

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b> <b>PAGINA: 1 de 7</b>

Código de la dependencia.

**FECHA** miércoles, 10 de junio de 2020

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Ciudad

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Seccional Girardot
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Pasantía
<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agropecuarias
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
MARCADO RAMÍREZ	ANGIE LORENA	1106899224

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
LUGO ARIAS	JOSÉ LUIS
GUZMAN SANCHEZ	MARÍA FERNANDA

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
[www.ucundinamarca.edu.co](http://www.ucundinamarca.edu.co) E-mail: [info@ucundinamarca.edu.co](mailto:info@ucundinamarca.edu.co)  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 2 de 7</b>

#### TÍTULO DEL DOCUMENTO

DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIONES DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE APULO – CUNDINAMARCA, 2020.

#### SUBTÍTULO

(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

#### TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía

INGENIERA AMBIENTAL

#### AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO

2020

#### NÚMERO DE PÁGINAS

64

#### DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1. Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP)	1. Drinking Water Treatment Plant (PTAP)
2. Procesos de potabilización	2. Purification processes
3. Normatividad	3. Normativity
4. Calidad del agua	4. Water quality
5. Caudal	5. Flow
6. Análisis físico – químicos y microbiológicos	6. Physical – chemical and microbiological analyzes

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
[www.ucundinamarca.edu.co](http://www.ucundinamarca.edu.co) E-mail: [info@ucundinamarca.edu.co](mailto:info@ucundinamarca.edu.co)  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 3 de 7</b>

### RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El presente trabajo de grado – opción pasantía es la realización del diagnóstico del estado de la Planta de Tratamiento de agua potable del municipio de Apulo – Cundinamarca, con el propósito de evaluar las unidades de los procesos de potabilización, con el objetivo de generar recomendaciones de mejoramiento para aquellas unidades que se encuentren en mal estado, funcionamiento e incumpliendo con lo establecido en la normatividad colombiana.

The present work of degree - internship option is the diagnosis of the state of the Drinking Water Treatment Plant of the municipality of Apulo - Cundinamarca, with the purpose of evaluating the units of the purification processes, with the objective of generating recommendations for improvement to have units that are in poor condition, functioning and not complying with the provisions of Colombian regulations.

### AUTORIZACION DE PUBLICACION

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "X":

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 4 de 7</b>

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales 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 de los derechos patrimoniales derivados del régimen

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 5 de 7</b>

del Derecho de Autor.

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. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI \_\_\_ NO X**

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 6 de 7</b>

de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.



La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Proyecto Final PTAP – Apulo.pdf	Texto
2. PPT. Proyecto Final PTAP - Apulo.pdf	Texto
3. Cálculos para la PTAP Apulo.xls	Texto

En constancia de lo anterior, Firmo el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
ANGIE LORENA MARCADO RAMÍREZ	

**21.1-51.20**

DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE APULO –  
CUNDINAMARCA, 2020

ANGIE LORENA MARCADO RAMIREZ

Cod.: 363214162

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
SECCIONAL GIRARDOT

2020

DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE APULO –  
CUNDINAMARCA, 2020

ANGIE LORENA MARCADO RAMIREZ

Cod.: 363214162

Trabajo de grado opción pasantía para optar el título de Ingeniera Ambiental

Asesor interno

JOSÉ LUIS LUGO ARIAS

Magister en Ingeniería Ambiental

Asesora externa

MARÍA FERNANDA GUZMAN SANCHEZ

Ingeniera ambiental

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
SECCIONAL GIRARDOT

2020

## DEDICATORIA

Este logro es principalmente dedicado a Dios por regalarme esta vida maravillosa. Si Dios está conmigo, ¿quién contra mí?

A mis padres por ser mi guía, mi motor para continuar día tras día y no desistir de culminar esta hermosa carrera y por el amor que me brindan.

A mi abuela Eulalia, que se fue a descansar en la paz del señor y que siempre la amaré y recordaré.

A mis hermanos, sobrinos por ser mi apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y confianza.

A mi amor por la confianza, amor y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente.

*“¡Sé fuerte y valiente! No tengas miedo ni te desanimes, porque el señor tu DIOS está contigo donde quiera que vayas” Josué 1:9*

## AGRADECIMIENTOS

Gracias mi señor DIOS por regalarme una familia tan especial, por iluminarme con tu sabiduría, por todo lo que hay en mí, tu eres el creador de quien soy.

