Un sistema de abastecimiento de agua es aquel que permite transportar el agua desde una fuente natural hasta el consumidor final en las mejores condiciones higiénicas, función lograda a través del uso de múltiples estructuras diseñadas en base a unos criterios de funcionalidad, ergonomía y vida útil. A lo largo del tiempo, en el sistema se pueden generar fallas que perturban estos procesos, por lo cual se hace necesaria la aplicación de un diagnóstico. En Colombia, la entidad encargada de establecer los criterios de diseño y evaluación de estos sistemas es el Ministerio de Vivienda, a través del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

El presente trabajo plantea el desarrollo de un diagnóstico al sistema de abastecimiento de agua del municipio de Hobo, desde la captación hasta el almacenamiento, con el objetivo de encontrar las posibles causas al desabastecimiento del preciado líquido a la población.

Para ejecutar esta evaluación, se llevarán a cabo labores correspondientes a la recopilación de información teórica y técnica disponible, así como múltiples visitas de campo para la toma de datos. En base a esta información, se procede con el desarrollo de cálculos hidráulicos y su interpretación teniendo en cuenta los requerimientos planteados en el reglamento técnico RAS y las propuestas por distintos autores. De acuerdo con los resultados obtenidos, se establecerán las recomendaciones pertinentes para el mejoramiento del sistema y se elaborarán planos que describan el sistema estudiado.

## Capítulo 2

### 2. Generalidades

#### 2.1 Antecedentes y justificación

Como parte del Programa Departamental “Agua para la Paz”, a su vez enmarcado dentro de la política nacional del programa “Agua Transparente”, el Consorcio Aguas de Colombia llevó a cabo un estudio de optimización a la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hobo, cuyo objetivo fue proponer la infraestructura y consideraciones necesarias para la optimización de la planta y la minimización del impacto ambiental mediante el manejo de lodos del municipio de Hobo, así como el de propender por el manejo y uso eficiente del agua. (Consorcio Aguas de Colombia, 2011)

Los resultados se encuentran en el documento titulado Informe Optimización Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Hobo. Sin embargo, actualmente esta propuesta de mejoramiento no se ha aplicado, por lo que las deficiencias presentes en el sistema pueden seguir vigentes. En este orden de ideas, se presente la siguiente situación.

En el municipio de El Hobo, Huila existe un descontento social relacionado con el abastecimiento de agua potable dentro del casco urbano. Según los habitantes, muchos de los barrios no cuentan con un servicio de agua continuo a lo largo del día, sino que el suministro esta sectorizado de acuerdo con horarios arbitrarios que los obliga a almacenar toda el agua puedan para las tareas domésticas y bienestar general. No se sabe con certeza que está ocasionando este problema de desabastecimiento, lo cual sugiere la necesidad realizar una evaluación a la red de abastecimiento.

Los pocos análisis que ha realizado la alcaldía municipal junto con empresas públicas de El Hobo, o Emuserhobo, han arrojado resultados inconclusos debido a la falta de datos y planos de gran parte del sistema principal de acueducto y alcantarillado. Sin embargo, se han determinado dos puntos importantes a evaluar. Por un lado, se encuentra el sistema que abarca la captación hasta el almacenamiento del agua tratada, y, por otro lado, está la red de distribución hacia la población. Por lo tanto, la evaluación de todo el sistema de suministro permite establecer donde verdaderamente reside el problema.

El objeto de estudio del presente trabajo está relacionado con la primera parte, siendo este un punto de partida evidente ya que su diseño se establece con la demanda de agua que posteriormente se distribuye. En consecuencia, la realización de un diagnóstico aplicado a las estructuras encargadas de la captación, tratamiento y almacenamiento del sistema de abastecimiento es importante para aclarar si el problema reside en esta zona, o si por el contrario

el contratiempo se encuentra en la red de distribución, para así establecer las medidas correctivas pertinentes y mejorar la calidad de vida de la población en el municipio.

## **2.2 Planteamiento del problema**

Dada la incertidumbre ocasionada por el déficit en el suministro de agua potable en el municipio de El Hobo, se ha generado la necesidad de realizar un diagnóstico al sistema de abastecimiento de agua potable que permita responder a las siguientes incógnitas:

¿Qué fallas de diseño hidráulico presentan las estructuras que conforman el sistema de captación, transporte, tratamiento y almacenamiento de agua que propicien el desabastecimiento?, y, por otro lado, ¿Qué recomendaciones se pueden formular para solucionar la problemática actual?

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 Objetivo general**

Realizar el diagnóstico y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de El Hobo, Huila, abarcando desde la captación pasando por todas las estructuras hidráulicas acabando en el almacenamiento.

### **2.3.2 Objetivos específicos**

- Efectuar el levantamiento topográfico correspondiente a la red principal desde la captación hasta el almacenamiento por medio de GPS y el software ArcGIS.
- Realizar los cálculos hidráulicos de acuerdo con los parámetros de diseño presentes en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS con el fin de determinar la eficiencia de todos los elementos que hacen parte del sistema.
- Establecer una serie de recomendaciones basadas en valoraciones sustentadas llevadas a cabo en las estructuras que conforman el sistema de abastecimiento de agua, con el fin de garantizar el manejo óptimo de las instalaciones.

## **2.4 Delimitación de la justificación**

El presente trabajo se enfoca en la realización del diagnóstico del sistema de tratamiento de agua potable del municipio de Hobo, desde la captación de agua hasta su almacenamiento con énfasis en el desarrollo de cálculos hidráulicos y recomendaciones de mejoramiento del sistema. Dentro del alcance no se contempla la proposición de proyectos de mejoramiento sino únicamente el evaluó del sistema actual.

## 2.5 Marco referencial

### 2.5.1 Marco conceptual

#### **Bocatoma de fondo**

Son estructuras para la captación de agua superficial diseñadas de tal forma que su ubicación sea transversal al cauce del río, quebrada o la fuente de abastecimiento considerada (Espinosa, 2020).

#### **Canaleta Parshall**

Es una estructura hidráulica que permite la medición de la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal determinado en régimen crítico. En el contexto del agua potable, es un dispositivo que puede emplearse para la inyección de sustancias aprovechando el resalto hidráulico. (López et. Al, 2017).

#### **Coagulante**

Son materiales químicos que al adicionarse al agua logran que las partículas coloidales den lugar a la formación de medios más grandes, o flóculos, que se sedimentan más rápido (Huerta, 2022).

#### **Desaireador, válvula de aire o ventosas**

Corresponden a elementos en el sistema de tuberías que evitan presiones negativas en las redes y sobrepresiones generadas por aire atrapado en las tuberías, colocadas usualmente en las partes altas de las conducciones o cambios bruscos de dirección (Durman, 2016).

#### **Desarenador convencional**

Es una estructura construida con el objetivo de sedimentar las partículas en suspensión procedentes de la captación mediante la acción gravitacional, siendo elementos cercanos a la bocatoma para evitar obstrucciones en la línea de aducción (López, 2003).

#### **Filtración rápida**

Es el proceso por el cual se eliminan las partículas mediante mecanismos predominantemente físicos, donde el agua atraviesa el lecho filtrante a velocidades que oscilan los 4 a 50 m/h, las cuales permiten apenas la formación de una biopelícula y los procesos biológicos son escasos (Pérez, 2011).

#### **Floculador hidráulico vertical**

Corresponden a estructuras que utilizan la energía hidráulica disponible a través de pérdidas de carga general o específica. Los de flujo vertical son aquellos en los cuales la corriente sube y baja

secuencialmente, contorneando las diversas pantallas o compartimientos, siendo estos más compactos que los de tipo horizontal (Vargas, S.f).

### **Macromedidor**

Son dispositivos para la medición del caudal instantáneo de agua circulante en las tuberías, así como el total acumulado de agua que ha circulado en un tiempo determinado. (NVTecnologías, 2021).

### **Periodo de diseño**

Hace referencia al lapso por el cual una estructura puede funcionar sin ampliaciones o mejoramientos significativos en el sistema y, en el contexto de agua potable, que estos sean capaces de suministrar un buen servicio a la población de forma confiable y económica (Aguas de Manta, 2016).

### **Sedimentador de alta tasa**

Son estructuras poco profundas constituidas por módulos de tubos o láminas planas o corrugadas, con cierto ángulo de inclinación dentro de un tanque que permiten la entrada y salida del flujo, la extracción y recolección de lodos (Jiménez y Buitrón, 2019).

### **Válvula de lavado**

Son elementos colocados en los puntos bajos del trazado de la tubería, o donde haya posibilidad de obstrucción del flujo por acumulación de sedimentos, que facilitan las labores de limpieza en el sistema de tuberías (López, 2003).

## **2.5.2 Marco teórico**

La potabilización del agua hace referencia al conjunto de procesos en los cuales el agua, ya sea de una fuente superficial o subterránea, se vuelve apta para ser consumida por personas y animales de acuerdo con unos estándares de calidad estipulados por autoridades locales e internacionales.

De acuerdo con Romero (2008), las aguas procedentes de ríos necesitan un tratamiento complejo y caro antes de ser suministradas a la población, debido principalmente que estas fuentes de agua acarrear el flujo hídrico en grandes superficies de terrenos, por lo que existen una gran tasa de componentes contaminantes naturales o antrópicos.

### **Sistema de suministro de agua potable**

López (2003) describe los elementos esenciales que un sistema convencional de abastecimiento de agua contiene de la siguiente manera.

### **Fuente de abastecimiento**

Generalmente la fuente de abastecimiento puede ser superficial, como ríos, lagos, embalse, entre otros, o de aguas subterráneas superficiales o profundas. Su elección depende de aspectos como la localización, calidad y cantidad (López, 2003).

### **Captación**

Depende del tipo de fuente de abastecimiento utilizado. En el caso de una captación de agua superficial se suele hablar de bocatomas, mientras que para una captación de agua subterráneas se emplean pozos (López, 2003).

### **Transporte de agua**

Obedece al tipo de flujo que se transporta, y se lleva a cabo mediante conductos abiertos o cerrados. Si el agua es cruda o no tratada, el tipo de transporte se denomina aducción; si el agua a transportar es potable, el tipo de transporte se llama conducción (López, 2003).

### **Tratamiento de agua**

En términos generales, Romero (2008) menciona que las aguas destinadas al consumo humano se pueden clasificar de acuerdo con el grado de tratamiento que se desea alcanzar.

- TIPO A1, tratamiento físico simple y desinfección.
- TIPO A2, tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.
- TIPO A3, tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección.

En el contexto del presente trabajo, el grado de tratamiento de agua que mejor se ajusta al presente en la planta de tratamiento del municipio de Hobo es el de tipo A2. Dentro de los procesos comunes que se llevan a cabo en la planta en estudio y el sistema tipo A2 se encuentran:

### **Coagulación – floculación**

Estos procesos causan un incremento de tamaño de los flóculos en suspensión y su rápida aglomeración, lo cual permite disminuir el tiempo de sedimentación de las partículas más pequeñas. Se fundamentan en la adición de sales químicas cargadas positivamente que desplazan los iones negativos y reducen el tamaño de carga, logrando así la eliminación de los materiales suspendidos en el agua (Romero, 2008).

### **Decantación**

Se puede definir a la decantación como el proceso por el cual se separan los sólidos de un líquido mediante el trasiego de la capa superior después de que la materia más pesada se ha sedimentado. En el contexto del tratamiento de aguas, las unidades decantadoras serán las que permitan la eliminación de estos sólidos en suspensión. Estas unidades se pueden clasificar de

acuerdo con la dirección predominante del flujo del líquido circulante, en decantadores de flujo horizontal o de flujo vertical (Romero, 2008).

### **Filtración**

Consiste en hacer pasar el agua que todavía contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permita el paso del fluido, pero no el de las partículas sólidas, las cuales son retenidas por el filtro. Los filtros más utilizados en la potabilización son los filtros rápidos en los que el agua se ha tratado previamente por procesos de coagulación – floculación (Romero, 2008).

### **Desinfección**

Los procesos de desinfección hacen referencia a la destrucción o inactivación de los organismos causantes de múltiples patologías. Sin embargo, estos procesos no implican necesariamente la destrucción completa de todos los organismos, es decir, el agua tratada no siempre termina en el punto de esterilización (Ramírez, 2015).

Según Romero (2008) existen tres tipos básicos de desinfección:

- Tratamientos físicos, siendo los menos utilizados por su ineficiencia y costo,
- Tratamientos químicos, donde los agentes químicos más utilizados el cloro, el dióxido de cloro y el ozono,
- Radiación, que consiste en la aplicación de radiaciones UV, rayos X y rayos Y.

### **Almacenamiento**

Representa el método por el cual se busca garantizar el abastecimiento de agua en los periodos en que la población demande una gran cantidad de agua a través del almacenamiento en tanques del líquido vital en las etapas de tiempo donde la demanda es menor (López, 2003).

### **Distribución**

La distribución de agua a la comunidad puede realizarse mediante el uso de una pileta de agua o a través de métodos más complejos, como un sistema de tuberías o redes de distribución que transporta el líquido (López, 2003).

## **2.5.3 Marco normativo**

Dentro de la legislación referente al agua potable, saneamiento básico y controles de calidad del recurso hídrico para consumo humano, Colombia cuenta con una gama considerable de elementos jurídicos, entre los cuales se encuentran:



## **Agua potable y saneamiento básico**

El sector de agua y saneamiento básico es fundamental puesto que tiene gran incidencia en la calidad de vida de la población, por causa del mejoramiento de las condiciones sanitarias y el desarrollo económico regional (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2015).

### **Leyes**

- Ley 60 de 1993, por la cual se establece el uso de los recursos nacionales transferidos a las territoriales.
- Ley 99 de 1993, la cual reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental “SINA” y se dictan otras disposiciones.
- Ley 142 de 1994, que establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, así como de actividades que realicen las personas que los presten.
- Ley 373 de 1997, por la cual se establece el Programa del uso eficiente y ahorro del agua.
- Ley 715 de 2001, por la cual se dictan normas orgánicas en materia de recurso y competencias de conformidad con los artículos 151, 288, 356 y 357 (Acto Legislativo 01 de 2001) de la Constitución Política y se dictan otras disposiciones para organizar la prestación de los servicios de educación y salud, entre otros.

### **Decretos**

- Decreto 2785 de 1994, por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, se establecen disposiciones para la transformación y adecuación estatutaria de las entidades prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y saneamiento básico y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 605 de 1996, por el cual se reglamenta la prestación del servicio público domiciliario de aseo.
- Decreto 475 de 1998, por el cual se expiden normas técnicas sobre la calidad del agua potable.
- Decreto 302 de 2000, por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de servicios domiciliarios de acueducto y alcantarillado
- Decreto 1905 de 2000, por el cual se modifican los estatutos y reglamento de funcionamiento de la comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico.
- Decreto 155 de 2004, por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
- Decreto 456 de 2004, por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 81 de la Ley 715 de 2001.

## Resoluciones

- Resolución 0494 de 2012, por el cual se establecen los lineamientos para la implementación del programa de conexiones intradomiciliarias en los servicios de acueducto y alcantarillado.
- Resolución 0288 de 2015, por la cual se establecen los lineamientos para la formulación de los programas de prestación del servicio público de aseo.

## Calidad del agua para consumo humano

En Colombia, el marco jurídico respecto a la calidad del agua está dado por una serie de normas que establecen obligaciones, competencias, responsabilidades y lineamientos para garantizar el suministro del recurso hídrico apto para el consumo de la población (Ministerio de Vivienda, 2020).

## Decretos y Resoluciones

- Decreto 1575 de 2007, por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.
- Resolución 2115 de 2007, por la cual se señalan características, instrumentos básico y frecuencias del sistema de control de vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- Resolución 811 de 2008, por la cual se definen lineamientos a partir de las 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 082 de 2009, la cual adopta unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.
- Resolución 4716 de 2010, que reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007 relacionado con el procedimiento para la elaboración de los mapas de riesgo de la calidad del agua para consumo humano.
- Resolución 549 de 2017, que adopta la guía que incorpora los criterios y actividades mínimas de los estudios de riesgo, programas de reducción de riesgo y planes de contingencia de los sistemas de suministro de agua para consumo humano y se dictan otras disposiciones.
- Resolución 622 de 2020, por la cual se adopta el protocolo de inspección, vigilancia y control de calidad del agua para consumo humano suministrada por personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto en zona rural, y se dictan otras disposiciones.

## **Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS**

En Colombia, las normas que rigen el estudio, diseño y construcción de los sistemas de acueducto u alcantarillado están sujetas al reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS, adoptado por la resolución 0330 de 2017. Dicho reglamento tiene como objetivo “Reglamentar los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo” (Resolución 330 de 2017 [Ministerio de Vivienda]).

Sin embargo, existen algunos casos de excepción en los cuales la resolución 1096 del 2000, por la cual se reglamentó la RAS 2000, se puede aplicar. Estos casos están definidos por el Ministerio de Vivienda, siendo los siguientes:

- “Proyectos que se encontraban en etapa de planeación, diseño o construcción: Aportar copia del documento que acredite la relación contractual previa a: Fecha de entrada en vigor de la R330/17” (Ministerio vivienda, 2022).
- “Proyectos que habían finalizado la fase de planeación y diseño, les podrá aplicar la R1096/00 para iniciar construcción. Aportar certificación de recibido a satisfacción con fecha anterior a: Fecha de entrada en vigor de la R330/17” (Ministerio vivienda, 2022).

En este orden de ideas, y considerando que la edad aproximada de las estructuras más recientes del sistema de acueducto del municipio de Hobo es 15 años, esta reglamentación es la base de los criterios empleados en la verificación del cumplimiento de las estructuras. Por otro lado, las recomendaciones formuladas tendrán como guía los requerimientos del Ras 2017, considerando que son sugerencias hechas a futuro.

### **2.5.4 Marco contextual**

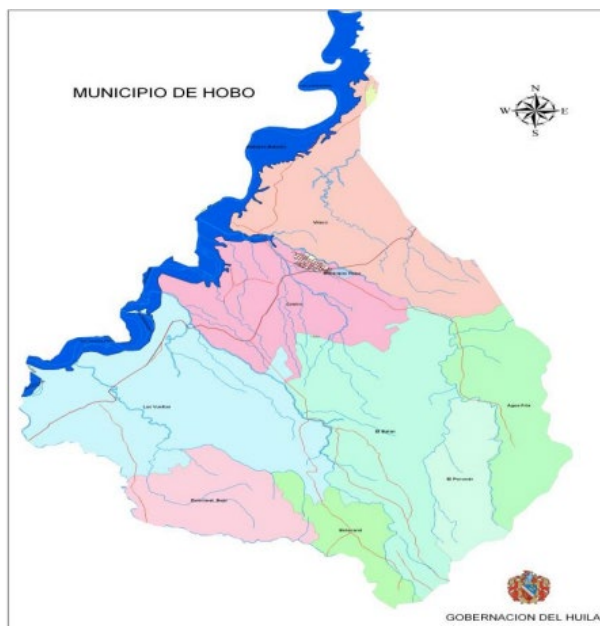
#### **Localización general**

El municipio de Hobo se localiza en la región centro del departamento del Huila, al sur de la capital, perteneciendo al subsistema urbano denominado “Subsistema Neiva” y dentro de la Subregionalización departamental del Valle del Magdalena. La cabecera municipal se ubica en las coordenadas 02°35’07” Latitud Norte y a 75°27’13” Longitudinal Oeste, con una altitud promedio de 595 msnm, temperatura media de 25°C y una distancia de referencia a la ciudad de Neiva igual a 52 Km (Alcaldía de Hobo, 2020).