Gracias al cuerpo de docentes que me han esculpido a lo largo de los años de estudio, por ser mi segundo hogar y ser un apoyo en mi vida.

Gracias a mi familia por ser mi felicidad, por las cuales a diario me levanto con ganas de luchar.

Gracias a la Ingeniera María Fernanda Guzmán por acompañarme en este proceso, al Doctor Luis Carlos Silva por su confianza y por aportar a la realización de este proyecto y al Docente e Ingeniero José Luis Lugo por sus enseñanzas y tiempo.

Gracias, Gracias, Gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO .....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
JUSTIFICACIÓN .....	10
OBJETIVOS.....	11
OBJETIVO GENERAL .....	11
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	11
MARCO REFERENCIAL .....	12
Marco legal.....	12
DISEÑO METODOLÓGICO .....	13
Descripción y localización de la empresa .....	13
Descripción de la metodología .....	13
DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAP .....	15
Bocatoma.....	15
Cámara de aquietamiento .....	15
Canal de aducción .....	16
Desarenador .....	16
Repartidor de caudales .....	16
Canaleta Parshall.....	17
Cálculos de diseño canaleta existente .....	18
Mezcla rápida.....	19
Dosificador de coagulante .....	20
Dosificador de cal .....	20
Floculador (mezcla lenta).....	20
Evaluación del funcionamiento del Floculador .....	21
Sedimentadores.....	24
Disposición de lodos .....	32
Filtros .....	33
Desinfección .....	36
Estación de bombeo .....	37
Tanque de almacenamiento .....	37
Laboratorio .....	38
Calidad de agua.....	38
RESULTADOS .....	40
Mejoramiento de la PTAP de Apulo – Cundinamarca.....	40
Proyección de población.....	40
Canaleta Parshall.....	43
Floculador.....	44
CONCLUSIONES .....	49
RECOMENDACIONES .....	50
REFERENCIAS .....	51
ANEXOS.....	53
Anexo A: Fotografías .....	53
Anexo B: Cálculos .....	54

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características geográficas y climatológicas del municipio de Apulo.....	13
Tabla 2 Datos Cámara de quietamiento .....	15
Tabla 3 Datos Canaleta existente.....	17
Tabla 4 Relación Hb/Ha .....	18
Tabla 5 Valor de K.....	18
Tabla 6 Dimensiones del Floculador .....	21
Tabla 7 Dimensiones de primer sedimentador de flujo horizontal.....	24
Tabla 8 Dimensiones segundo sedimentador de flujo horizontal.....	26
Tabla 9 Dimensiones sedimentador alta tasa .....	26
Tabla 10 Parámetros de referencia de diseño de sedimentación .....	28
Tabla 11 Tipo de módulo de sedimentador de alta tasa .....	29
Tabla 12 Parámetros de referencia de diseño de sedimentador de alta tasa.....	32
Tabla 13 Dimensiones de los filtros.....	34
Tabla 14 Parámetros de diseño filtros rápidos .....	35
Tabla 15 consolidación IRCA Apulo .....	38
Tabla 16 Historial censos Apulo.....	40
Tabla 17 Población de diseño .....	41
Tabla 18 dotación neta máxima.....	42
Tabla 19 Caudales de diseño .....	43
Tabla 20 Cálculos obtenidos para la canaleta Parshall .....	43
Tabla 21 Condiciones iniciales.....	44
Tabla 22 Diseño primera cámara .....	45
Tabla 23 Diseño segunda cámara .....	45
Tabla 24 Diseño tercera cámara .....	45
Tabla 25 Dimensiones nuevo tanque sedimentador .....	46
Tabla 26 Nuevas dimensiones para segundo sedimentador .....	46
Tabla 27 Nuevas medidas alta tasa.....	47
Tabla 28 Nuevas dimensiones filtros .....	48

### LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Canaleta Parshall .....	17
Ilustración 2 Constante de desinfección.....	37

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Historial censos Apulo .....	41
Figura 2 Población proyectada .....	41

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo de grado – opción pasantía es la realización del diagnóstico del estado actual de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del municipio de Apulo – Cundinamarca, con el propósito de identificar las problemáticas frente a los procesos y unidades que se llevan a cabo en la PTAP.

Para el desarrollo se recolecto información de la PTAP, ya que físicamente no se tiene información sobre ella, análisis físico-químicos y microbiológicos del agua tratada para verificar el cumplimiento de la (Resolución 2115 de 2007). Por otro lado, se realizaron los cálculos pertinentes para cada unidad para determinar su condición y funcionamiento. Para finalizar se recopiló toda la información y se generaron nuevos cálculos para el rediseño de las unidades o procesos que no están cumpliendo correctamente su función y así cumplir con lo establecido en la (Resolución 0330 de 2017) y prevenir enfermedades gastrointestinales en los habitantes del municipio.

## INTRODUCCIÓN

La siguiente pasantía se plantean recomendaciones para el mejoramiento de las unidades, procesos y mantenimiento de la PTAP del municipio de Apulo, logrando mejorar la calidad de vida de los habitantes, debido a que los resultados de la recopilación del IRCA en promedio es MEDIO, llegando a los usuarios agua con características no aceptables para consumo humano. Debido a esto surge la necesidad de mejorar las unidades que conforman la Planta, contribuyendo a la obtención de mejores porcentajes de remoción en los procesos y como resultado un producto apto para consumo humano.

El presente trabajo contiene una breve descripción de cada una de las estructuras que comprende la PTAP del municipio de Apulo, detallando los cálculos del rediseño de las estructuras que no cumplían con la normatividad legal vigente colombiana; generando así las recomendaciones adecuadas para el mejoramiento del servicio, calidad del agua y mejora continua de la PTAP, logrando el cumplimiento de las características establecidas en la normatividad sanitaria legalmente vigente en Colombia.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El principal problema radica es que a pesar de existir una PTAP, en el municipio de Apulo – Cundinamarca no cuenta con un buen servicio de suministro de agua, debido a que no cumple con los parámetros establecidos en el marco normativo vigente colombiano para el suministro de agua para consumo humano (resolución 2115 de 2007), esto se asocia al mal funcionamiento y operación de esta, además se relaciona con la estructura y sus mantenimientos, ya que fue diseñada y construida hace más de 50 años y no se han realizado adecuaciones para su mejoramiento. Otra causa importante es la baja capacidad que tiene la planta para suministrar agua para la población actual, afectando los procesos de potabilización y la calidad de vida de los habitantes por no contar con un servicio continuo y produciendo enfermedades gastrointestinales; por tal motivo se puede presentar problemas en el saneamiento básico ambiental.

Por las razones antes descritas, se hace pertinente evaluar el estado actual de la PTAP, con el fin de presentar recomendaciones de mejoramiento de la estructura de los procesos que se puedan modificar o adecuar según la normatividad establecida en la resolución 0330 de 2017 para la optimización de estos, con el fin de mejorar el servicio y la calidad del agua.

## JUSTIFICACIÓN

El agua es de vital importancia para el ser humano, ya que, al ser considerado el solvente universal, ayuda a eliminar las sustancias que resultan de los procesos bioquímicos producidos en el organismo; sin embargo, también puede transportar sustancias nocivas al organismo, ocasionando daños en la salud de las personas (CAMACHO, 2011), debido a su inadecuado tratamiento llegando a estar relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, otras diarreas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud (Organización Mundial de la Salud OMS, 2019).

La presente pasantía es conveniente, debido a que por medio de la misma se diseñan recomendaciones para la reestructuración de las unidades del proceso de potabilización que se encuentren en mal estado e inadecuado funcionamiento, de igual manera es importante la evaluación de los parámetros físico – químicas y microbiológicas del agua tratada de la PTAP. Generando un impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes del municipio brindándole un suministro de agua apto para consumo humano,

El municipio de Apulo cuenta con una PTAP, la cual no cumple con el 100% de su funcionalidad y se encuentra en mal estado, ya que cumplió con su vida útil, con lo anterior nombrado se justifica la necesidad de generar recomendaciones para la optimización de la PTAP, siendo este escenario la oportunidad de desarrollar los conocimientos adquiridos de la ingeniería.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar recomendaciones de mejoramiento de las unidades de potabilización de agua de la PTAP de Apulo – Cundinamarca que no cumplen con lo establecido en la normatividad, a través del diagnóstico del estado actual de la planta.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Determinar las condiciones de calidad del agua potable en el punto de salida de la PTAP.
2. Evaluar el funcionamiento hidráulico, los procesos y operaciones unitarias de la PTAP, teniendo en cuenta la normatividad legal vigente colombiana.
3. Proponer recomendaciones de mejoramiento a las unidades de la PTAP que requieran rediseño desde la coagulación hasta el proceso final de la potabilización.