*Figura 1. Localización Geográfica del Municipio de Hobo. Fuente: Alcaldía de Hobo, 2013.*

El municipio de Hobo cuenta con aproximadamente 7000 habitantes, población distribuida en su casco urbano y la zona rural donde se ubican las veredas el Batán, Estoracal, Bajo Estoracal, Aguafría, El Porvenir, El Centro, Las Vueltas y Vilaco. De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial, o acuerdo 005 de 2000, la extensión territorial del municipio se conforma por estas ocho veredas, donde la extensión urbana representa 46,5 Km<sup>2</sup> (21%) y su zona rural 170,5 Km<sup>2</sup> (79%), que corresponden a 217 Km<sup>2</sup> en total (Alcaldía de Hobo, 2020).



*Figura 2. División Política del Municipio de Hobo. Fuente: Alcaldía de Hobo, 2020.*

### **Marco económico**

La dinámica económica del municipio de Hobo está dada por las siguientes actividades:

Agricultura, la cual cuenta con un componente de tradición compuesto por familias que han venido heredándose las tierras y con ellas la forma tradicional de desarrollar cultivos intercalados y/o asociados de café con yuca, plátano o frijol, y en la parte alta de las montañas se encuentran cultivos de lulo, mora, curuba, granadilla y otros que se desarrollan en este tipo de climas (Alcaldía de Hobo, 2020).

Minería, en base a la explotación periódica de una mina de dolomita sobre la vía que conduce a la Vereda Aguafría, cuyo material no se procesa en el municipio. También se presentan actividades de minería tradicional durante las épocas de lluvias, así como la explotación de canteras para extracción de arena y cascajo como material de construcción (Alcaldía de Hobo, 2020).

Pesca Artesanal y Piscicultura, principalmente relacionada con las piscícolas existentes en el embalse de la Represa de Betania, las cuales han ido ganando espacio en el mercado Nacional e Internacional (Alcaldía de Hobo, 2020).

### **Marco demográfico**

La población total del municipio de Hobo según proyecciones realizadas por el DANE, está estimada para el año 2020 de 7387 habitantes, de los cuales 3760 (51%) son hombres y 3627 (49%) son mujeres. Respecto a la población total del departamento del Huila, equivalente a 1.122.622 habitantes, el municipio de Hobo representa el 0,66% (Alcaldía de Hobo, 2020).

La densidad de población municipal para el año 2020 estimada es de 34,04 habitantes por Km<sup>2</sup>. Considerando la población municipal total estimada para el año 2020, el 76,3% se concentra en la cabecera municipal, mientras que el 23% restante se encuentra distribuida en el área rural. Por otro lado, el grado de urbanización para el municipio de Hobo es del 76,3%, resultado que es superior al referente departamental de 60,54% (Alcaldía de Hobo, 2020).

### **Marco hidrográfico**

En el municipio de Hobo, el sistema fluvial está compuesto por el río Magdalena, como corriente primordial, y numerosas quebradas que descienden de la cordillera Oriental, entre las cuales, de Sur a Norte, pueden encontrarse las de Las Vueltas, La de Guasimilla, y las de El Pescador, Ovejeras, El Habito, Aquatria, La Mojarra, Santa ´Barbara, Manzanares´, Los Cristales, El Haba, Aguablanca y Macosito (Alcaldía de Hobo, 2020).

El municipio de Hobo forma parte de la cuenca alta del Río Magdalena, y entre sus principales microcuencas se tienen:

Quebrada El Pescador, localizada en las estribaciones de la cordillera oriental, nace a una altura aproximada de 1800 msnm, cerca al filo pan de azúcar en su recorrido de 18,38 Km, de oriente a occidente hasta depositar sus aguas en el embalse de Betania (Alcaldía de Hobo, 2020).

Quebrada El Hobo, cuenca abastecedora del acueducto municipal, la cual nace en la cuchilla el Batán en la vereda de su mismo nombre a 1900 msnm, con una longitud aproximada de 12,75 Km, cuyos principales afluentes son las quebradas Agua Fría, La Porquera y el Chorro (Alcaldía de Hobo, 2020).

Quebrada Las Vueltas, nace en jurisdicción del municipio de Gigante aproximadamente a 1500 msnm, la cual recibe las aguas de la quebrada San Jacinto y fija el límite entre Hobo y Gigante (Alcaldía de Hobo, 2020).

Quebrada Guasimilla, nace en la unión de las quebradas Tamala y Totumo a 800 msnm, en la vereda Bajo Estoracal, la cual desemboca directamente en el embalse de Betania después de 7 Km de recorrido (Alcaldía de Hobo, 2020).

## Capítulo 3

### 3. Metodología

Con el propósito de realizar un diagnóstico a la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hobo, se han definido una serie de elementos o parámetros guía que permitan la elaboración de una rúbrica con la cual evaluar la PTAP. Estos elementos son los siguientes:

- Recopilación de información, basada en la recolección de información teórica concerniente al funcionamiento y constitución de un sistema de abastecimiento de agua potable, así como de información técnica como planos y anexos adicionales que permitan un mejor entendimiento del sistema.
- Inspección del sistema de abastecimiento de agua, a través de visitas de campo que permitan la revisión de dimensiones, tipo de materiales, estado de las estructuras que componen el sistema de abastecimiento y funcionamiento desde la captación hasta el almacenamiento, permitiendo así el desarrollo de cálculos hidráulicos teniendo en cuenta los criterios del RAS 2000.
- Formulación de recomendaciones, respecto al funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua teniendo en cuenta los resultados obtenidos y los criterios establecidos en el RAS 2017.

En base a estos elementos, se ha determinado la siguiente metodología con la cual se busca desarrollar adecuadamente el diagnóstico.

#### **3.1 Fase 1. Proyección de población y determinación de la demanda de agua**

Para determinar el caudal de diseño se recurre a calcular la población proyectada del municipio y la demanda que genera realizando las siguientes actividades.

##### **3.1.1 Métodos de análisis poblacional para la determinación de la población proyectada**

A través de información proporcionada por el DANE en base al censo efectuado en el 2018, se obtienen las proyecciones de población para los años 2005, 2018 y 2022, con los cuales se puede efectuar la proyección poblacional del municipio de Hobo. Los datos poblacionales para estos años de muestra son los siguientes:

Año	Población Total
2005	6648
2018	7286
2022	7507

Tabla 1. Datos de Proyección Poblacional para el municipio de Hobo. Fuente: DANE 2020.

Para determinar el periodo de diseño, se debe establecer en primer lugar el nivel de complejidad del sistema, el cual está definido en la tabla A.3.1 del RAS 2000.

TABLA A.3.1  
Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana <sup>(1)</sup> (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios <sup>(2)</sup>
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Notas : (1) Proyectado al periodo de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP.

Tabla 2. Niveles de complejidad de un sistema. Fuente: Ministerio de Vivienda, 2010.

Con los valores de población para los años de muestra definidos, así como el periodo de diseño de 25 años dado en Emuserhobo, se emplearán los métodos de análisis poblacional conocidos como: Método aritmético, Método geométrico y Método exponencial.

### 3.1.1.1 Método aritmético

Este método permite la proyección de la población a través de la suposición de un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración.

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} * (Tf - Tuc) \quad (1)$$

Donde:

- $Pf$ , es la población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección.
- $Puc$ , es la población correspondiente al último censo del DANE.
- $Pci$ , es la población correspondiente al censo inicial del DANE.
- $Tuc$ , es el año correspondiente al último censo proyectado por el DANE.
- $Tci$ , es el año correspondiente al censo inicial con información.
- $Tf$ , es el año al cual se quiere realizar la proyección. (Ministerio de Vivienda, 2010).



### 3.1.1.2 Método geométrico

Este método resulta útil en poblaciones con actividad económica importante, con un apreciable desarrollo e importantes áreas de expansión.

$$Pf = Puc * (1 + r)^{Tf - Tuc} \quad (2)$$

Donde:

- $r$ , es la tasa de crecimiento anual en forma decimal, la cual se calcula como:

$$r = \left( \frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{(Tuc - Tci)}} - 1 \quad (3)$$

- $Pf$ , es la población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección.
- $Puc$ , es la población correspondiente al último censo del DANE.
- $Pci$ , es la población correspondiente al censo inicial del DANE.
- $Tuc$ , es el año correspondiente al último censo proyectado por el DANE.
- $Tf$ , es el año al cual se quiere realizar la proyección. (Ministerio de Vivienda, 2010).

### 3.1.1.3 Método exponencial

Este método se recomienda aplicar en poblaciones que muestren un apreciable desarrollo e importantes áreas de expansión. Como requerimiento se encuentra la necesidad de conocer al menos tres censos para determinar el promedio de la tasa de crecimiento poblacional, siendo el último censo del DANE la proyección.

$$Pf = Pci * e^{Kx * (Tf - Tci)} \quad (4)$$

Donde la variable "Kx" representa la tasa de crecimiento poblacional, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$Kx = \frac{\ln(Pcp) - \ln(Pca)}{Tcp - Tca} \quad (5)$$

Donde:

- $Pcp$ , es la población del último censo.
- $Pca$ , es la población del censo anterior.
- $Tcp$ , es el año del último censo.
- $Tca$ , es el año del censo anterior (Ministerio de Vivienda, 2010).

### 3.1.2 Determinación de la dotación neta y bruta de acuerdo con el RAS-2000 y a la población proyectada

#### 3.1.2.1 Dotación neta

La dotación neta hace referencia a la cantidad mínima de agua que se requiere para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, dependiendo de la forma en que se ha proyectado la demanda de agua, sin considerar las pérdidas en el sistema de acueducto (Ministerio de Vivienda, 2010). Este valor se puede determinar en base a la tabla B.2.3 del RAS 2000, dependiendo del nivel de complejidad del sistema y del clima presente en la región.

Tabla B.2.3 Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema

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

Tabla 3. Valores de dotación neta de acuerdo con el sistema de complejidad. Fuente: Ministerio de Vivienda, 2010.

#### 3.1.2.2 Dotación bruta

Definido el valor de la dotación neta, se procede con el cálculo de la dotación bruta:

$$D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{1 - \%P} \quad (6)$$

Donde el término “%P” representa el porcentaje de pérdidas admisibles, siendo este valor no mayor al 25% (Ministerio de Vivienda, 2010).

### 3.1.3 Cálculo del caudal de demanda del municipio de Hobo

#### 3.1.3.1 Caudal medio diario

Es el caudal que se calcula para la población proyectada teniendo en cuenta la dotación bruta, y corresponde al promedio de los consumos diarios en 1 año. Su ecuación es la siguiente:

$$Q_{md} = \frac{p * d_{bruta}}{86400} \quad (7)$$

Donde el término “p” representa la población proyectada (Ministerio de Vivienda, 2010).

### 3.1.3.2 Caudal máximo diario

Es el caudal correspondiente al consumo máximo registrado en 24 horas a lo largo de 1 año. Su ecuación es la siguiente:

$$QMD = Qmd * k1 \quad (8)$$

Donde el término “k1” representa el coeficiente de consumo diario, siendo igual a 1,3 en sistemas nuevos (Ministerio de Vivienda, 2010).

La capacidad de la PTAP existente y sin posteriores sugerencias es de 25L/s según planeación municipal, por lo que respecta el caudal de requerimiento no existen problemas.

### 3.1.3.3 Caudal máximo horario

Es el caudal que corresponde al consumo máximo registrado en una hora durante 1 año sin tener en cuenta el caudal de incendios. Su ecuación es la siguiente:

$$QMH = QMD * k2 \quad (9)$$

Donde el término “k2” representa el coeficiente de consumo máximo horario, cuyo valor ronda entre 1,3 y 1,7 de acuerdo con las características locales (Ministerio de Vivienda, 2010).

## 3.2 Fase 2. Inspección y medición de la red principal de captación y transporte hasta la PTAP

Los ítems para tener en cuenta para la evaluación funcional de las estructuras usadas para el sistema de captación y transporte del agua cruda hasta la planta de tratamiento de agua potable son los siguientes.

- Descripción general de la estructura.
- Evaluación del estado actual de la estructura.
- Cálculos hidráulicos.
- Evaluación del funcionamiento de la estructura.
- Registro fotográfico.

Para cada estructura que hace parte del sistema se deben de verificar ciertos parámetros hidráulicos que garantizan la funcionalidad e integridad de esta, haciendo uso de los criterios establecidos tanto en el RAS 2000 como de conocimiento empírico.

### 3.2.1 Captación

Esta estructura está compuesta por varias subestructuras que presentan diferentes parámetros a analizar.

#### 3.2.1.1 Presa

Los parámetros a evaluar para esta estructura es el siguiente.

$$Vp = \frac{QD}{L' * H} \quad (10)$$

Donde:

- $Vp$ , es la velocidad del agua en la presa.
- $QD$ , es el caudal de diseño.
- $L'$ , es la corrección de longitud del vertimiento.
- $H$ , es la altura de la lámina de agua encima de la presa.

#### 3.2.1.2 Rejilla y canal de aducción

Los parámetros a evaluar para esta estructura son los siguientes.

$$Xs = 0.36 * Vp^{\frac{2}{3}} + 0.6 * H^{\frac{4}{7}} \quad (11)$$

$$Vc = \frac{QD}{0.9 * (B * L)} \quad (12)$$

Donde:

- $Xs$ , el alcance del filo superior del agua.
- $Vc$ , es la velocidad en el canal.
- $B$ , es la base del canal de aducción.
- $L$ , es el largo del canal de aducción.

#### 3.2.1.3 Cámara de recolección

Los parámetros a evaluar para esta estructura son los siguientes.

$$Ve = \frac{QD}{B * he} \quad (13)$$

$$Xs = 0.36 * Ve^{\frac{2}{3}} + 0.6 * he^{\frac{4}{7}} \quad (14)$$

Donde:

- $Ve$ , es la velocidad del agua en la cámara de recolección.
- $he$ , es la altura del agua en la cámara de recolección aguas abajo.

### 3.2.1.4 Muro de contención

Se debe de evaluar la altura del muro inferior añadido un borde libre.

$$H = \left( \frac{QMáx}{1.84 * L} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (15)$$

Donde

- $QMáx$ , es el caudal máximo de la quebrada para un año húmedo.
- $H$ , es la altura teórica del muro.
- $L$ , es el ancho del canal.

### 3.2.1.5 Caudal y cámara de excesos

Las condiciones a evaluar en la cámara de excesos son las siguientes.

$$Vexc = \frac{Qexc}{Hexc * B} \quad (16)$$

$$Xs = 0.36 * Vexc^{\frac{2}{3}} + 0.6 * Hexc^{\frac{4}{7}} \quad (17)$$

Donde:

- $Vexc$ , es la velocidad del agua en la cámara de excesos.
- $Qexc$ , es el caudal de excesos.
- $Hexc$ , es la caída del agua en el cámara de excesos.
- $B$ , es la base de la cámara de excesos.

### 3.2.2 Aducción

Se debe de verificar la presión de salida del agua al final del recorrido.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (18)$$

$$P_{salida} = \Delta Z - H \quad (19)$$

Donde:

- $V$ , es la velocidad dentro de la tubería.
- $Q$ , es el caudal de transporte.
- $A$ , es el área transversal de la tubería.
- $P_{salida}$ , es la presión de salida de la tubería de aducción.
- $\Delta Z$ , es la diferencia de altura entre cotas.

- $H$ , son las pérdidas totales.

### 3.2.3 Desarenador

Los criterios por evaluar corresponden a la verificación de la partícula sedimentada, dimensiones mínimas, pendientes y volumen de sedimentos.

#### 3.2.3.1 Condiciones de partícula

$$q = \frac{QD}{A} \quad (20)$$

$$do = \sqrt{\frac{Vo * 18 * \nu}{g * (\rho_s - \rho)}} \quad (21)$$

$$d = \sqrt{\frac{Vs * 18 * \nu}{g * (\rho_s - \rho)}} \quad (22)$$

$$Re = \frac{Vs * d}{\nu} \quad (23)$$

$$\theta = t * \frac{Vs}{Vo} \quad (24)$$

$$Vhmax = 20 * Vs \quad (25)$$

#### 3.2.3.2 Dimensiones mínimas

$$Vv = \frac{QD}{Hv * b} \quad (26)$$

$$Xs = 0.36 * Vv^{\frac{2}{3}} + 0.6 * Hv^{\frac{4}{7}} \quad (27)$$

#### 3.2.3.3 Pendientes y volumen de sedimentos

$$\%S = \frac{\Delta Z}{L_{med}} \quad (28)$$

$$Vol_{sed} = A_{tsed} * b \quad (29)$$

Donde:

- $q$ , es la carga superficial del desarenador.
- $QD$ , es el caudal de entrada al desarenador.
- $A$ , es el área en planta del desarenador.
- $do$ , es el diámetro de partícula crítica.
- $Vo$ , es la velocidad crítica de la partícula.
- $\nu$ , es la viscosidad cinemática del agua a 15°C.
- $\rho_s$ , es el peso específico de la partícula a sedimentar.

- $\rho$ , es el peso específico del agua.
- $d$ , es el diámetro de la partícula real.
- $V_s$ , es la velocidad de sedimentación de la partícula real.
- $Re$ , es el número de Reynolds de la partícula.
- $\theta$ , es el tiempo de retención de la partícula.
- $t$ , es el tiempo de sedimentación de la partícula.
- $V_{hmax}$ , es la velocidad horizontal máxima.
- $V_v$ , es la velocidad en el vertedero de salida.
- $H_v$ , es la altura del agua en el vertedero de salida.
- $B$ , es la base del desarenador.
- $X_s$ , es el alcance del agua en el vertedero de salida.
- $\%S$ , es la pendiente en el fondo del desarenador.
- $\Delta Z$ , es la diferencia de alturas entre el inicio y la mitad del desarenador.
- $L_{med}$ , es la distancia horizontal desde el inicio hasta la mitad del desarenador.
- $Vol_{sed}$ , es el volumen de sedimentos.
- $A_{tsed}$ , es el área transversal donde se localizan los sedimentos.