## MARCO REFERENCIAL

### Marco legal

El marco legal para la presente pasantía se basa en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, mediante los siguientes títulos:

- Título B: el propósito de este capítulo es fijar los criterios básicos, los requisitos mínimos y los valores específicos, límites que deben tenerse en cuenta en los diferentes procesos para los sistemas de acueducto. (RAS – TITULO B, 2010)
- Título C: establece las condiciones requeridas para la concepción y el desarrollo de sistemas de potabilización de aguas, orientando la planificación, diseño, construcción, supervisión, operación y mantenimiento de estos sistemas y sus componentes. (RAS-TITULO, 2013)
- Resolución 0330 de 2017: esta Resolución 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.
- Resolución 2115 de 2007: Por medio de esta resolución se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano. (MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL, 2007)

## DISEÑO METODOLÓGICO

### Descripción y localización de la empresa

La Planta de Tratamiento de Agua Potable, está localizada en la empresa EMPOAPULO S.A ESP. En el municipio de Apulo, departamento de Cundinamarca – región del Tequendama, a una altura de 520 metros; 100 metros por encima de la Cabecera Municipal, el agua llega a los predios por gravedad (CUNDINAMARCA, 2000). El municipio de Apulo se encuentra a una distancia de 101 km de Bogotá, D.C., a una altura de 420 m.s.n.m., con latitud de 4° 31', longitud 74° 36' (APULO, 2018).

*Tabla 1 Características geográficas y climatológicas del municipio de Apulo*

Límites del municipio	Norte: Anapoima Oriente: Anapoima y Viotá Sur: Viotá y Tocaima Occidente: Tocaima y Jerusalen
Extensión total	12.240,10 Ha Km <sup>2</sup>
Extensión área urbana	209,03 Ha Km <sup>2</sup>
Extensión área rural	12.031,07 Ha Km <sup>2</sup>
Temperatura media	27°
Precipitación media	1267 mm

Fuente: ALCALDÍA MUNICIPAL DE APULO, 2018

### Descripción de la metodología

El presente proyecto basa en diagnosticar la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio de Apulo – Cundinamarca, con el propósito de analizar y formular recomendaciones de mejoramiento dentro de la misma. La metodología se divide en las siguientes fases:

**Fase I:** se realizará inspecciones técnicas, con el propósito de recolectar información como: componentes de la PTAP, manejo actual, medidas de las estructuras hidráulicas, condiciones actuales, también se ejecutará una entrevista a los operarios para indagar sobre mantenimientos y como laboran en la PTAP, se evaluará el funcionamiento hidráulico, los procesos y operaciones unitarias de la PTAP, determinando puntos críticos y verificando su cumplimiento con la normatividad. Después de conocerse la información necesaria se hará un análisis de información, donde se enfatizará en los componentes de la PTAP que se encuentren en mal estado y funcionamiento.

**Fase II:** donde se determinará las condiciones de calidad del agua potable de la PTAP, con el fin de estimar la calidad del agua que reciben los habitantes del municipio de Apulo, para esto es necesario realizar análisis físicos-químicos y microbiológicos en los diferentes puntos que tiene el acueducto para después cotejar con la Resolución 2115 de 2007, “Por medio del cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”.

**Fase III:** finalmente se propondrá recomendaciones de mejoramiento a las unidades, procesos de la PTAP del municipio de Apulo, desde el proceso de coagulación hasta el final de la potabilización que se encuentren en mal funcionamiento y estado, generando cálculos para su rediseño.

## DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAP

### Bocatoma

La captación se efectúa en río Calandaima, a través de un dique transversal, con bocatoma de fondo cuyas dimensiones son: Ancho 0,50 metros, largo 2,60 metros y profundidad 1,10 metros. En el cual captan aguas para los municipios de Apulo 30% y Tocaima 70%, captando 128 litros/segundo de los cuales 38,43 l/s ingresan al sistema de acueducto de Apulo. Desde este punto se hace la captación través de un tubo de gress de 20”.

La bocatoma no cuenta con una rejilla, ocasionando el ingreso de material flotante grueso, llegando a obstruir los conductos, generando represamientos y sobrecargas. Anteriormente se contaba con ella, la cual no influía en el proceso debido a que su diseño fue elaborado para condiciones climatológicas de épocas de lluvias, causando que la estructura cumpliera con su funcionalidad. En épocas de pocas lluvias o verano el diseño era totalmente desfavorable debido a que no se cumplía con su principal objetivo, la captación se producía por la parte lateral de la rejilla. Actualmente la captación es por medio de tubería que se encuentra en la parte inferior del enrocado, posteriormente se conecta con paso a la cámara de quietamiento, esta bocatoma se encuentra 22 km de la PTAP.

### Cámara de quietamiento

*Tabla 2 Datos Cámara de quietamiento*

<b>CÁMARA DE AQUIETAMIENTO</b>		
Variables	Datos	Medida
(H) Altura	1,0	m
(B) Base	0,7	m
(L) Longitud	1,93	m

Fuente: EMPOAPULO S.A

### **Canal de aducción**

Desde la bocatoma el agua es transportada por medio de una red de diámetro externo de 10” material de gress, hasta el tanque desarenador el cual está ubicado a 10 metros aproximadamente.

### **Desarenador**

El tanque desarenador se encuentra ubicado en las coordenadas N. 04°29'05,2” y E. 74°30'00,5” a una altura de 610 m.s.n.m. está construido en concreto, con una capacidad aproximada de 270 m<sup>3</sup>, con dimensiones internas: 4 metros de profundidad, 16,9 metros de largo y 4 metros de ancho. La unidad de desarenador se encuentra su estructura con desgaste en su estructura por falta de mantenimiento y grandes acumulaciones de sedimentos, para el rediseño de esta estructura se tendrán en cuenta nuevos estudios que serán realizados por el municipio de Tocaima que es el encargado de esta área por el porcentaje de captación que obtienen. La estructura carece de cercas o mallas que eviten el ingreso de animales o personal no autorizado, no posee control de excesos, se encuentra desprovisto de tapa o medidas de protección, desde este punto el agua es conducida hasta un tanque para la repartición de caudales donde posteriormente el agua llega a la planta por efecto de la gravedad.

### **Repartidor de caudales**

Este componente se encuentra elaborado en material de concreto, se encuentra ubicado a 610 m.s.n.m. a una distancia de 2 metros del desarenador, no cuenta con protección en sus mecanismos y está en mal estado.

## Canaleta Parshall

El fluido llega al primer componente, el cual está construido en material de concreto reforzado, teniendo una tubería de 8" para la entrada de agua cruda.

*Ilustración 1 Canaleta Parshall*



Fuente: Autor

*Tabla 3 Datos Canaleta existente*

<b>CANALETA PASRHALL EXISTENTE</b>				
(Q) Caudal	25	l/s	0,025	m <sup>3</sup> /s
(W) Ancho garganta	2	pulgadas	0,0405	m
(D) Ancho sección divergente			0,159	m
(N) Diferencia de elevación entre salida y cresta			0,04	m
(g) Gravedad			9,81	m/s
(K) Longitud paredes sección divergente			0,02	m
(C) Ancho de la salida			0,25	m
(G) Longitud de sección divergente			0,406	m
(T) Temperatura promedio			27	°c
(γ) Peso específico			9770	N/m <sup>3</sup>
(μ) Viscosidad			0,00084	N/m <sup>2</sup>
(A) Longitud sección convergente			0,208	m
(E) Profundidad total			0,60	m
(B) Longitud paredes sección convergente			0,258	m
(F) Longitud garganta			0,172	m

Fuente: EMPOAPULO S.A

Para que la canaleta cumpla con los requisitos establecidos en la normatividad debe cumplir con los siguientes requisitos:

La relación entre  $\frac{H_b}{H_a}$  no exceda los siguientes valores para que no trabaje ahogada:

*Tabla 4 Relación Hb/Ha*

Ancho de Garganta	Máxima sumergencia (Hb/Ha)
7,5 (3") a 22,9 (9")	0,6
30,5 (1') a 244 (8')	0,7
305 (10') a 1525 (50')	0,8

Fuente: Teoría y práctica de la purificación del agua

- La relación entre  $H_a/W$  esté entre 0,4 y 0,8.
- El número de Froude se encuentre entre los rangos de 1,7 a 2,5 y de 4,5 a 9,0.