### 3.2.4 Conducción

Se debe de evaluar los siguientes parámetros en la tubería de conducción para cada diámetro de tubería.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (30)$$

$$P_{salida} = \Delta Z - \sum H_f \quad (31)$$

Donde:

- $V$ , es la velocidad dentro de la tubería.
- $Q$ , es el caudal de transporte.
- $A$ , es el área transversal de la tubería.
- $\Delta Z$ , es la diferencia de alturas entre cotas piezométricas.
- $\sum H_f$ , es la sumatoria de pérdidas totales de fricción y totales.

### 3.3 Fase 3. Diagnóstico de las estructuras hidráulicas de la PTAP y almacenamiento de agua potable

Para el diagnóstico de la PTAP y los tanques de almacenamiento del municipio se realizan las siguientes actividades, de manera homóloga a la fase 2, aplicando los criterios establecidos tanto en el RAS 2000 como de conocimiento empírico.

- Descripción general de la estructura.
- Evaluación del estado actual de la estructura.
- Cálculos hidráulicos.
- Evaluación del funcionamiento de la estructura.
- Registros fotográficos.

#### 3.3.1 Canaleta Parshall

Los criterios por evaluar son los siguientes.

$$V2 = \frac{q}{H2} \quad (32)$$

$$S = \frac{H2}{Ho} \quad (33)$$

$$Fr = \frac{V2}{\sqrt{9.81 * H2}} \quad (34)$$

$$Gr = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt{\frac{hf}{Tr}} \quad (35)$$

$$\frac{Ho}{W} \quad (36)$$

Donde:

- $V2$ , velocidad del agua en la garganta.
- $q$ , carga superficial.
- $H2$ , altura del agua en la garganta.
- $S$ , grado de sumergencia.
- $Ho$ , altura del agua antes de la garganta.
- $Fr$ , número de Froude.
- $Gr$ , gradiente medio de velocidad.
- $\gamma$ , peso específico del agua a 25°



- $\mu$ , viscosidad dinámica del agua.
- $hf$ , pérdidas totales de energía.
- $Tr$ , tiempo de mezcla del coagulante.
- $W$ , ancho de garganta.

### 3.3.2 Floculadores

Se deben de evaluar los siguientes parámetros para esta estructura.

$$Trh = \frac{Vol}{Q} \quad (37)$$

$$V = \frac{Lr}{Trh} \quad (38)$$

$$Gr = \sqrt{\frac{\gamma * hr_{Tot}}{\mu * Trh}} \quad (39)$$

Donde:

- $Trh$ , tiempo de retención hidráulico.
- $Vol$ , volumen del floculador.
- $Q$ , caudal de planta.
- $V$ , velocidad del agua.
- $Lr$ , longitud del recorrido del agua.
- $Gr$ , gradiente medio de velocidad.
- $\gamma$ , peso específico del agua a 25°
- $hr_{Tot}$ , pérdida total de energía por pasos.
- $\mu$ , viscosidad dinámica del agua.

### 3.3.3 Sedimentadores

Los parámetros por evaluar en esta estructura son los siguientes.

$$Cs = \frac{Qsdor}{L * B} \quad (40)$$

$$Re = \frac{Vo * e}{\nu} \quad (41)$$

$$Trh = \frac{Vo}{L.incli.tubos} \quad (42)$$

Donde:

- $Cs$ , carga superficial.

- $Qsdor$ , caudal del sedimentador.
- $B$  y  $L$ , base y longitud del sedimentador respectivamente.
- $Re$ , número del Reynolds.
- $Vo$ , velocidad de ascenso del flujo a través de los tubos.
- $e$ , separación y arista entre tubos del módulo de sedimentación acelerada de tipo colmena.
- $\nu$ , viscosidad cinemática del agua a 15°C.
- $Trh$ , tiempo de retención hidráulico.
- $L.incli,tubos$ , longitud real (inclinada) de los tubos del módulo de sedimentación acelerada de tipo colmena.

### 3.3.4 Filtros

Esta estructura tiene las siguientes consideraciones.

$$Tf = \frac{Qd}{At} \quad (43)$$

$$Ht = H_{antracita} + H_{arena} \quad (44)$$

Donde:

- $Tf$ , tasa de filtración.
- $Qd$ , caudal de diseño.
- $At$ , área total del sistema de filtración.
- $Ht$ , altura de las capas que componen el filtro rápido.
- $H_{antracita}$ , altura de la capa de antracita.
- $H_{arena}$ , altura de la capa de arena.

### 3.3.5 Tanques de almacenamiento

Se debe de garantizar que el volumen de almacenamiento sea mayor que el máximo entre volumen regulación y volumen contra incendios.

$$V_{almacenamiento} \geq \max(V_{regulacion}; V_{Contraincendios}) \quad (45)$$

## Capítulo 4

### 4. Resultados

#### 4.1 Fase 1. Proyección de población y determinación de la demanda de agua

##### 4.1.1. Métodos de análisis poblacional (geométrico, exponencial, aritmético) para la determinación de la población proyectada

###### 4.1.1.1 Método Aritmético

De acuerdo con la ecuación 1, la población proyectada del municipio para el año 2032 es de 7973 habitantes.

###### 4.1.1.2 Método Geométrico

De acuerdo con la ecuación 2, la población proyectada del municipio para el año 2032 es de 8042 habitantes.

###### 4.1.1.3 Método Exponencial

De acuerdo con la ecuación 4, la población proyectada del municipio para el año 2032 es de 8088 habitantes.

La población proyectada para el 2032 del municipio es de 8034 habitantes, valor que se obtiene del promedio de los tres métodos empleados de proyección poblacional.

##### 4.1.2. Determinación de la dotación neta y bruta de acuerdo con el RAS-2000 y a la población proyectada

###### 4.1.2.1 Dotación Neta

La dotación neta corresponde al valor de 125 L/hab\*día mostrado en la tabla 3, debido a que el sistema de complejidad del municipio es medio y se encuentra a una altura sobre el nivel del mar inferior a 1000m.s.n.m categorizándose dentro del clima cálido.

###### 4.1.2.2 Dotación Bruta

Realizados los cálculos según la ecuación 6, el valor de la dotación bruta es de 166.67 L/hab\*día.

### 4.1.3 Cálculo del caudal de demanda del municipio de Hobo

#### 4.1.3.1 Caudal medio diario

De acuerdo con la ecuación 7, el valor del caudal medio diario es 15.5 L/s.

#### 4.1.3.2 Caudal máximo diario

De acuerdo con la ecuación 8, el valor del caudal máximo diario es 20.15 L/s.

#### 4.1.3.3 Caudal máximo horario

De acuerdo con la ecuación 9, el valor del caudal máximo horario es 26.19 L/s.

%P	dbruta (L/hab*día)	Qmd (L/s)	QMD (L/s)	QMH (L/s)
0,25	166,67	15,5	20,15	26,19

*Tabla 4. Dotaciones hídricas para el municipio de Hobo.*

En base a los caudales calculados y según lo establecido al RAS 2000 para estas estructuras el caudal de diseño será el máximo diario; este caudal proyectado a futuro es menor al de diseño de los elementos que componen el sistema de acueducto principal, por lo que no existe un déficit con relación al caudal.

## 4.2 Fase 2. Inspección y medición de la red principal de captación y transporte hasta la PTAP

### 4.2.1 Captación

Consiste en una bocatoma de fondo ubicada después de un meandro anterior a una caída de 3 metros en la quebrada El Hobo con coordenadas 2°33'55.86" Norte - 75°25'12.72" Este con cota aproximada de 690msnm. La quebrada presenta un caudal máximo para un año húmedo de  $2.54m^3/s$  y un caudal medio para un año hidrológico normal de  $0.79m^3/s$  según la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM, 2019). El agua es captada a través de un canal de aducción de 1.9mx0.3mx0.5m con pendiente de 9.3% que conduce el agua a una cámara de recolección regulada por una válvula que permite el flujo a la tubería de aducción; el sistema de captación funciona todo el tiempo y cuenta con un vertedero de excesos que devuelve el agua sobrante de nuevo a la quebrada.



*Figura 3. Bocatoma de fondo.*

Los muros de ambos lados del canal cumplen la función de contener el agua para su captación, están hechos en concreto reforzado con un espesor de 25cm separados entre sí por 5m y tienen altura variable; el muro izquierdo de 2.5m y el derecho 0.8m con respecto a la parte antes de la caída del canal. Existen algunas fugas producto de la erosión del agua en los muros de contención y también se resalta el hecho de que el muro derecho es muy bajo por lo que en invierno el agua suele correr por encima de él.



*Figura 4. Fuga de agua en muro de contención.*

La cámara de recolección primaria es de 0.7m x 0.8m x 1.5m y cuenta con una abertura para el vertedero y una válvula que regula el paso del agua, pasa a una cámara de recolección secundaria de 0.8m x 2.3m x 2.5m que lleva a la tubería de aducción de 10" la cual presenta una pared en ciclópeo de 10cm para reducir el desgaste de la estructura por erosión del agua. Se puede evidenciar la falta de mantenimiento en la cámara principal producto del continuo desgaste que

el agua ocasiona y la dificultad de realizar uno considerando que no existe una forma sencilla de vaciarla; el concreto ciclópeo de la cámara secundaria ya está erosionado por la acción del agua. Exceptuando esto el estado general se encuentra en óptimas condiciones.



Figura 5. Cámara de recolección primaria.



Figura 6. Cámara de recolección secundaria.

Por otro lado, existen 3 cámaras para el caudal de excesos de  $0.55\text{m} \times 0.8\text{m} \times 2.1\text{m}$ ,  $1.75\text{m} \times 0.8\text{m} \times 2.1\text{m}$  y  $0.8\text{m} \times 0.8\text{m} \times 2.1\text{m}$  respectivamente, estando ubicadas en serie lo que permite reducir la velocidad del flujo. El recorrido termina en una tubería de gres de 12" que conecta con una caída a la quebrada, para la limpieza y mantenimiento cuenta también con una válvula que conecta la segunda cámara de recolección con la de excesos. No existen formas de acceso eficientes para el mantenimiento de las dos últimas recamaras y la primera no presenta dimensiones adecuadas para el acceso a pesar de contar con escaleras. Fuera de estas observaciones las cámaras de exceso se encuentran en buenas condiciones.



Figura 7. Primera cámara de vertedero.



Figura 8. Segunda cámara de vertedero.



Figura 9. Tercera cámara de vertedero.





Figura 10. Tubería de excesos 12"

#### 4.2.1.1 Presa

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
V <sub>p</sub>	López, 2013	$0,3\text{m/s} \leq V_p \leq 3\text{m/s}$	0,302 m/s	Si

Tabla 5. Chequeo presa.

Como se puede comprobar la velocidad del agua por encima de la rejilla cumple con lo establecido para un diseño de bocatoma de fondo.

#### 4.2.1.2 Rejilla y canal de aducción

En el momento en que se realiza la medición del canal de aducción se evidencia un daño que produjo el retiro de la rejilla existente, por tanto, se harán los cálculos en consideración a este caso.

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
X <sub>s</sub>	López, 2013	$X_s < B$	0,238 m	Si
V <sub>c</sub>	RAS 2000 (B.4.4.5.2)	$V_c < 0,15\text{m/s}$	0,079 m/s	Si

Tabla 6. Chequeo rejilla y canal de aducción.

La velocidad de entrada al canal cumple con lo establecido en el RAS 2000 evitando el arrastre de materiales flotantes. Por otro lado, el borde libre presente es aproximadamente de 6 cm, siendo el valor recomendado de 10 cm. Sin embargo, no es obligación de diseño.

#### 4.2.1.3 Cámara de recolección

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
X <sub>s</sub>	López, 2013	$X_s \leq B$	0,564 m	Si
B	López, 2013	$1,2\text{m} \leq B \leq 1,5\text{m}$	0,8	No
V <sub>e</sub>	López, 2013	$0,3\text{m/s} \leq V_e \leq 3\text{m/s}$	1,09 m/s	Si

Tabla 7. Chequeo cámara de recolección.



Si bien el alcance del agua “Xs” es menor al ancho de la cámara de recolección, esta última no presenta las dimensiones necesarias para facilitar las labores de mantenimiento y limpieza recomendadas por López (2003) de 1.2mx1.5m. Respecto a la velocidad, no existe ninguna discrepancia relacionada al criterio evaluado.

#### 4.2.1.4 Muro de contención

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
H	López, 2013	$H \leq H_m$	0,725 m	Si

*Tabla 8. Chequeo muro de contención.*

La altura teórica para los muros de contención es inferior a la que presenta el muro de menor altura de la estructura de captación cumpliendo este criterio.

#### 4.2.1.5 Caudal y cámara de excesos

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
Xs	López, 2013	$X_s \leq B$	0,564 m	No
Vexc	López, 2013	$0,3\text{m/s} \leq V_e \leq 3\text{m/s}$	0,927 m/s	Si

*Tabla 9. Chequeo caudal y cámara de excesos.*

De igual forma a la cámara de recolección, las dimensiones presentes en la cámara de recolección no son las necesarias para facilitar las labores de mantenimiento y limpieza recomendadas por López (2003) de 1.2mx1.5m. Respecto a la velocidad, no existe ninguna discrepancia relacionada al criterio evaluado.

### 4.2.2 Aducción

La tubería aducción presente se caracteriza por tener un diámetro de 10” hecha en tubería de PVC, una longitud de 157m medida en planta con diferencia de altura de 5.6m aproximadamente. Parte de la tubería se encuentra enterrada y otra parte se encuentra confinada en un encofrado en concreto para su protección. La tubería gira con un medio codo y continua con una T que distribuye el agua a los dos desarenadores que presenta el sistema de conducción.



Figura 11. Apique encontrado en tubería de aducción.

No es posible conocer el estado actual de la tubería de aducción completamente debido a que no se encuentra a la vista, sin embargo, se estima que no presenta problemas mayores puesto que cumple con su función correctamente. Los resultados obtenidos del cálculo de la velocidad y presión de salida del flujo se presentan a continuación.

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
V	RAS 2000 (B.6.4.4.10)	$1\text{m/s} < V < 6\text{m/s}$	0,71 m/s	No
P	RAS 2000 (B.6.4.4.6)	$P > 5\text{mca}$	2,89 mca	No

Tabla 10. Chequeo tubería de aducción.

La velocidad mínima establecida por la RAS 2000 indica que este criterio no está cumpliéndose debido a que su valor es menor a 1m/s. La presión de salida no supera la mínima de 5mca criterio que registra la RAS 2000, sin embargo, no se considera que la tubería de aducción está trabajando con un caudal máximo, por tanto, la presión encontrada permite el funcionamiento.

### 4.2.3 Desarenador

El sistema de transporte de agua cruda cuenta con dos desarenadores de 2mx9.2m y de 2.7mx12.6m ubicados en  $2^{\circ}33'56.58''$  Norte –  $75^{\circ}25'16.14''$  Este, cuyo suministro de agua es en paralelo y recoge una cámara juntas aguas; cuenta con válvulas de entrada de agua y de limpieza y mantenimiento además de dos cámaras que recogen el agua de excesos y lluvias para el reingreso a la quebrada. La pendiente del desarenador de mayor tamaño es 5.12% y 5.31% y el otro (que tiene pendiente simétrica) de 5.05%; conectan con una tubería de 10" hacia una misma cámara que inicia la tubería de conducción.

Las condiciones en las que se encuentran juntos desarenadores se pueden calificar como medianamente conservados, el vertedero de excesos no cuenta con una compuerta optima, el sedimentador de mayor tamaño siempre está desbordando agua cuando el de menor tamaño

está en mantenimiento (más de 2 meses), los canales de excesos son los más antiguos y presentan un grado de deterioro apreciable, las válvulas presentan oxidación leve y la cámara de recolección cuenta con moho y mayor deterioro del concreto que las otras.



Figura 12. Desarenador 1.



Figura 13. Desarenador 2.



Figura 14. Cámara de recolección aguas lluvia y de desarenador 1.



Figura 15. Perforaciones de tubería PVC 3" entrada del desarenador.



Figura 16. Válvula de lavado y mantenimiento desarenador 2.



Figura 17. Entrada cámara de excesos desarenadores.



Figura 18. Vertedero de salida desarenadores.

A continuación, se realizan los chequeos correspondientes para ambos desarenadores.

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
q	RAS 2000 (B.4.6.4)	$q < 1000 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$	91,93 $\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$	Si
d	RAS 2000 (B.4.6.3)	$d \leq 0,015 \text{ cm}$	0,0074 cm	Si
Re	RAS 2000 (B.4.6.3)	$Re < 1$	0,289	Si
$\theta$	RAS 2000 (B.4.6.4)	$\theta \geq 20 \text{ min}$	22,7 min	Si
Vh/vs	RAS 2000 (B.4.6.3)	$V_h/V_s < 20$	1,81	Si
Vhmax	RAS 2000 (B.4.6.3)	$V_{hmax} > 0,25 \text{ m/s}$	0,09 m/s	Si
%S1	RAS 2000 (B.4.6.7)	$5\% < \%S < 8\%$	0,0512	Si
%S2	RAS 2000 (B.4.6.7)	$5\% < \%S < 8\%$	0,0531	Si
Volsed	RAS 2000 (B.4.6.7)	$V_{olsed} \geq 0,1 \cdot V_{oltot}$	5,43 $\text{m}^3$	No
Hef	RAS 2000 (B.4.6.7)	$0,75 \text{ m} \leq H_{ef} \leq 1,5 \text{ m}$	1,5	Si
L/B	RAS 2000 (B.4.6.4)	$L/B \geq 4$	4,48	Si
Lver	López, 2013	$L_{verCAL} \leq L_{verREAL}$	0,9 m	Si

Tabla 11. Chequeo desarenador 1.



Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
q	RAS 2000 (B.4.6.4)	$q < 1000 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$	169,04 $\text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$	Si
d	RAS 2000 (B.4.6.3)	$d \leq 0,015 \text{ cm}$	0,01 cm	Si
Re	RAS 2000 (B.4.6.3)	$Re < 1$	0,684	Si
$\theta$	RAS 2000 (B.4.6.4)	$\theta \geq 20 \text{ min}$	12,78 min	No
Vh/vs	RAS 2000 (B.4.6.3)	$Vh/Vs < 20$	1,53	Si
Vhmax	RAS 2000 (B.4.6.3)	0,25 m/s	0,16 m/s	Si
%S	RAS 2000 (B.4.6.7)	$5\% < \%S < 8\%$	0,0505	Si
Volsed	RAS 2000 (B.4.6.7)	$Volsed \geq 0,1 \cdot Voltot$	4,02 $\text{ m}^3$	Si
Hef	RAS 2000 (B.4.6.7)	$0,75 \text{ m} \leq Hef \leq 1,5 \text{ m}$	1,5	Si
L/B	RAS 2000 (B.4.6.4)	$L/B \geq 4$	4,55	Si
Lver	López, 2013	$LverCAL \leq LverREAL$	1,04 m	No

Tabla 12. Chequeo desarenador 2.

Existen problemas con el primer desarenador puesto que existe deficiencias el volumen de sedimentos que almacena, sin embargo, su valor no se aleja demasiado del criterio establecido en el RAS 2000 por lo que no existe problemas mayores. El segundo desarenador presente un tiempo de retención hidráulico considerablemente menor al permitido, lo que puede ocasionar que parte del material en suspensión no se sedimente correctamente. Por otro lado, la longitud de vertedero encontrada no es superior a la calculada, por lo que el tirante de agua genera un leve rebose en la cámara de vertedero.

#### 4.2.4 Conducción

La red de conducción consta de tres tamaños de tubería de PVC siendo estos de 10", 8" y 6" a lo largo de 1.9Km de recorrido hasta la planta de tratamiento, cuenta con desaireadores, válvulas de lavado, macromedidores, codos y reducciones.

Se pueden apreciar únicamente la parte inicial de la tubería de conducción apoyada sobre unos gaviones a un lado de la quebrada apoyada con anclajes que presenta una pequeña fuga, existe una prolongación la cual se encuentra suspendida sin apoyos lo que vuelve susceptible a daños. El estado actual del trayecto consecuente no se puede conocer sino mediante apiques y excavaciones que no son posible realizar, no obstante, el agua llega con presión suficiente a la planta puesto que las mediciones que realizan los operarios respecto a los caudales estiman un rango de entre 25 a 29 L/s, valores que son más que suficientes para alimentar la población.

Algunos de los aparatos están rodeados de vegetación puesto que se encuentran en lugares recónditos, pero son funcionales, mientras que otros como las macromedidores se encuentran en buen estado debido a que son relativamente recientes. La tubería se encuentra a 60cm por debajo respecto a la cota de la superficie, aunque a lo largo del trayecto se alcanzan a ver puntos donde la tubería es visible volviéndose susceptible a daños en dichas zonas.



Figura 19. Prolongación tubería 10" suspendida en el aire.



Figura 20. Tubería apoyada en gaviones con anclajes.



Figura 21. Fuga tubería de conducción 10".



Figura 22. Apique encontrada tubería de conducción 10".

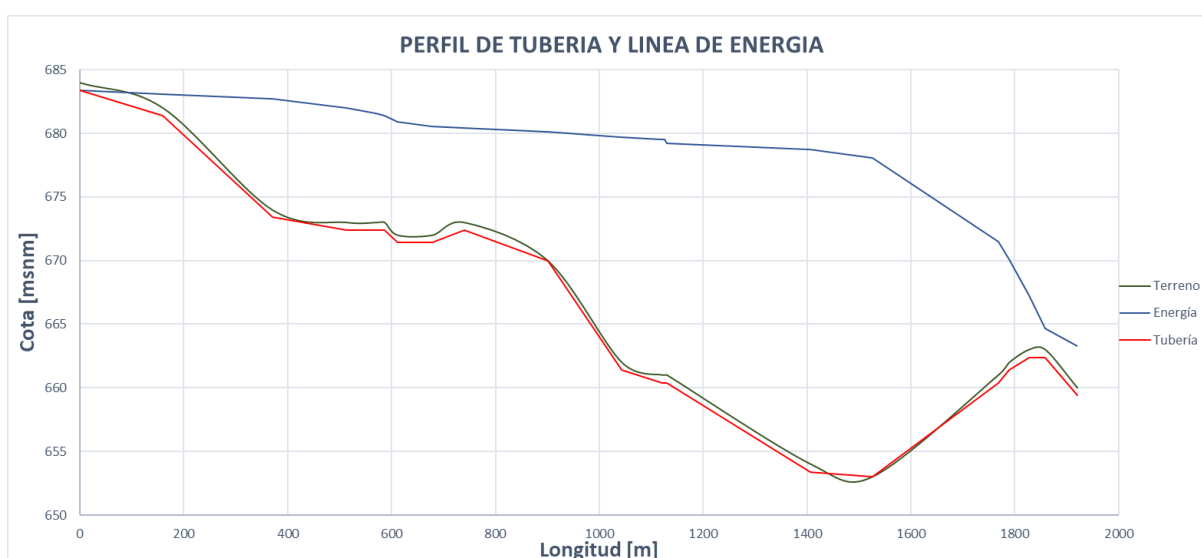


Gráfico 1. Perfil de tubería y línea de energía.

A continuación, se presentan los chequeos de la velocidad en los distintos tramos de tubería y la presión final de llegada.

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
V (10")	RAS 2000 (B.6.4.4.10)	$1\text{m/s} < V < 6\text{m/s}$	0,69 m/s	No
V (8")	RAS 2000 (B.6.4.4.10)	$1\text{m/s} < V < 6\text{m/s}$	1,11 m/s	Si
V (6")	RAS 2000 (B.6.4.4.10)	$1\text{m/s} < V < 6\text{m/s}$	1,98 m/s	Si
P	RAS 2000 (B.6.4.4.6)	$P > 5\text{mca}$	2,71 mca	No

Tabla 13. Chequeo tubería de conducción.

Respecto a las velocidades, se encontró únicamente deficiencias en la tubería de 10" debido a una velocidad menor a la recomendada por el RAS 2000; la presión de llegada a la PTAP no es la acorde con el criterio establecido, sin embargo, llega con la suficiente presión para satisfacer las



necesidades de la planta, lo cual es indicio de que la tubería de conducción presenta características no consideradas que permiten el buen funcionamiento de esta.

### **4.3 Fase 3. Diagnóstico de las estructuras hidráulicas de la PTAP y almacenamiento de agua potable**

El municipio de Hobo cuenta con una PTAP ubicada en la zona sureste cercano al casco urbano a 2 Km del parque principal en coordenadas 2°34'28.02" Norte – 75°26'6.66" Este; cuenta con una cámara de regulación de caudal entrante, un medidor Parshall, dos floculadores, dos sedimentadores, cuatro filtros y cuatro cámaras de lavado de filtros. Al final del tratamiento se encuentra con dos tanques de almacenamiento que dan paso a la red de distribución de agua municipal. A continuación, se explicará a detalle y se realizarán los ítems pertinentes a la fase de metodología.

#### **4.3.1 Canaleta Parshall**

La entrada a planta cuenta con una canaleta Parshall resguardada bajo techo la cual funciona como medidor de caudal y mezclador, los elementos que la conforman se encuentran en buen estado.



Figura 23. Canaleta Parshall.



Figura 24. Canaleta Parshall, mezcla rápida de tipo hidráulica.



Figura 25. Vertedero canaleta Parshall.

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
V2	RAS 2000 (C.C.2)	$V \geq 2 \text{ m/s}$	2,12 m/s	Si
S	EmpoPasto, 2019	$S < 60$	45,94	Si
Fr	RAS 2000 (C.C.2)	$1,7 < Fr < 2,5$ ó $4,5 < Fr < 9$	2,256	Si
Gr	RAS 2000 (C.C.2)	$1000s^{-1} < Gr < 2000s^{-1}$	$767,4 \text{ s}^{-1}$	No
Ho/w	RAS 2000 (C.C.2)	$0,4 < Ho/w < 0,8$	1,289	No

Tabla 14. Chequeo canaleta Parshall.

Según los chequeos realizados existe un problema con la relación Ho/w, cualquier valor que se altere para cumplir con este criterio genera problemas tanto con otros criterios como con el caudal de entrada en la planta, de igual forma el gradiente de velocidad no cumple con el criterio establecido.

### 4.3.2 Floculadores

Una vez el agua sale de la canaleta Parshall mezclada con el coagulante Hidroxicloruro de aluminio se encuentra con una cámara con dos válvulas laterales que unen tuberías 6" las cuales distribuyen el agua a los floculadores que son de tipo vertical, aunque su estructura y diseño se adecua más a un floculador tipo Alabama.

La planta de tratamiento de agua potable presenta dos floculadores verticales que consisten en 9 cámaras conectadas en serie con dimensiones de 0.9mx0.9mx2.95m, que terminan en una tubería de 12" hacia el sedimentador; la eliminación de lodos se lleva a cabo mediante válvulas que conducen el agua a una cámara central de 1.35mx1.05x4.5m por medio de tuberías de gres de 8", esta cámara a su vez recoge el agua de los sedimentadores y la lleva a una cámara hexagonal de 5m de profundidad que redirige toda el agua de los diferentes procesos de la planta hacia la quebrada.

El estado actual de ambos floculadores está en buenas condiciones, el concreto no presenta ningún deterioro y los orificios que se pueden observar no tienen agentes biológicos. En lo que respecta a mantenimiento y aseo se puede concluir que se efectúan con regularidad y eficacia puesto que se encuentran óptimas condiciones sanitarias.



Figura 26. Floculador.



Figura 27. Cámara de vertedero para mantenimiento y limpieza.



Figura 28. Entrada del flujo a los floculadores.

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
Trh	RAS 2000 (C.F.1)	$20\text{min} \leq \text{Trh} \leq 30\text{min}$	24,72min	Si
V	RAS 2000 (C.F.1)	$0,2\text{m/s} \leq V \leq 0,6\text{m/s}$	0,023m/s	No
Gr	RAS 2000 (C.F.1)	$20\text{s}^{-1} \leq \text{Gr} \leq 70\text{s}^{-1}$	23,82s <sup>-1</sup>	Si
Ht	RAS 2000 (C.F.1)	$3\text{m} \leq \text{Ht} \leq 4\text{m}$	2,95m	No
Ha	RAS 2000 (C.F.1)	$2\text{m} \leq \text{Ha} \leq 3\text{m}$	2,7m	Si

Tabla 15. Chequeo floculadores.

Los floculadores presentan una muy baja velocidad debido a una longitud de recorrido muy corta, es evidente que se encuentra trabajando bajo criterios que no fueron diseñados, lo cual puede estar afectando los procesos de floculación. Si bien la altura del tanque no se encuentra dentro de los límites establecidos en la RAS 2000 (C.F.1) no representa un problema tan grave como lo es la velocidad.



### 4.3.3 Sedimentadores

El sistema de sedimentación en planta consiste en dos unidades de sedimentadores de alta tasa con dimensiones de 2.9mx2.4m y una profundidad de 4.25m, presentan módulos de sedimentación acelerada de tipo colmena con una altura vertical de 1.05m formados tubos hexagonales de 6cm de arista fabricados en poliestireno. El agua tratada viaja verticalmente hasta llegar a una serie de tuberías perforadas de 6" (perforaciones de 1") que conducen el agua hacia un canal terminado en una cámara de distribución hacia los filtros. La eliminación de lodos tiene lugar en la misma cámara de mantenimiento y limpieza a la cual llegan los residuos de los floculadores.

Respecto al estado actual de los sedimentadores, presenta módulos de sedimentación acelerada de tipo colmena recientes (menores a un año) anteriormente existían placas inclinadas por lo que están en condiciones óptimas; el concreto se encuentra en buen estado y no presenta daños por el paso del tiempo y, por otro lado, las tuberías de recolección perforadas no tienen una buena higiene. En general ambos sedimentadores no tienen defectos mayores y cumplen su función sin inconvenientes fuera de una acumulación de sedimentos en las esquinas.



Figura 29. Sedimentador.



Figura 30. Tubería perforada.

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
Cs	RAS 2000 (C.S.3)	$120\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día}) \leq \text{Cs} \leq 185\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$	$180\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$	Si
Re	RAS 2000 (C.S.3)	$100 \leq \text{Re} \leq 500$	126,612	Si
Trh	RAS 2000 (C.S.3)	$10\text{min} \leq \text{Trh} \leq 15\text{min}$	8,31min	No
H	RAS 2000 (C.S.3)	$4\text{m} \leq \text{H} \leq 5,5\text{m}$	4,25m	Si
T	RAS 2000 (C.S.3)	$\text{T} > 8\text{cm}$	11cm	Si

*Tabla 16. Chequeo sedimentadores.*

Debido a que la PTAP trabaja con un caudal mayor al de diseño, el tiempo de retención hidráulico se encuentra por debajo de lo recomendado por el RAS 2000, esto puede explicar la presencia de sedimentos suspensión en el agua hacia la canaleta de recolección puesto que existen una velocidad de ascensión lo suficientemente alta para generarlo.

#### 4.3.4 Filtros

La canaleta que toma el agua de los sedimentadores distribuye el agua en partes iguales a 4 unidades de filtro rápido compuesto por antracita, arena, grava y un falso fondo con un área transversal de  $2.34\text{m}^2$ . El agua filtrada asciende a través de 4 agujeros hacia una cámara que cuenta con una más pequeña en el borde, allí es donde se realiza el proceso de cloración por gas para finalmente ser conducida a través de una tubería de 6" hacia los tanques de almacenamiento. Los filtros también cuentan cada uno con una cámara de desagüe y lavado de  $1\text{m} \times 0.9\text{m}$  de 3 metros de profundidad que recoge el agua hacia una cámara de recolección conectada con la cámara final de los sedimentadores, floculadores y excesos en la entrada de la canaleta Parshall.

El estado actual de los filtros es desconocido, lo que poco que se pudo apreciar parece indicar que se encuentra en buenas condiciones estructurales e higiénicas y la manguera de cloración trabaja con una buena sumergencia; la cámara de desagüe y lavado de los filtros si es conocida y presenta buenas condiciones de higiene y funcionamiento.



Figura 31. Filtros.



Figura 32. Cámara de salida a los tanques de almacenamiento.



Figura 33. Cámara de desagüe y lavado de filtros.

Si bien es necesario establecer las propiedades de la composición del lecho filtrante para un control en sus tamaños, coeficientes de uniformidad y disposición de estos no es posible realizar estas comprobaciones debido a la imposibilidad que hay de medir tales datos en los filtros y a la inexistencia de material de respaldo para la verificación de estos.

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
Tf	RAS 2000 (C.Fi.1)	$90\text{m}^3/(\text{m}^2*\text{día}) \leq \text{Tf} \leq 350\text{m}^3/(\text{m}^2*\text{día})$	$267,64\text{m}^3/(\text{m}^2*\text{día})$	Si
Ht	RAS 2000 (C.Fi.1)	$0,6\text{m} \leq \text{Ht} \leq 0,9\text{m}$	0,3 m	No
Hsl	RAS 2000 (C.Fi.1)	$\text{Hsl} > 0,5\text{m}$	1,1 m	Si

Tabla 17. Chequeo filtros.

La altura de los elementos principales del lecho filtrante fue tomada de Consorcio aguas de Colombia (2011), sin embargo, no hubo forma de corroborar estos valores en las salidas a campo. La tasa de filtración se encuentra fuera de los límites establecidos en los momentos en los que se realiza el mantenimiento de un filtro, sin embargo, no es una condición frecuente y la mayor parte del tiempo los cuatro filtros se encuentran activos.

#### 4.3.5 Tanques de almacenamiento

Actualmente se encuentran dos tanques semienterrados conectados en serie, pero cada uno distribuye independiente del otro, presentan dimensiones de 9.5mx9.5mx3.8m y 10.5mx10.5mx3.1m con capacidades de 302.715m<sup>3</sup> y 297.052 m<sup>3</sup> respectivamente ubicados en 2°34'30.75" Norte – 75°26'8.2" Este.

Los tanques cuentan con 4 conos de ventilación de 8" y cámaras de llegada y salida en los extremos en buen estado, tampoco existen fugas ni daños en la integridad estructural e



hidráulica; algo importante a destacar es el hecho de que ninguno de los dos tanques alcanza su límite de capacidad.



Figura 34. Tanque de almacenamiento 1.



Figura 35. Tanque de almacenamiento 2 y tanque elevado para lavado de filtros.

Variable	Parámetros	Criterio	Calculo	Cumple Si/No
Vdiseño	RAS 2000 (B.9.4.7)	$V_{real} > V_{diseño}$	1291,4 m <sup>3</sup>	No

Tabla 18. Chequeo tanques de almacenamiento.

De acuerdo con los resultados obtenidos siendo la capacidad de diseño 1291.4m<sup>3</sup> los tanques actuales no cumplen con los requerimientos del RAS 2000 porque cuentan con una capacidad total de aproximadamente 600m<sup>3</sup>, no obstante, según el RAS 2000 el volumen puede ser aceptado siempre que sea justificado con estudios técnico-económicos.

## Capítulo 5

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

La evaluación de las múltiples estructuras del sistema de abastecimiento de agua analizado permite establecer que, en rasgos generales, no existen problemas que afecten la integridad y el funcionamiento del sistema. Sin embargo, existen deficiencias que a futuro pueden generar inconvenientes como la falta de una rejilla en la bocatoma, secciones de tubería de conducción suspendidas y a la intemperie.

Mediante el uso de software AutoCAD y datos obtenidos en las salidas de campo se logró realizar de manera satisfactoria el levantamiento topográfico de la red principal de conducción y tratamiento de agua, cuyos resultados describen una topografía ondulada en la zona de la captación a una superficie relativamente llana al llegar a los tanques de almacenamiento. La comparativa entre la cota topográfica y piezométrica permiten concluir que el sistema de transporte de agua cuenta con las presiones suficientes para funcionar a gravedad, descartando este factor como un elemento influyente en el déficit de suministro de agua potable.

Los resultados obtenidos de los cálculos hidráulicos permiten establecer que algunas estructuras no cumplen ciertos criterios de diseño y parámetros establecidos en el RAS 2000. Si bien la mayoría no presentan un inconveniente significativo en el funcionamiento del sistema, se resalta que en los floculadores existe una velocidad muy inferior a la permitida, así como la baja capacidad de los tanques. De acuerdo a lo anterior, se concluye que la hidráulica de las estructuras evaluadas no tiene una incidencia importante en el déficit del servicio de agua a la población.

En resumen, el sistema de la red principal que abarca desde la captación hasta el almacenamiento del agua no es responsable de la escasez de agua potable en el municipio de Hobo puesto que no se encontró ningún fallo en la integridad del sistema ni problemas en las estructuras hidráulicas que afecten la dotación a la población. Se sugiere que se realice un diagnóstico en la red principal de distribución de agua potable puesto que se prevé que en esta residan las causas a la escasez de agua.

#### 5.2 Recomendaciones

Muchas de las siguientes recomendaciones buscan la preservación de las estructuras hidráulicas y el correcto funcionamiento de estas, algunas de estas están fundamentadas en la investigación

de autores expertos o criterio propio y otras ligadas al cumplimiento de criterios contenidos en el RAS 2017. Con base en lo anterior, se sugieren las siguientes medidas a implementar.