#### *Cálculos de diseño canaleta existente*

- Altura de entrada ( $H_a$ )

$$H_a = \left(\frac{Q}{K}\right)^{\frac{1}{n}}$$

En donde K y n se determinan en la siguiente tabla:

*Tabla 5 Valor de K*

Unidades Métricas			
W	n	K	Capacidad (l/s)
1"	1,5	0,55	0,3 – 5
2"	1,5	0,110	0,6 – 13
3"	1,547	0,176	0,8 – 55
6"	1,580	0,381	1,5 – 110
9"	1,530	0,535	2,5 – 250
1'	1,522	0,690	3,1 – 455
1 ½'	1,538	1,054	4,3 – 700
2'	1,550	1,426	12 – 950

3'	1,566	2,182	17 – 1,400
4'	1,578	2,935	37 - 1,900
5'	1,587	3,728	60 – 2,400
6'	1,595	4,515	70 – 2,900
7'	1,601	5,306	115 – 3,450
8'	1,606	6,101	130 – 3,950

Fuente: Teoría y práctica de la purificación del agua.

$$H_a = \left(\frac{0,033}{0,110}\right)^{1,5}$$

$$H_a = 0,448 \text{ m}$$

- Relación  $H_a/W$ .

$$\frac{H_a}{W} = \frac{0,448}{0,051}$$

$$\frac{H_a}{W} = 8,78$$

No cumple con lo establecido en el RAS 2000. El ancho de la garganta de la canaleta está trabajando con un caudal mayor para la cual está diseñada.

### **Mezcla rápida**

Uno de los propósitos de la Canaleta Parshall es generar la turbulencia necesaria para dispersar de forma rápida y uniforme el coagulante, en este caso se utilizan Sulfato de Aluminio tipo B e Hidroxicloruro de aluminio.

### *Dosificador de coagulante*

Se utilizan dos productos coagulantes uno de ellos es el Sulfato de aluminio tipo B, para turbiedad manejables en la planta y para épocas de lluvia cuando la turbiedad del agua excede los 500 NTU se utiliza Hidroxicloruro de aluminio el cual es un polinuclear de aluminio líquido que se desempeña efectivamente como coagulante inorgánico para aguas potables como residuales. (QUINSA, 2020)

Se cuenta con dos dosificadores uno tipo mecánico el cual distribuye un bulto de Sulfato de aluminio tipo B, cada 12 horas según las condiciones del agua y otro tipo Volumétrico de característica peristáltica, el cual distribuye Hidroxicloruro de aluminio cuando las condiciones del agua no son óptimas.

### *Dosificador de cal*

Cuando la alcalinidad del agua no es suficiente para reaccionar con los coagulantes, se aplica alguna base conjuntamente con ellos. El compuesto utilizado es la cal viva (CaO). Posterior a la mezcla rápida el agua entra a la unidad de floculación a través de un vertedero rectangular de 0,30 m de ancho y 0,80 m de alto.

### **Floculador (mezcla lenta)**

La estructura de Floculación de la PTAP de Apulo es de tipo hidráulico de flujo horizontal con baffles verticales en concreto (Becerra & Alvarado, 2018). Esta estructura cuenta con 4 pantallas, las cuales se encuentran en condiciones óptimas, en la (Tabla 6) se muestra las dimensiones del

floculador de las cuales se realiza la inspección y evaluación para determinar si su funcionamiento y diseño cumple con los parámetros establecidos por el (RAS 2000).

*Tabla 6 Dimensiones del Floculador*

<b>DIMENSIONES DEL FLOCULADOR ACTUAL</b>		
Numero de pantallas	4	unidades
Alto de pantallas	2,3	metros
Largo de pantallas	12,95	metros
Espesor de pantallas	0,14	metros
Numero de espacios	5	unidades
Ancho espacios	0,35	metros
Longitud espacios	12,95	metros
Altura lámina de agua	1,90	metros
Borde libre	0,46	metros
Largo floculador	15,7	metros
Altura muro	2,36	metros
Ancho floculador	2,7	metros
Longitud total recorrido agua	64,75	metros

Fuente: Autor

### *Evaluación del funcionamiento del Floculador*

- Velocidad de floculación: Para el cálculo de la velocidad de floculación se tiene el caudal de la planta 33 l/s y el área transversal del canal del Floculador.

$$Vel = \frac{Q}{A}$$

$$Vel = \frac{0,033m/s}{0,35 m * 1,90 m}$$

$$Vel = \frac{0,033m/s}{0,665 m^2}$$

$$Vel = 0,05 m/s$$

El rango de velocidad dado por el (RAS 2000) debe ser de 0,2 m/s a 0,6 m/s para floculadores hidráulicos de flujo horizontal, dado a que la velocidad está por debajo de estos rangos se produce gran cantidad de sedimentos en el fondo del floculador, teniendo como resultado que los mantenimientos y lavados sean con mayor frecuencia. La limpieza o mantenimiento de los floculadores se realizan por los operarios 2 veces al mes, esto dependiendo de las condiciones del agua de entrada.

- Tiempo de retención:

Para calcular el tiempo de retención del floculador se tiene en cuenta la longitud total del recorrido del agua a través de los canales y la velocidad.

$$THR = \frac{Lt}{Vel}$$

$$THR = \frac{64,75m}{0,05 m/s}$$

$$THR = 1295s$$

$$THR = 21,6 \text{ minutos}$$

Según el (RAS 2000) el tiempo de retención y gradiente de velocidad deben determinarse a través de pruebas de laboratorio. El gradiente medio de velocidad (G) debe estar entre 20 s<sup>-1</sup> y 70 s<sup>-1</sup> y el tiempo de detención (td) entre 20 y 30 minutos, deben determinarse en base a las pérdidas de carga y longitud de trayectoria del flujo.

- Pérdida de carga (Hf):

$$Hf = KN \frac{V^2}{2g} + Lt * \left(\frac{Vn}{Rh_3^2}\right)^2$$

- Radio hidráulico:

$$Rh = \frac{Area}{Perimetro\ mojado}$$

$$Rh = \frac{0,35\ m * 1,90\ m}{0,35m + 2(1,90m)}$$

$$Rh = 0,16\ m$$

El coeficiente de rugosidad de Manning de (n: 0,013) debido a que la superficie del floculador es de cemento y se asume un valor de K de 3,5.

$$Hf = 3,4 * 5 * \frac{0,0525^2}{2 * 9,81} + 64,75 * \left(\frac{0,0525 * 0,013}{0,16_3^2}\right)^2$$

$$Hf = 0,003m$$

- Gradiente de velocidad (G):

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * Hf}{u * T}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9770 * 0,003}{0,00084 * 1295}}$$

$$G = 5,19\ s^{-1}$$

Según los parámetros establecidos por la (RAS 2000) el gradiente de velocidad del floculador de la PTAP de Apulo está por debajo de este rango.

## Sedimentadores

En la PTAP de Apulo está en funcionamiento dos sedimentadores el primero de ellos está diseñado de forma rectangular hidráulico de flujo horizontal convencional, donde el agua sale del floculador y pasa a través de un canal de distribución, la cual llega y se distribuye mediante 13 orificios de 2" de diámetro cada uno y para mejorar el tiempo de retención se habilito una pared divisora en mitad del tanque.

*Tabla 7 Dimensiones de primer sedimentador de flujo horizontal*

<b>DIMENSIONES PRIMER SEDIMENTADOR FLUJO HORIZONTAL</b>		
Longitud	12,6	m
Ancho	3,68	m
Pendiente transversal	12	°
profundidad	2,2	m
Pendiente longitudinal	3	°
Diámetro desagüe	30	cm

Fuente: Autor

- Carga superficial:

$$C_s = \frac{Q}{A}$$

$$Q = 0,033 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1hr} * \frac{24 hr}{1 día} = 2851,2 m^3/día$$

$$C_s = \frac{2851,2 m^3/día}{12,6 m * 3,68 m}$$

$$C_s = 61,5 \frac{m^3}{m^2 * día}$$

Según el (RAS 2000) para este tipo de sedimentador la carga superficial debe estar entre

$15 \frac{m^3}{m^2 * día}$  y  $30 \frac{m^3}{m^2 * día}$  la cual sobrepasa los límites permisibles el primer sedimentador.