- Colocar una rejilla en la entrada de la bocatoma de fondo para impedir la entrada de material grueso que obstruya parcial o totalmente el sistema, así como para regular de mejor forma el caudal captado por el sistema.
- Ampliar las cámaras de recolección y excesos en la bocatoma para facilitar la entrada de personal de mantenimiento y limpieza, esto siguiendo las dimensiones recomendadas por López para asegurar un fácil acceso al sistema.
- Prolongar el gavión de soporte de la tubería de conducción a lo largo de la zona donde se encuentra suspendida para impedir daños graves, considerando su predisposición a pandeo producto de golpes o el movimiento del agua cuando se presente una creciente en el nivel de la quebrada.
- Ejecutar la transición de los floculadores verticales a tipo Alabama para optimizar el funcionamiento de estos con el fin primario de mejorar la condición más crítica, la velocidad, para así asegurar la correcta ejecución de los procesos de floculación en la planta de tratamiento de acuerdo con lo estipulado en el artículo 112 del RAS 2017.
- En caso de no tener una justificación al volumen de almacenamiento de los tanques actuales, se debe construir un nuevo tanque de almacenamiento que permita cumplir con el volumen mínimo requerido que contemple los volúmenes útiles de almacenamiento descritos en el artículo 81 del Ras 2017.

## Bibliografía

- Aguas de Manta. (2016). *II Etapa de Reconstrucción de Sistemas Hidrosanitarios Afectados por el Terremoto del 16 de Abril de 2016*. Obtenido de <https://manta.gob.ec/db/ARCHIVOS-Procesos%20de%20Licitaci%C3%B3n%20Internacional%20con%20Financiamiento%20del%20Banco%20Europeo%20de%20Inversiones%20%28BEI%29%20para%20tarefas%20de%20Reconstrucci%C3%B3n/04-NORMAS%20Y%20PROCEDIMIENTO%20DE%20DISE%C3%91O.pdf>
- Alcaldía de Hobo. (2020). *Análisis de Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud*. Obtenido de <file:///D:/MODALIDAD%20DE%20GRADO/DOCUMENTOS%20BIBLIOGRAFICOS/ASIS%20HOBO%202020.pdf>
- Consortio Aguas de Colombia. (2011). *Informe Optimización Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Hobo*. Neiva.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. (2019). *Resolución 3599 del 2019. Por medio de la cual se adopta el plan de ordenamiento del recurso hídrico de la quebrada el Hobo y sus principales tributarios que discurren por el municipio del Hobo, departamento del Huila*. Obtenido de [https://cam.gov.co/images/Documentos/Recursos\\_Hidricos/Res\\_adopcion\\_PORH/11\\_RES\\_3599\\_2019\\_PORH\\_Hobo.pdf](https://cam.gov.co/images/Documentos/Recursos_Hidricos/Res_adopcion_PORH/11_RES_3599_2019_PORH_Hobo.pdf)
- De Acevedo Netto, J. M. (1998). *Manual de Hidráulica. (8a ed.)*. Sao Paulo: Edgar Brücher.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística . (2020). *Proyecciones de Población*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Agua Normatividad*. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/programas/vivienda-agua-y-desarrollo-urbano/Paginas/Agua-Normatividad--.aspx>
- Durman. (2016). *Sistema para Acueducto*. Obtenido de <https://www.durman.com.co/product/25/valvulas-de-aire-ventosas.html#:~:text=Llamadas%20VENTOSAS%2C%20su%20misi%C3%B3n%20principal,de%20aire%20en%20las%20tuber%C3%ADas.>
- Empresa de Obras Sanitarias de Pasto. (2019). *Parámetros de diseño estación de medición de aguas residuales con aforador Parshall*. Obtenido de [https://www.empopasto.com.co/wp-content/uploads/2019/09/ANEXO-1.3.-BTCamara\\_Aguas\\_Residuales\\_271117.pdf](https://www.empopasto.com.co/wp-content/uploads/2019/09/ANEXO-1.3.-BTCamara_Aguas_Residuales_271117.pdf)
- Espinosa, J. L. (2020). *Diseño de una Bocatoma de Fondo*. Obtenido de <https://www.studocu.com/co/document/universidad-santo-tomas-colombia/acueductos-y-alcantarillados/diseño-de-una-bocatoma-de-fondo/8910155>
- Huerta Calleja, K. (2022). *El Coagulante en el Tratamiento de Aguas*. Obtenido de <https://contyquim.com/blog/el-coagulante-en-el-tratamiento-de-aguas>

- Jiménez, B., & Buitrón, G. (2019). *Sedimentadores de Alta Tasa para Efluentes Secundarios de tipo Biológico*. Obtenido de <http://www2.iingen.unam.mx/es-mx/difusion/CongresoSMBB/SMBB/Libros/513.pdf>
- López Cualla, R. A. (2003). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. (2a ed.)*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- López, F., Zurita, R., Cerven, D., & Naranjo, E. (2017). *Canal de Parshall*. Obtenido de <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-medicion-en-canales-abiert>
- Ministerio de Vivienda. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico [Título B]*. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- Ministerio de Vivienda. (2010). *Reglamento Técnico para el Sector del Agua Potable y Saneamiento Básico [Título A]*. Obtenido de [https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710\\_ras\\_titulo\\_a\\_.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_a_.pdf)
- Ministerio de Vivienda. (2017). *Resolución 330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009*. Obtenido de <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>
- Ministerio de Vivienda. (2020). *Calidad del Agua para Consumo Humano*. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/gestion-institucional/calidad-del-agua-para-consumo-humano>
- Ministerio de Vivienda. (2022). *Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>
- NVTecnologías. (2021). *¿Cómo Funcionan los Macromedidores de Agua?* Obtenido de <https://blog.nvtecnologias.com/blog/blog-1/como-funcionan-los-macromedidores-de-agua-3>
- Pérez, F. J. (2011). *Abastecimiento de Aguas*. Obtenido de <http://www.elaguapotable.com/Tema%2006%20FILTRACI%C3%93N.pdf>
- Ramírez Quirós, F. (2015). *Tratamiento de Desinfección de Agua Potable*. Madrid: Canal Educa.
- Romero, M. (2008). *Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua*. Obtenido de <https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/13/32/894.pdf>
- Vargas, L. (s.f.). *Capítulo 6: Floculación*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>

## ANEXOS

## ANEXO A. Fase 1. Proyección de población y determinación de la demanda de agua

## Método Aritmético

Puc	Pci	Tuc	Tci	Tf	Pf
7286	6648	2018	2005	2032	7973

Tabla 19. Población proyectada por el método aritmético.

## Método Geométrico

Puc	Pci	Tuc	Tci	Tf	r	Pf
7286	6648	2018	2005	2032	0,007074	8042

Tabla 20. Población proyectada por el método geométrico.

## Método Exponencial

Pca1	Pcp1-Pca2	Pcp2	Tca1	Tcp1-Tca2	Tcp2	Pci	Tci	Tf	K1	K2	Kx (promedio)	Pf
6648	7286	7507	2005	2018	2022	6648	2005	2032	0,007049	0,00747	0,00726	8088

Tabla 21. Población proyectada con el método exponencial.

## ANEXO B. Fase 2. Inspección y medición de la red principal de captación y transporte hasta la PTAP

## Presa

L (m)	QD (m <sup>3</sup> /s)	n
5	0,04029	3

Tabla 22. Datos de iniciales presa.

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

$$L' = L - 0.1 * n * H$$

$$Vp = \frac{QD}{L' * H}$$

Donde:

- $H$ , es la altura de lámina de agua sobre el canal.
- $L$ , es la longitud entre muros de contención.
- $QD$ , es el caudal de diseño.
- $L'$ , es la corrección de la longitud del vertimiento.
- $n$ , son las contracciones del canal.
- $V_r$ , es la velocidad del agua por encima del canal de aducción.

H (m)	L' (m)	Vp (m/s)
0,027	4,99	0,302

Tabla 23. Resultados de cálculos presa.

### Rejilla y canal de aducción

Vp (m/s)	H (m)	B (m)	QD (m <sup>3</sup> /s)	L (m)	e (m)	i	Bl (m)
0,302	0,027	0,3	0,04029	1,9	0,25	0,093	0,15

Tabla 24. Datos iniciales rejilla y canal de aducción.

$$X_s = 0.36 * V_p^{\frac{2}{3}} + 0.6 * H^{\frac{4}{7}}$$

$$X_i = 0.18 * V_p^{\frac{4}{7}} + 0.74 * H^{\frac{3}{4}}$$

$$B_d = B - X_s$$

$$V_c = \frac{QD}{0.9 * (B * L)}$$

$$h_e = \left( \frac{QD^2}{g * B^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$L_c = L + e$$

$$h_o = \left[ 2 * h_e^2 + \left( h_e - \frac{i * L_c}{3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{2 * i * L_c}{3}$$

$$H_o = h_o + B_l$$

$$H_e = H_o + L_c * i$$

Donde:

- $X_s$ , es el alcance del filo superior del agua.
- $X_i$ , es el alcance del filo inferior.
- $B$ , es el ancho del canal de aducción.

- $Bd$ , es el borde libre del canal.
- $Vc$ , es la velocidad de entrada al canal.
- $L$ , es el largo del canal.
- $he$ , es la profundidad de aguas abajo.
- $g$ , es la aceleración de la gravedad.
- $e$ , es el espesor del muro de contención.
- $i$ , es la pendiente del canal de aducción.
- $Lc$ , es la longitud total del canal de aducción.
- $ho$ , es la profundidad de aguas arriba.
- $Ho$ , es la altura al final del canal.
- $Bl$ , es el borde libre recomendado (15cm).
- $He$ , es la altura aguas abajo.

Xs (m)	Xi (m)	Bd (m)	Vb (m/s)	he (m)	Lc (m)	ho (m)	Ho (m)	He (m)
0,238	0,14	0,062	0,079	0,123	2,15	0,049	0,199	0,349

Tabla 25. Resultados cálculos canal de aducción.

### Muro de contención

Qmax (m <sup>3</sup> /s)	L (m)	BL (m)
2,54	5	0,3

Tabla 26. Datos iniciales muro de contención.

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

$$Hm = H + BL$$

Donde

- $QMax$ , es el caudal máximo del rio para un año húmedo.
- $Hm$ , altura del muro.
- $BL$ , borde libre del muro.

H (m)	HM (m)
0,424	0,725

Tabla 27. Resultados muro de contención.



## Caudal y cámara de excesos

Qmed (m <sup>3</sup> /s)	L (m)	B (m)	Lc (m)	QD (m <sup>3</sup> /s)	Lexc (m)	Bexc (m)
0,79	5	0,3	1,9	0,04029	0,9	0,8

Tabla 28. Datos de entrada caudal y cámara de excesos.

$$H = \left( \frac{Q_{med}}{1.84 * L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$Q_{cap} = 0.3 * B * Lc * \sqrt{2 * g * H}$$

$$Q_{exc} = Q_{cap} - QD$$

$$H_{exc} = \left( \frac{Q_{exc}}{1.84 * L_{exc}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$V_{exc} = \frac{Q_{exc}}{H_{exc} * B_{exc}}$$

$$Xs = 0.36 * V_{exc}^{\frac{2}{3}} + 0.6 * H_{exc}^{\frac{4}{7}}$$

$$U = Xs + 0.3m$$

Donde

- $H$ , es la altura del agua en la presa.
- $L$ , es la longitud del canal.
- $B$ , es el ancho de la cámara de recolección.
- $Lc$ , es la longitud del canal de aducción.
- $L_{exc}$ , es la longitud de la cámara de excesos.
- $B_{exc}$ , es la base de la cámara de excesos.
- $Q_{med}$ , es el caudal medio del río.
- $Q_{cap}$ , es el caudal captado.
- $Q_{exc}$ , es el caudal de excesos.
- $H_{exc}$ , es la altura del agua que va a la cámara de excesos.
- $V_{exc}$ , es la velocidad del agua en la cámara de excesos.
- $U$ , es la longitud ideal de la cámara de excesos.

H (m)	Qcap (m <sup>3</sup> /s)	Qexc (m <sup>3</sup> /s)	Hexc (m)	Vexc (m/s)	Xs (m)	U (m)
0,195	0,334	0,294	0,342	1,075	0,703	1,003

Tabla 29. Resultados cámara de excesos.

## Aducción

Z1 (msnm)	Z2 (msnm)	L (m)	QT (m <sup>3</sup> /s)	ϕ int (m)	A (m <sup>2</sup> )
690	684,4	157	0,03	0,256	0,0514

Tabla 30. Datos iniciales tubería de aducción.

$$V = \frac{Q}{A} = 0.582 \text{ m/s}$$

Para el cálculo de pérdidas por fricción y accesorios se tienen los siguientes datos.

$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\nu$ (m <sup>2</sup> *s)	Ks (mm)	Km (codo 45°)	Km (codo radio medio)	Km (codo T salida lateral)
1000	0,00000114	0,0015	0,4	0,8	1,8

Tabla 31. Datos iniciales tubería de aducción (pérdidas).

$$Re = \frac{V * \phi}{\nu}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \text{Log}_{10} \left( \frac{Ks}{3.7 * \phi} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

Cuando se igualen se encuentra el valor de  $f$ .

$$hf = f * \left( \frac{L}{\phi} \right) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$hm = \sum Km * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$H = hf + hm$$

$$P_{salida} = \Delta Z - H$$

Donde

- $\rho$ , es la densidad del agua.
- $\nu$ , es la viscosidad cinemática a 15°C.
- $Ks$ , es la rugosidad absoluta del PVC.
- $Km$  es el coeficiente de pérdida menor por accesorios.
- $Re$ , es el número de Reynolds.
- $f$ , es el factor de fricción.
- $hf$ , es la pérdida por fricción.
- $hm$ , es la pérdida por accesorios.

- $H$ , es la pérdida total de energía.
- $P_{salida}$ , es la presión de salida de la aducción.
- $\Delta Z$ , es la diferencia de altura entre cotas.

hf (m)	hm (m)	H (m)	P salida (mca)
2,03	0,66	2,7	2,89

Tabla 32. Resultados tubería de aducción.

## Desarenador

QD (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	$\rho_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	p (gr/cm <sup>3</sup> )	v (m <sup>2</sup> /s)	H (m)	b (m)	l (m)	Atsed (m <sup>2</sup> )	$\Delta_z$ (m)	Lmed1 (m)	Lmed2 (m)
0,036	34,02	2,656	1	0,00000114	1,5	2,7	12,6	2,01	0,32	6,25	6,03

Tabla 33. Datos iniciales desarenador 1.

QD (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	$\rho_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	p (gr/cm <sup>3</sup> )	v (m <sup>2</sup> /s)	H (m)	b (m)	l (m)	Atsed (m <sup>2</sup> )	$\Delta_z$ (m)	Lmed (m)
0,036	18,4	2,656	1	0,00000114	1,5	2	9,2	2,01	0,23	4,55

34. Datos iniciales desarenador 2.

$\frac{V_s}{V_c} = 4$ , de acuerdo al porcentaje de remoción del RAS 2000 B. 4.6.3

$$q = \frac{QD}{A}$$

$$V_o = q$$

$$d_o = \sqrt{\frac{V_o * 18 * v}{g * (\rho_s - \rho)}}$$

$$V_s = 4 * V_o$$

$$d = \sqrt{\frac{V_s * 18 * v}{g * (\rho_s - \rho)}}$$

$$Re = \frac{V_s * d}{v}$$

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

$$\theta = t * \frac{V_s}{V_o}$$

$$V_h = \frac{QD}{H * b}$$

$$V_{hmax} = 20 * V_s$$

$$Hv = \left( \frac{QD}{1.84 * l} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$Vv = \frac{QD}{Hv * b}$$

$$Xs = 0.36 * Vv^{\frac{2}{3}} + 0.6 * Hv^{\frac{4}{7}}$$

$$Bv = Xs + Bd$$

$$lv = 15 * Hv$$

$$Lt = Bv + Lv$$

$$\%S = \frac{\Delta Z}{L}$$

$$Volsed = A_t * b$$

Donde:

- $q$ , es la carga superficial del desarenador.
- $Vo$ , es la velocidad de sedimentación de la partícula críticas en condiciones teóricas.
- $do$ , es el diámetro de partícula critica.
- $Vs$ , es la velocidad de sedimentación de la partícula real.
- $d$ , es el diámetro de la partícula real.
- $Re$ , es el número de Reynolds de la partícula.
- $t$ , es el tiempo de sedimentación de la partícula.
- $\theta$ , es el tiempo de retención de la partícula.
- $Vh$ , es la velocidad horizontal.
- $Vhmax$ , es la velocidad horizontal máxima.
- $Hv$ , es la altura del agua en el vertedero de salida.
- $Vv$ , es la velocidad en el vertedero de salida.
- $Xs$ , es el alcance del agua en el vertedero de salida.
- $Bv$ , es el largo del vertedero de salida en la zona de recolección de agua.
- $lv$ , es el largo de zona de entrada a recolección de agua del vertedero de salida.
- $LT$ , es el largo total del vertedero de salida.

$q$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día)	$Vo$ (cm/s)	$do$ (cm)	$Vs$ (cm/s)	$d$ (cm)	$Re$	$t$ (s)	$\theta$ (min)	$Vh$ (m/s)	$Vh/vs$
91,43	0,105	0,00360	0,441	0,0074	0,289	340,31	22,7	0,008	1,814

Tabla 35. Resultados desarenador 1 (1 de 2).

Vhmáx (m/s)	Hv (m)	Vv (m/s)	Xs (m)	Bv (m)	lv (m)	Lt (m)	%S1	%S2	Volsed (m <sup>3</sup> )
0,088	0,037	0,36	0,236	0,336	0,562	0,898	5,12%	5,31%	5,43

Tabla 36. Resultados desarenador 1 (2 de 2).

q (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día)	Vo (cm/s)	do (cm)	Vs (cm/s)	d (cm)	Re	t (s)	θ (min)	Vh (m/s)	Vh/vs
169,043	0,196	0,005	0,783	0,01	0,684	191,671	12,778	0,012	1,533

Tabla 37. Resultados desarenador 2 (1 de 2).

Vhmáx (m/s)	Hv (m)	Vv (m/s)	Xs (m)	Bv (m)	lv (m)	Lt (m)	%S	Volsed (m <sup>3</sup> )
0,157	0,046	0,394	0,255	0,355	0,686	1,041	5,05%	4,02

Tabla 38. Resultados desarenador 2 (2 de 2).

## Conducción

Las ecuaciones a emplear son las mismas que en aducción.

Qmaximo (m <sup>3</sup> /s)	ΣL 10" (m)	ΣL 8" (m)	ΣL 6" (m)	∅ int 10" (m)	∅ int 8" (m)	∅ int 6" (m)	ν (m <sup>2</sup> *s)	Ks (mm)
0,039	1406,18	119,69	394,19	0,256	0,205	0,158	0,00000114	0,0015

Tabla 39. Datos iniciales cálculo de tuberías de conducción.

Km (entrada)	Km (codo de gran radio)	Km (válvula de globo)	Km (válvula de lavado)	Km (reducción)	Km (medio codo)	Km (salida)
0,9	0,6	10	5	0,15	0,2	1

Tabla 40. Coeficientes de perdidas menores tubería de conducción.

V 10" (m/s)	V 8" (m/s)	V 6" (m/s)	RE 10"	RE 8"	RE 6"	hf (m)	hm (m)	H (m)	P (mca)
0,69	1,11	1,98	170149,2	212479	275684,78	10,68	9,4	20,1	2,71

Tabla 41. Resultados tubería de conducción.

## ANEXO C. Fase 3. Diagnóstico de las estructuras hidráulicas de la PTAP y almacenamiento de agua potable.

### Canaleta Parshall

	W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	n	$\lambda$
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	1,547	0,176
6"	15,2	62,3	61	39,4	40,3	61	30,5	61	7,6	11,4	1,58	0,381
9"	22,9	88,1	86,4	38,1	57,5	76,2	30,5	45,7	7,6	11,4	1,53	0,535
1'	30,5	137,1	134,4	61	84,5	91,5	61	91,5	7,6	22,9	1,522	0,69
1 1/2'	45,7	144,8	142	76,2	102,6	91,5	61	91,5	7,6	22,9	1,538	1,054
2'	61	152,3	149,3	91,5	120,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9	1,55	1,426
3'	91,5	167,5	164,2	122	157,2	91,5	61	91,5	7,6	22,9	1,556	2,182
4'	122	182,8	179,2	152,5	193,8	91,5	61	91,5	7,6	22,9	1,578	2,935
5'	152,5	198	194,1	183	230,3	91,5	61	91,5	7,6	22,9	1,587	3,728
6'	183	213,3	209,1	213,5	266,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9	1,595	4,515
7'	213,5	228,6	224	244	303	91,5	61	91,5	7,6	22,9	1,601	5,306
8'	244	244	239	274,5	340	91,5	61	91,5	7,6	22,9	1,606	6,101
10'	305	274,5	274,5	366	475,9	122	91,5	183	15,3	34,3	-	-

Tabla 42. Dimensiones estándar de medidores Parshall. Fuente: Acevedo 8va edición 1998.

Se encontró una garganta de 15cm por lo que se aproxima a una longitud de garganta de 6".

Q (m <sup>3</sup> /s)	W (m)	C (m)	D (m)	G (m)	K (m)	N (m)	n	$\lambda$
0,029	0,152	0,394	0,403	0,61	0,076	0,114	1,58	0,381

Tabla 43 Datos iniciales canaleta Parshall.

$$H_o = \left(\frac{Q}{\lambda}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$D' = \frac{2}{3} * (D - W) + W$$

$$V_o = \frac{Q}{H_o * D'}$$

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

$$E_o = \left(\frac{V_o^2}{2 * g}\right) + H_o + N$$

$$H^3 - E_o * H^2 + \frac{q^2}{2 * g} = 0$$

$$V2 = \frac{q}{H2}$$

$$S = \frac{H2}{H0} > 60; \text{ Considerada para un ancho de garganta de 6"}$$

$$Fr = \frac{V2}{\sqrt{9.81 * H2}}$$

$$H3 = \frac{H2}{2} [(1 + 8 * Fr^2)^{0.5} - 1]$$

$$V3 = \frac{H3}{q}$$

$$H4 = H3 - (N - K)$$

$$V4 = \frac{Q}{C * H4}$$

$$hf = H0 + K - H4$$

$$Tr = \frac{2 * G}{V3 + V4}$$

$$Gr = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt{\frac{hf}{Tr}}$$

Donde:

- $W$ , es el ancho de garganta.
- $H0$ , es la altura del agua antes de la garganta.
- $D'$ , es la distancia de reducción del canal antes de la garganta donde se considera  $H0$ .
- $V0$ , es la velocidad del agua antes de la garganta.
- $q$ , es la carga superficial.
- $E0$ , es la energía antes de la garganta.
- $H2$ , es la altura del agua en la garganta.
- $V2$ , es la velocidad del agua en la garganta.
- $S$ , es el grado de sumergencia.
- $Fr$ , es el número de Froude.
- $H3$ , es la altura del agua en el resalto hidráulico.
- $V3$ , es la velocidad del agua en el resalto hidráulico.
- $H4$ , es la altura del agua en la salida de la canaleta Parshall.
- $V4$ , es la velocidad del agua en la salida de la canaleta Parshall.
- $hf$ , son las pérdidas totales de energía.

- $Tr$ , es el tiempo de mezcla rápida.
- $Gr$ , es el gradiente de velocidad.

Ho (m)	D' (m)	Vo (m/s)	q (m <sup>2</sup> /s)	Eo (m)	H2 (m)	V2 (m/s)
0,195	0,320	0,460	0,191	0,320	0,09	2,120

Tabla 44. Resultados canaleta Parshall (1 de 3).

S	Tipo de descarga	Fr	H3	V3 (m/s)	H4 (m)	V4 (m/s)
45,940	Descarga libre	2,256	0,246	0,780	0,208	0,350

Tabla 45. Resultados canaleta Parshall (2 de 3).

hf (m)	Tr (s)	Gr (s <sup>-1</sup> )	Ho/W
0,064	1,079	797,400	1,289

Tabla 46 Resultados canaleta Parshall (3 de 3).

## Floculadores

Q (m <sup>3</sup> /s)	B (m)	∅ h (m)	μ 25° (Kg/m*s)	γ (N/m <sup>3</sup> )	H (m)	H agua (m)
0,029	0,9	0,254	0,001	9780,57	2,95	2,70

Tabla 47. Datos iniciales floculador.

$$Qd = \frac{Q}{\text{Num. de floculadores}}$$

$$\text{Vol} = B^2 * H * \text{Num. de camaras.}$$

$$Lr = \text{Hagua} * \text{Num. secciones} + \text{Num. de camaras} * H$$

$$Trh = \frac{\text{Vol}}{Q}$$

$$V = \frac{Lr}{Trh}$$

$$Ain = \frac{\pi * \emptyset h^2}{4}$$

$$hr_{indi} = \frac{Qd^2}{CD^2 * 2 * g * Ain^2}$$

$$hr_{Tot} = hr_{indi} * \text{Num. de camaras}$$



$$Gr = \sqrt{\frac{\gamma * hr_{Tot}}{\mu * Trh}}$$

Donde:

- $Q$ , es el caudal de planta.
- $B$ , es la base de las cámaras del floculador.
- $\emptyset h$ , es el diámetro del orificio de paso del agua entre cámaras.
- $\mu$ , es la viscosidad dinámica del agua.
- $\gamma$ , es el peso específico del agua a 25°
- $H$ , es la altura de las cámaras del tanque.
- $H_{agua}$ , es la altura del agua en las cámaras.
- $Qd$ , es el caudal de diseño para un floculador.
- $Vol$ , es el volumen del floculador.
- $Lr$ , es la longitud del recorrido del agua.
- $Trh$ , es el tiempo de retención hidráulico.
- $V$ , es la velocidad del agua.
- $Ain$ , es el área del orificio inferior de paso del agua entre cámaras.
- $hr_{indi}$ , es la pérdida de energía por un paso.
- $hr_{Tot}$ , es la pérdida total de energía por pasos.
- $Gr$ , es el gradiente de velocidad.

Qd (m <sup>3</sup> /s)	Vol (m <sup>3</sup> )	Lr (m)	Trh (min)	V (m/s)
0,0145	21,510	34,650	24,720	0,023

Tabla 48. Resultados floculadores (1 de 2).

Ain (m <sup>2</sup> )	hr indi (m)	hr tot (m)	Gr (s <sup>-1</sup> )
0,051	0,009	0,076	23,820

Tabla 49. Resultados floculadores (2 de 2).

## Sedimentadores

Qd (m <sup>3</sup> /s)	e (m)	L incli. tubos (m)	$\Theta$ t (°)	B (m)	L (m)	#U	$v$ (cm <sup>2</sup> /s) 15°	H (m)	T (cm)
0,029	0,06	1,2	60	2,4	2,9	2	0,011	4,25	11

Tabla 50. Datos iniciales sedimentadores.

$$Qsdor = \frac{Qd}{\#unidades}$$

$$Cs = \frac{Qsdor}{B * L}$$

$$Vo = \frac{Qsdor}{B * L * \text{sen}(\theta t)}$$

$$Re = \frac{Vo * e}{\nu}$$

$$Trh = \frac{Vo}{L. \text{incli. tubos}}$$

Donde:

- $Qd$ , es el caudal de operación máxima de la PTAP.
- $e$ , es la separación y arista entre tubos del módulo de sedimentación acelerada de tipo colmena.
- $L. \text{incli. tubos}$ , es la longitud real (inclinada) de los tubos del módulo de sedimentación acelerada de tipo colmena.
- $\theta t$ , es el ángulo de inclinación de los tubos del módulo de sedimentación acelerada de tipo colmena.
- $B$ , es la base del sedimentador.
- $L$ , es la longitud del sedimentador.
- $\#U$ , son las cantidades de unidades de sedimentación.
- $\nu$ , es la viscosidad cinemática del agua a 15°C.
- $H$ , es la profundidad del sedimentador.
- $T$ , es el tirante del agua en la tubería perforada.
- $Q$ , es el caudal del sedimentador.
- $Cs$ , es la carga superficial del sedimentador.
- $Vo$ , es la velocidad de ascenso del flujo a través de los tubos.
- $Re$ , es el número del Reynolds.
- $Trh$ , es el tiempo de retención hidráulico.

Qsdor (m <sup>3</sup> /s)	Cs (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día)	Vo2 (cm/s)	Re	TRH (min)
0,0145	180	0,241	126,612	8,31

Tabla 51. Resultados sedimentadores.

## Filtros

Qd (m <sup>3</sup> /s)	#Uni	B (m)	L (m)	At (m <sup>2</sup> )	H antracita (m)	H arena (m)	Hsl (m)
0,029	4	1,51	1,55	9,36	0,2	0,1	1,1

Tabla 52. Datos iniciales filtro.

$$Tf = \frac{Qd}{At}$$

$$Ht = Hantracita + Harena$$

Donde:

- $Qd$ , es el caudal de diseño.
- $\#Uni$ , es el número de filtros.
- $B$ , es la base de filtro.
- $L$ , es el largo de filtro.
- $At$ , es el área total del sistema de filtración.
- $Hantracita$ , es la altura de la capa de antracita.
- $Harena$ , es la altura de la capa de arena.
- $Hsl$ , es la altura del agua sobre el lecho filtrante.
- $Tf$ , es el tiempo de filtración.
- $Ht$ , es la altura de las capas que componen el filtro rápido.

Tf (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *dia)	Ht (m)
267,64	0,3

Tabla 53. Resultados filtro.

### Tanques de almacenamiento

$$Qsum = \frac{Qplanta}{3}$$

$$Vsum = Qsum * Tsum$$

$$Vinope = Qmd * Tinope$$

$$Vreg = Vsum + Vinope$$

$$Qin = \frac{3.86}{60} * \sqrt{\frac{Pob}{1000}} * \left( 1 - 0.01 * \sqrt{\frac{Pob}{1000}} \right)$$

$$Vin = Qin * Tin$$

$$Vdiseño = Max(Vreg; Vin)$$

Donde:

- $Qsum$ , es el caudal de suministro.
- $Vsum$ , es el volumen de suministro.
- $Tsum$ , es el tiempo de suministro.

- *Vinope*, es el volumen de inoperancia.
- *Tinope*, es el tiempo de inoperancia.
- *Vreg*, es el volumen de regulación.
- *Qin*, es el caudal de incendios.
- *Vin*, es el volumen de incendios.
- *Tin*, es el tiempo de duración del incendio (RAS B.9.4.6)
- *Vdiseño*, es el volumen máximo empleado para el diseño de tanques.

<b>Qsum (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Tsum (hor)</b>	<b>Vsum (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Qmd (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Tinope (hor)</b>	<b>Vinope (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vreg (m<sup>3</sup>)</b>
0,009667	24	720	0,01584	8	456,192	1291,4

*Tabla 54. Resultados capacidad de regulación.*

<b>Población</b>	<b>Qin (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Tin (horas)</b>	<b>Vin(m3)</b>
8034,12107	0,18	2	1275,7

*Tabla 55. Resultados capacidad demanda contra incendio.*

# BOCATOMA

PROYECTO:  
DIAGNOSTICO DE LA  
PTAP DEL MUNICIPIO  
DE HOB0

DIBUJÓ:  
JEISMEN C. OLAYA  
DANIEL S. PERDOMO

CONTENIDO: Planos de  
bocatoma y cámaras de  
recolección y  
vertedero

ESCALA  
1:25

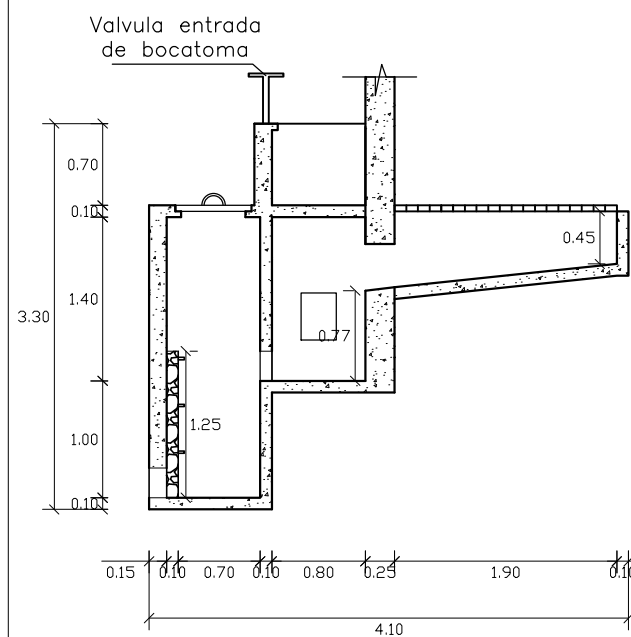
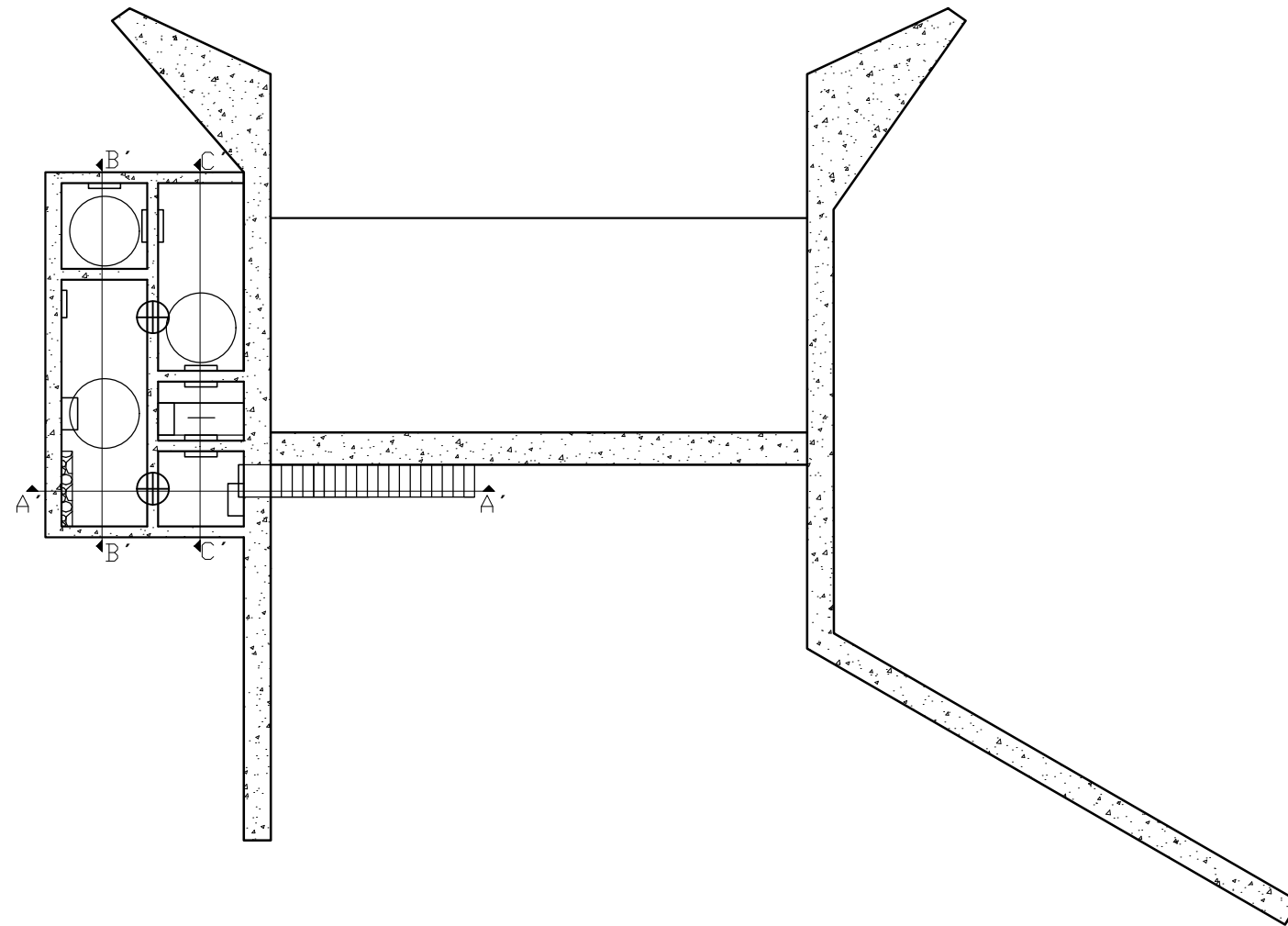
RECOMENDACIONES:  
Implementar una  
rejilla en el canal  
de aducción

FECHA:  
JULIO DE 2022

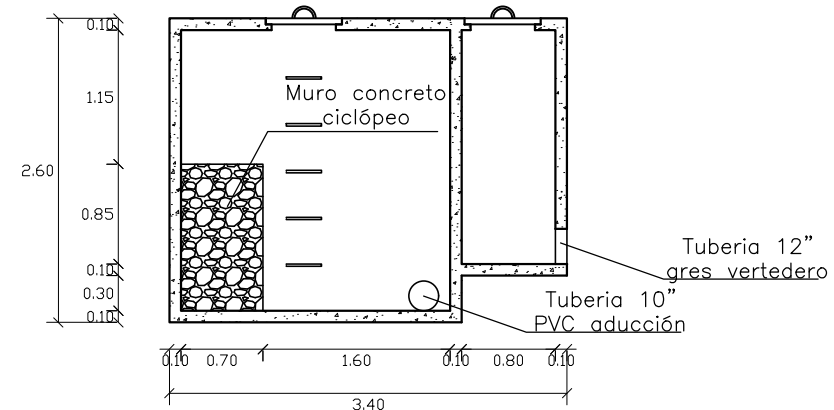
PLANO:  
01

DE

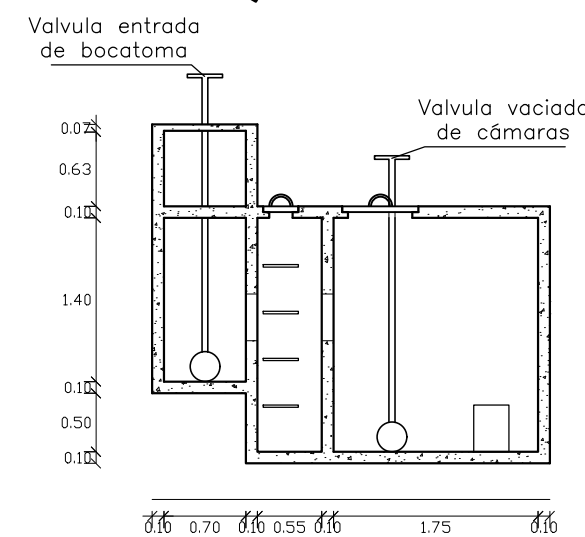
08



Corte A"-A"



Corte B"-B"



Corte C"-C"

# DESARENADORES

PROYECTO:  
DIAGNOSTICO DE LA  
PTAP DEL MUNICIPIO  
DE HOB0

DIBUJÓ:  
JEISMEN C. OLAYA  
DANIEL S. PERDOMO

CONTENIDO: Planos de  
desarenadores y  
cámaras de llegada y  
vertedero

ESCALA  
1:50

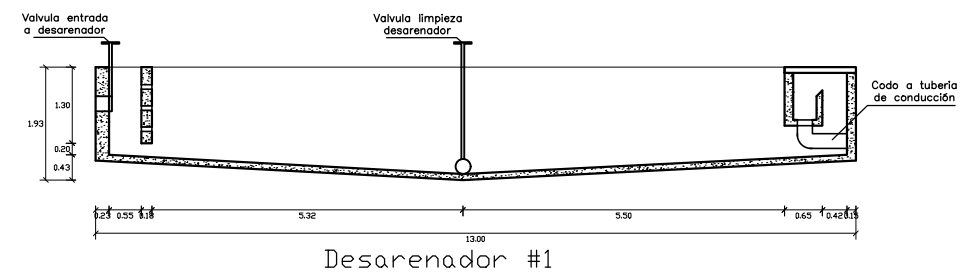
RECOMENDACIONES:

FECHA:  
JULIO DE 2022

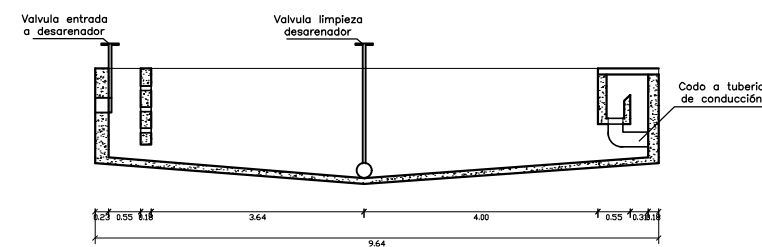
PLANO:  
02

DE

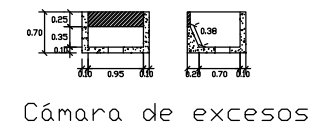
08



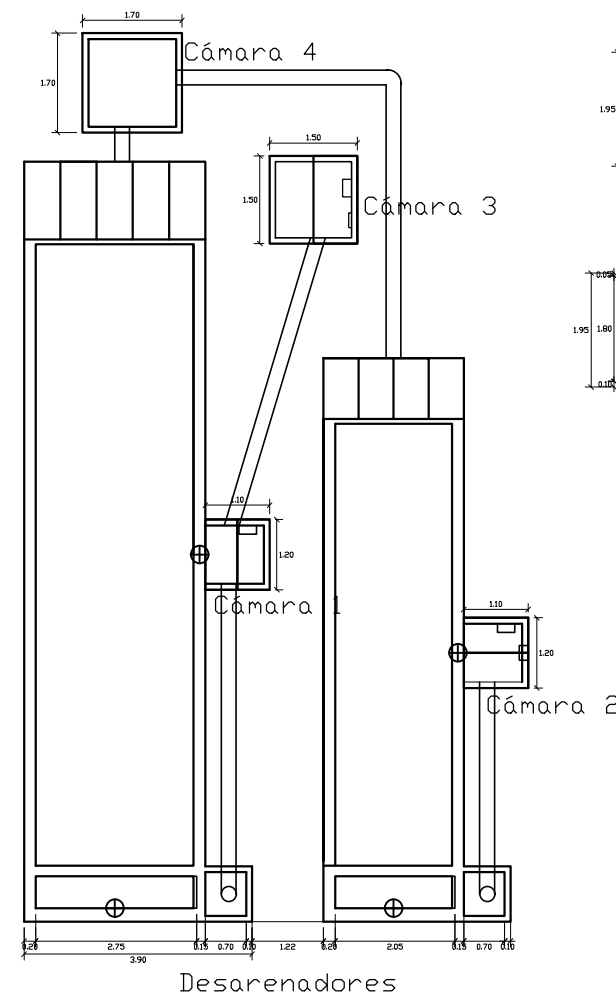
Desarenador #1



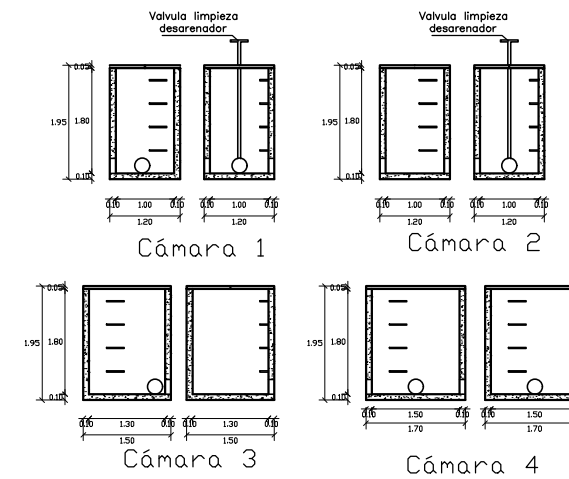
Desarenador #2



Cámara de excesos



Desarenadores



Cámara 1

Cámara 2

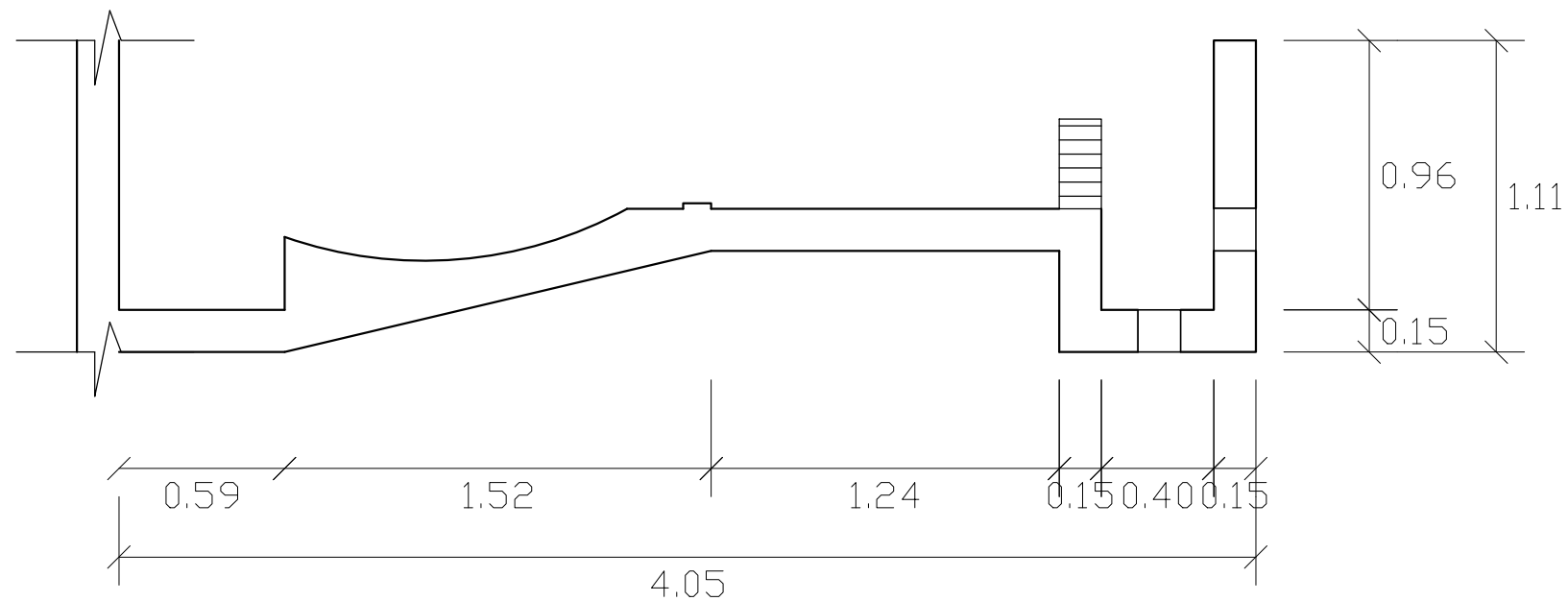
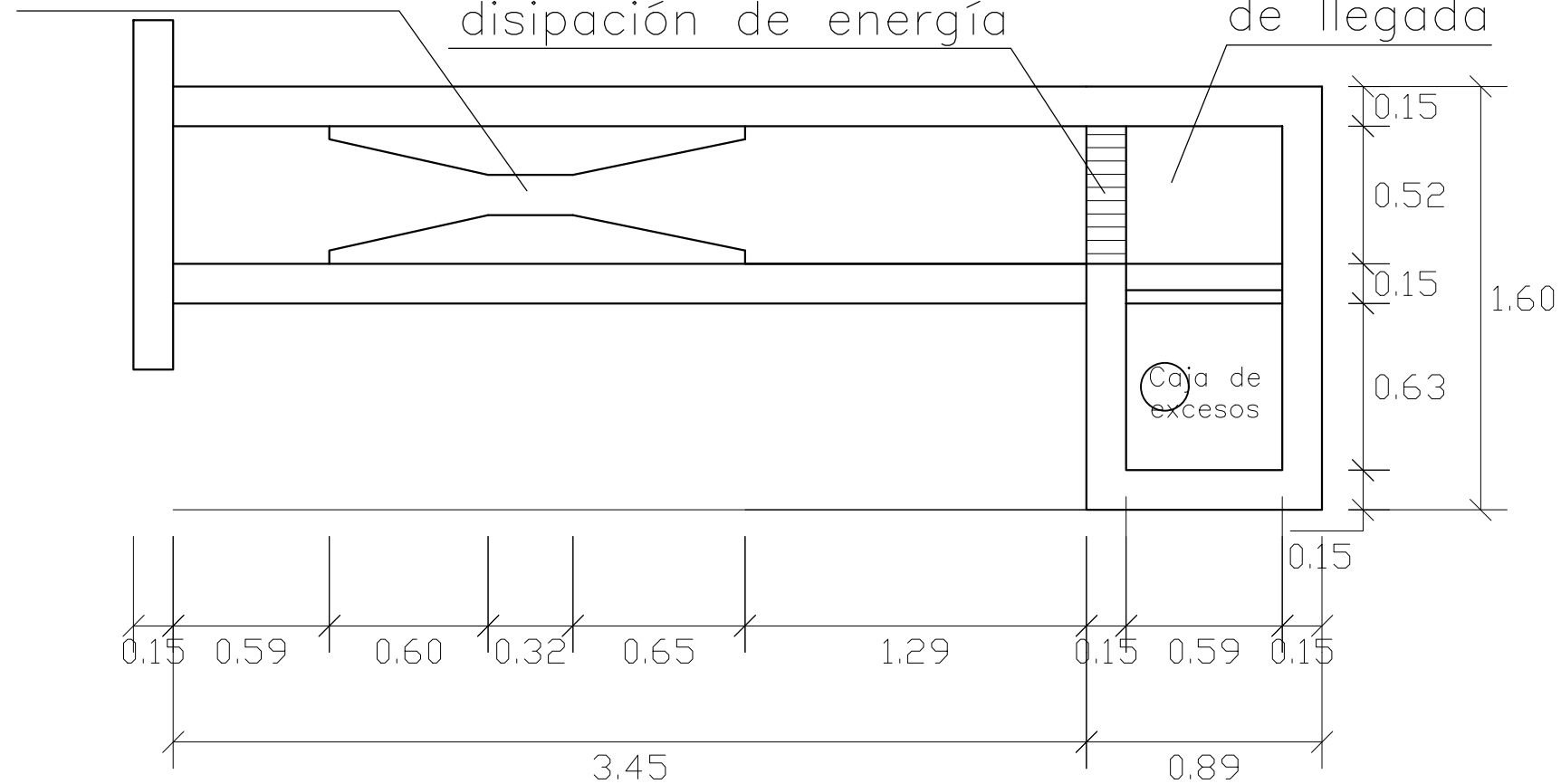
Cámara 3

Cámara 4

Canaleta Parshall  
w=6"

Pantalla de  
disipación de energía

Cámara  
de llegada



CANALETA PARSHALL

PROYECTO:  
DIAGNOSTICO DE LA  
PTAP DEL MUNICIPIO  
DE HOB0

DIBUJÓ:  
JEISMEN C. OLAYA  
DANIEL S. PERDOMO

CONTENIDO: Planos de  
canaleta Parshall

ESCALA  
1:10

RECOMENDACIONES:

FECHA:  
JULIO DE 2022

PLANO:  
03

DE

08



# FLOCULADORES

PROYECTO:  
DIAGNOSTICO DE LA  
PTAP DEL MUNICIPIO  
DE HOBÓ

DIBUJÓ:  
JEISMEN C. OLAYA  
DANIEL S. PERDOMO

CONTENIDO: Planos de  
floculadores

ESCALA  
1:50

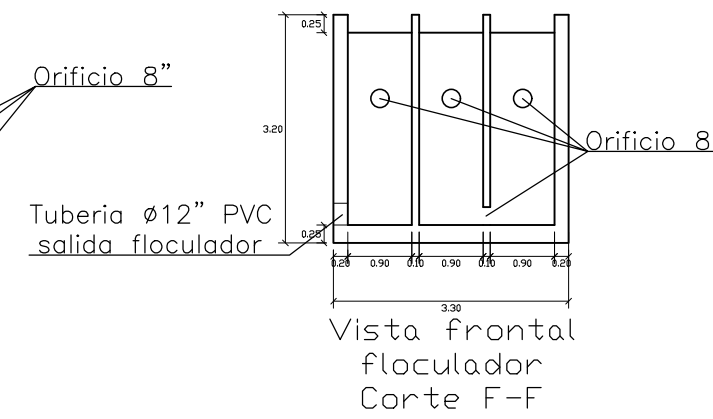
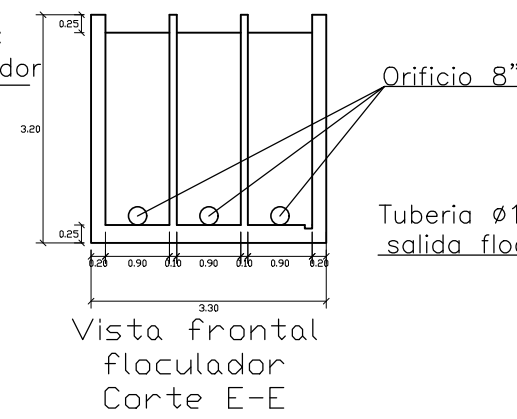
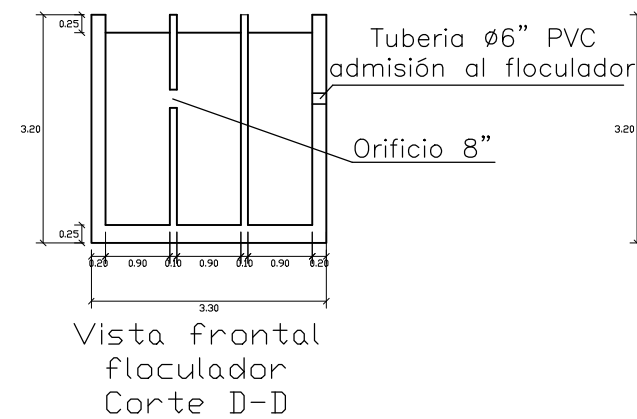
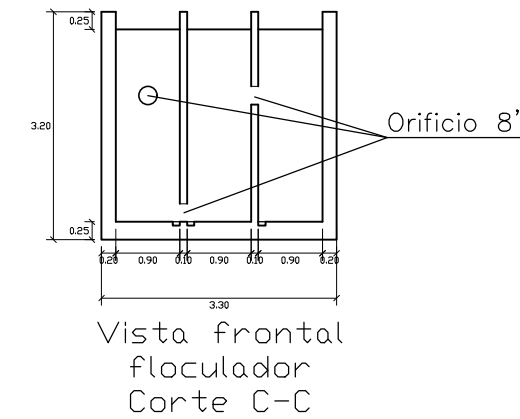
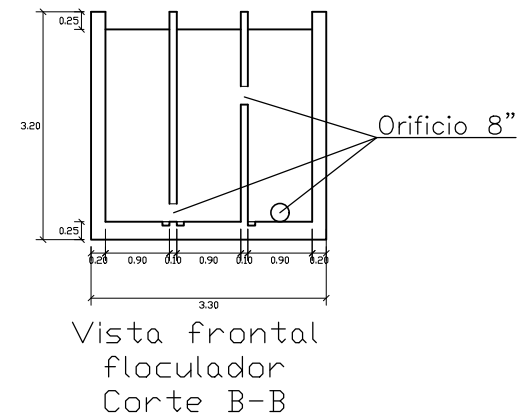
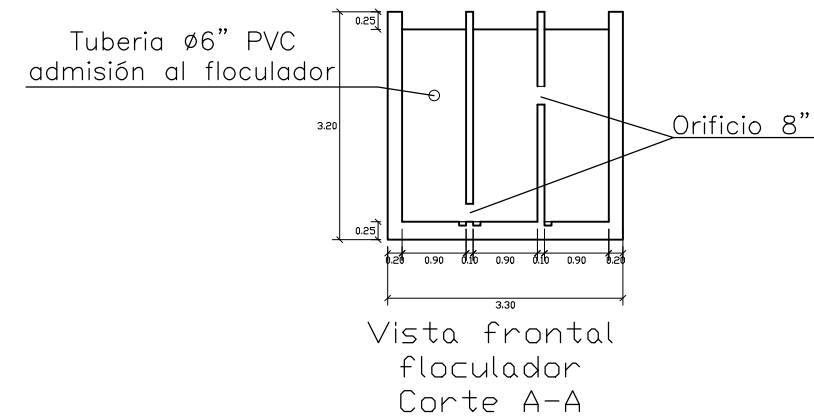
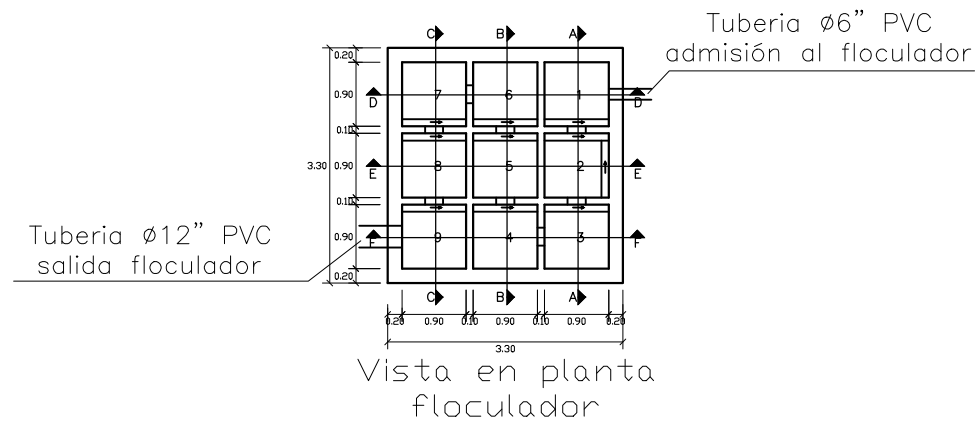
RECOMENDACIONES:  
Implementar las  
adaptaciones para  
floculador tipo Alabama

FECHA:  
JULIO DE 2022

PLANO:  
04

DE

08





# SEDIMENTADORES

PROYECTO:  
DIAGNOSTICO DE LA  
PTAP DEL MUNICIPIO  
DE HOB0

DIBUJÓ:  
JEISMEN C. OLAYA  
DANIEL S. PERDOMO

CONTENIDO: Planos de  
sedimentadores y  
detalle de soporte  
módulo tipo colmena

ESCALA  
1:25

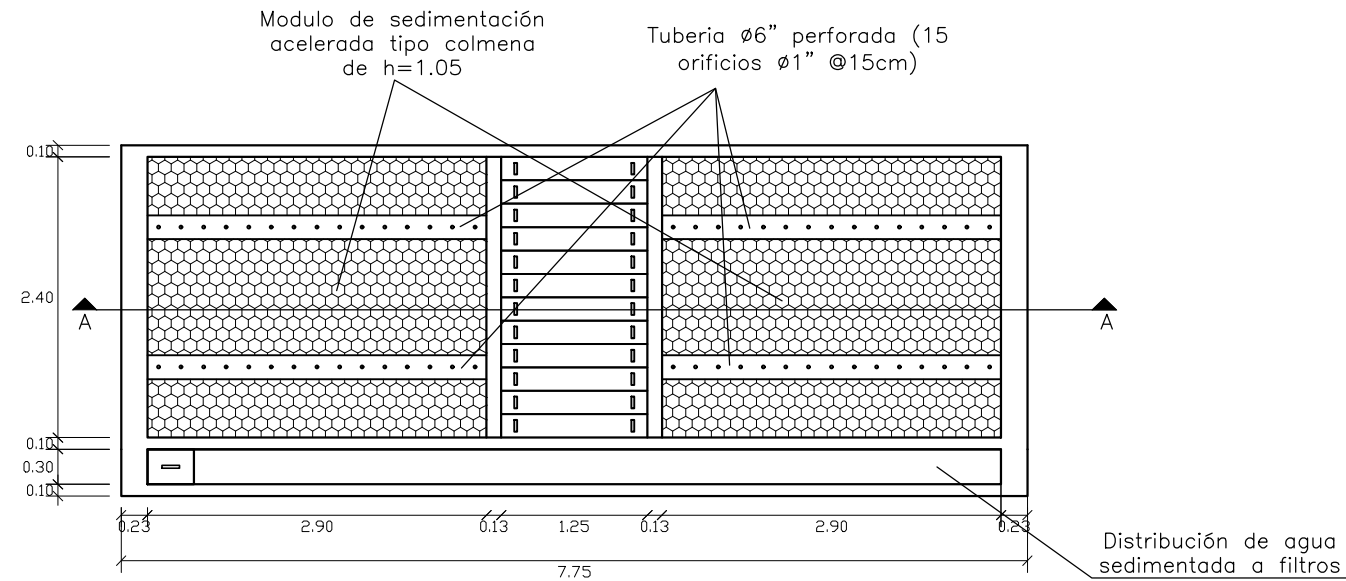
RECOMENDACIONES:

FECHA:  
JULIO DE 2022

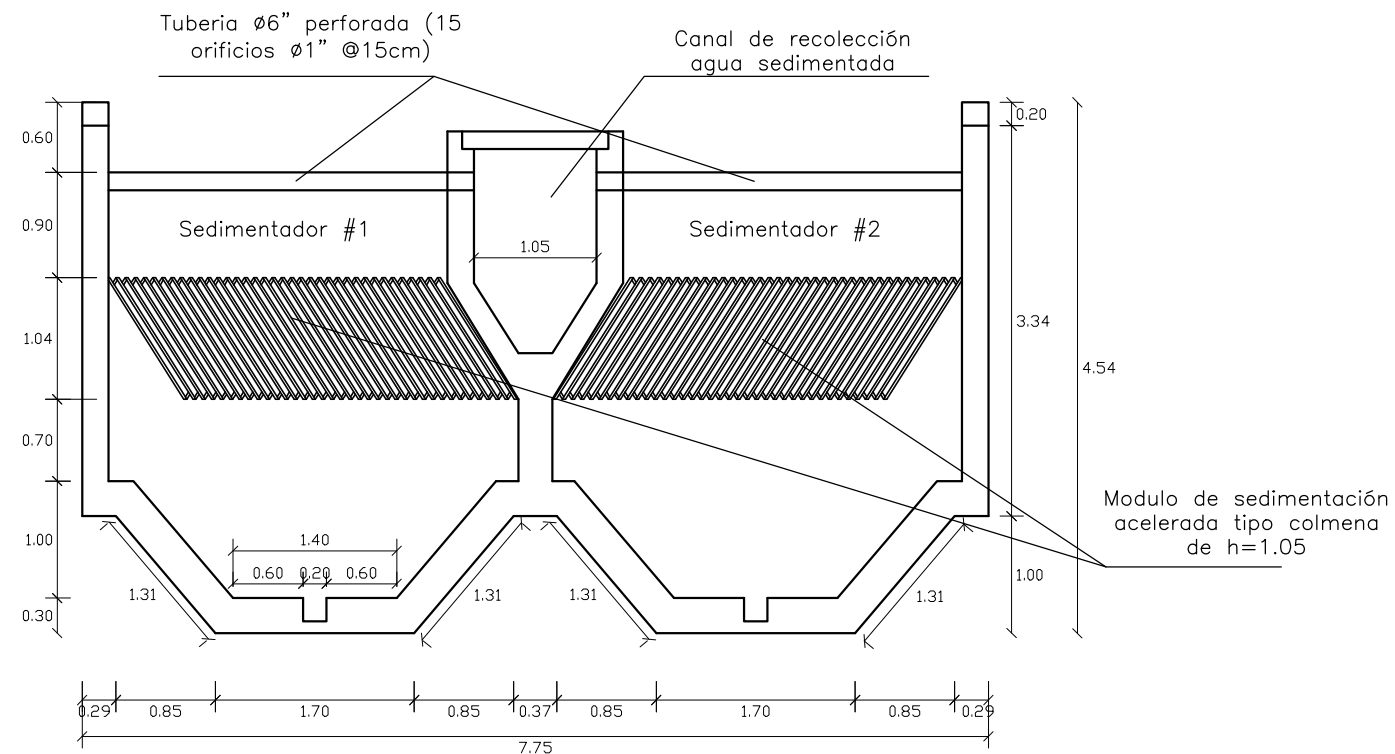
PLANO:  
05

DE

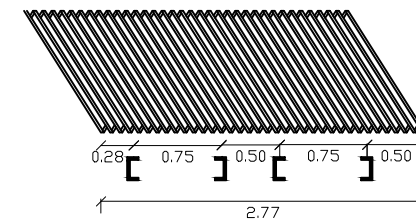
08



Vista en planta sedimentador



Vista frontal sedimentador  
Corte A-A



Detalle  
soportes de  
módulos tipo  
colmena

# FILTROS

PROYECTO:  
DIAGNOSTICO DE LA  
PTAP DEL MUNICIPIO  
DE HOBO

DIBUJÓ:  
JEISMEN C. OLAYA  
DANIEL S. PERDOMO

CONTENIDO: Planos de  
filtros y cámara de  
lavado de filtros

ESCALA  
1:50

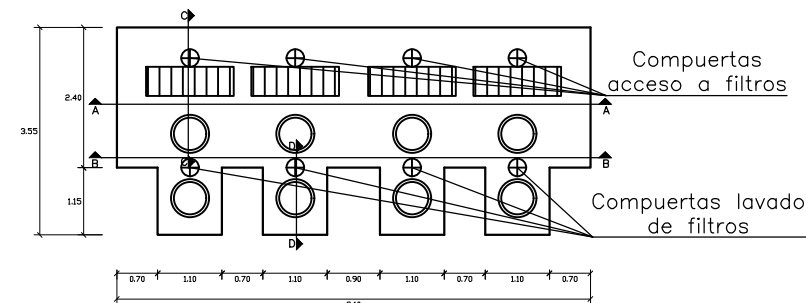
RECOMENDACIONES:

FECHA:  
JULIO DE 2022

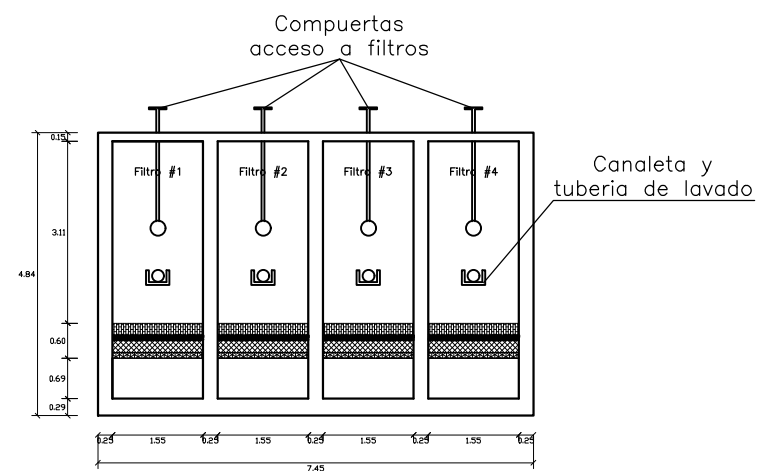
PLANO:  
06

DE

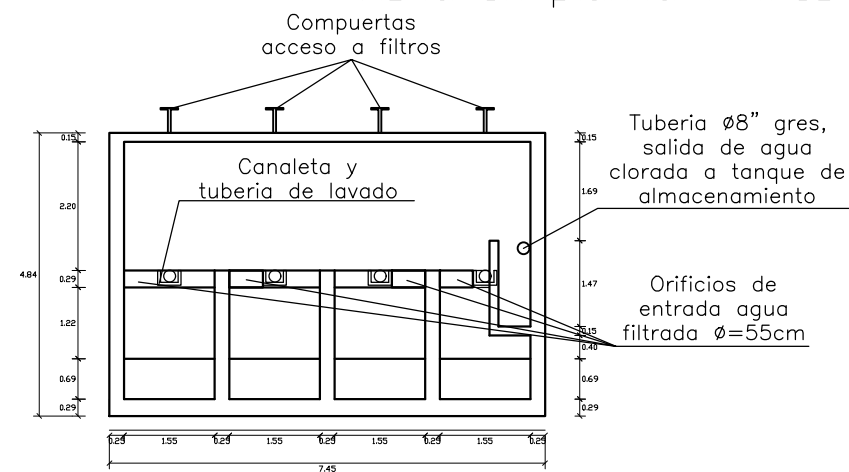
08



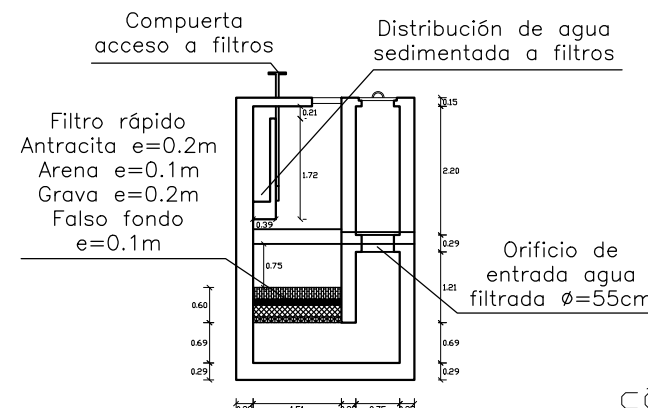
Vista en planta filtros



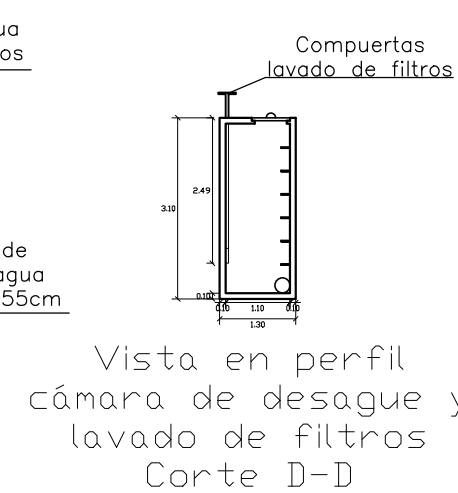
Vista frontal filtros  
Corte A-A



Vista frontal filtros y  
cámara de cloración  
Corte B-B



Vista en perfil filtro  
Corte C-C



Vista en perfil  
cámara de desague y  
lavado de filtros  
Corte D-D

# TANQUES DE ALMACENAMIENTO

PROYECTO:  
DIAGNOSTICO DE LA  
PTAP DEL MUNICIPIO  
DE HOBO

DIBUJÓ:  
JEISMEN C. OLAYA  
DANIEL S. PERDOMO

CONTENIDO: Planos de  
tanques de  
almacenamiento

ESCALA  
1:75

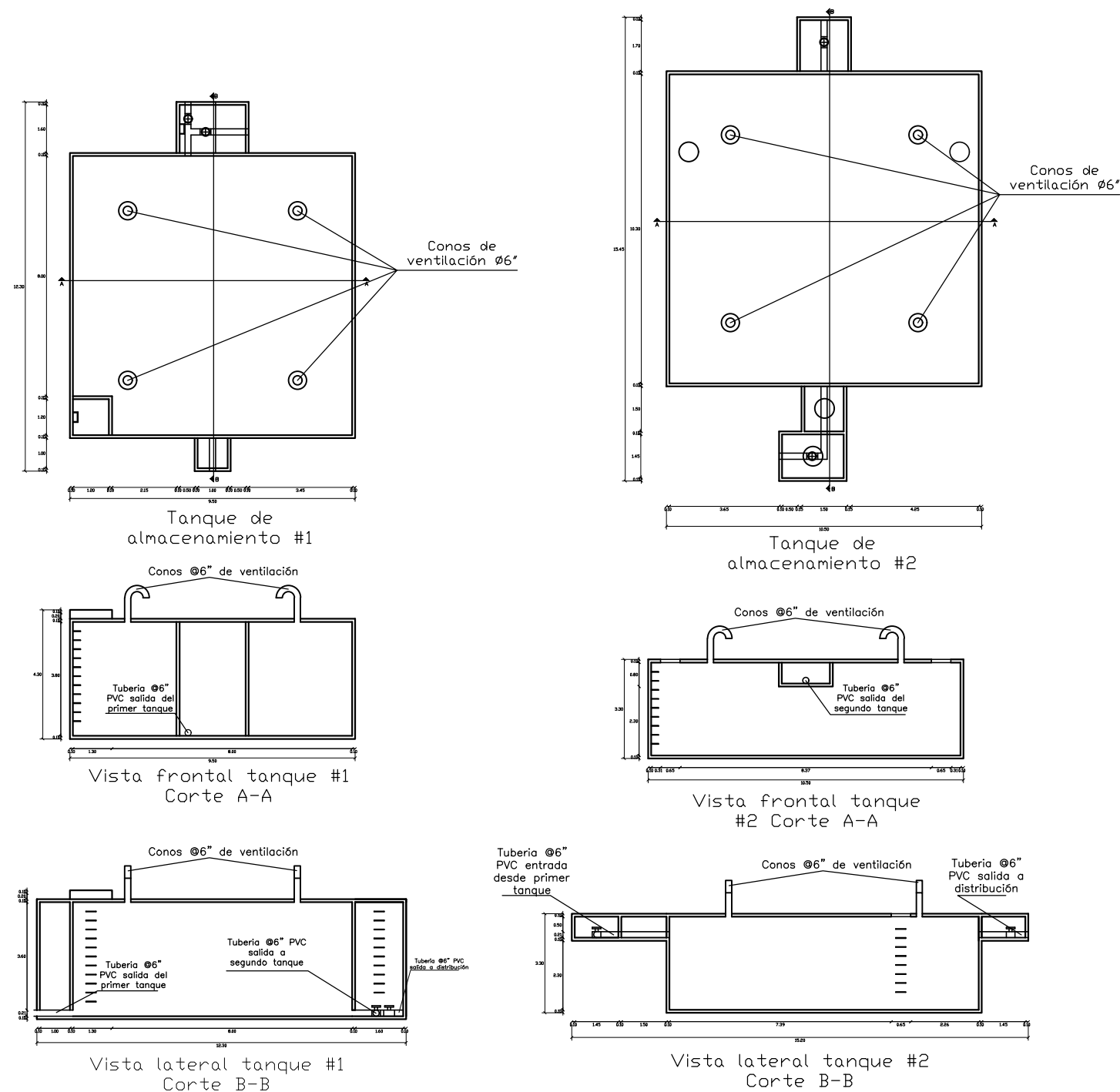
RECOMENDACIONES:

FECHA:  
JULIO DE 2022

PLANO:  
07

DE

08



VISTA EN PLANTA  
ADUCCIÓN Y  
CONDUCCIÓN

PROYECTO:  
DIAGNOSTICO DE LA  
PTAP DEL MUNICIPIO  
DE HOBO

DIBUJÓ:  
JEISMEN C. OLAYA  
DANIEL S. PERDOMO

CONTENIDO: Tubería de  
conducción y aparatos  
importantes.

ESCALA  
1:5000

RECOMENDACIONES:

FECHA:  
JULIO DE 2022

PLANO:  
08

DE

08