- Tiempo de retención:

$$t = \frac{Vol}{Q}$$

$$t = \frac{12,6 \text{ m} * 3,68 \text{ m} * 2,2 \text{ m}}{2851,2 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$t = 0,0357 * 24 * 60$$

$$t = 51,408 \text{ min}$$

Según la (Resolución 0330 de 2017) el tiempo de retención para el tanque sedimentador debe estar entre 2 – 4 horas.

- Velocidad promedio en el primer tanque sedimentador:

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

$$V = \frac{2851,2 \text{ m}^3/\text{día}}{12,6 * 2,2 \text{ m}}$$

$$V = \frac{102,86}{24 * 60 * 60}$$

$$V = 0,0012 \text{ m/s}$$

$$V = 0,12 \text{ cm/s}$$

Según la (Resolución 0330 de 2017) el sedimentador de flujo horizontal debe diseñarse de forma que permita una velocidad horizontal de flujo de agua máximo de 1 cm/s.

- Área del primer sedimentador:

$$As = B * L$$

$$As = 3,68 \text{ m} * 12,6 \text{ m}$$

$$As = 46,368 \text{ m}^2$$

### Segundo sedimentador alta tasa

El fluido pasa del primer sedimentador a través de un canal a un segundo sedimentador el cual ingresa y se distribuye a través de 13 orificios, posteriormente pasa a una pared divisora con 40 orificios cada uno de 6", en la parte superior de la pared se tiene una caída en forma de canal para lograr asegurar su funcionamiento libre. Tiene instalado en la parte final una sección de sedimentador de alta tasa con módulo cuadrados, que tiene colectores de salida que comunica con los filtros mediante tubos perforados de 5" (Becerra & Alvarado, 2018) El sistema de desagüe se realiza por una tubería de gres de 8", la cual se abre por medio de una columna de manejo y rueda de maniobra.

### Dimensiones del segundo sedimentador:

*Tabla 8 Dimensiones segundo sedimentador de flujo horizontal*

<b>DIMENSIONES SEGUNDO SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL</b>		
Diámetro de desagüe	30	cm
Pendiente longitudinal	3	°
Pendiente transversal	12	°
Longitud	12,6	m
Ancho	4,35	m
Profundidad	2,5	m

Fuente: EMPOAPULO S.A ESP.

*Tabla 9 Dimensiones sedimentador alta tasa*

<b>DIMENSIONES SEDIMENTADOR ALTA TASA</b>		
Angulo de inclinación	60	°
Longitud módulos	90	cm

Sección de módulos	6*6	cm
Longitud	4,8	m
Ancho	4,35	m
Profundidad	2,5	m

Fuente: EMPOAPULO S.A ESP.

- Área del segundo sedimentador de flujo horizontal:

$$As = B * L$$

$$As = 4,35 m * 12,6 m$$

$$As = 54,81 m^2$$

- Carga superficial del segundo sedimentador de flujo horizontal:

$$Cs = \frac{Q}{A}$$

$$Cs = \frac{2851,2 m^3/día}{4,35 m * 12,6 m}$$

$$Cs = 52,02 \frac{m^3}{m^2 * día}$$

- Tiempo de retención segundo tanque sedimentador:

$$t = \frac{Vol}{Q}$$

$$t = \frac{17,4m * 4,35m * 2,5m}{2851,2 m^3/día}$$

$$t = 0,066 día * 24 * 60 = 95,04 min = 1,58 hr$$

- Velocidad promedio en el segundo tanque sedimentador:

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

$$At = 17,4 * 4,35 m$$

$$At = 75,69m^2$$

$$V = \frac{2851,2 m^3/día}{17,4m * 4,35m * 24 * 60}$$

$$V = 0,03 m/min$$

$$V = 0,05cm/s$$

- Velocidad horizontal del segundo tanque sedimentador:

$$V_h = \frac{Q}{B * H}$$

$$V_h = \frac{0,033m^3/s}{4,35 m * 2,5 m}$$

$$V_h = 0,003 m/s$$

$$V_h = 0,3 cm/s$$

*Tabla 10 Parámetros de referencia de diseño de sedimentación*

<b>TIPO DE SEDIMENTADOR</b>	<b>CARGA SUPERFICIAL (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>*d)</b>	<b>TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (h)</b>	<b>VELOCIDAD DE FLUJO (cm/s)</b>
Flujo horizontal	15 – 30	2 – 4	<1
Flujo vertical	20 – 30 (máximo 60)	2 – 4	<1
Manto de lodos	30 - 120	1,0 – 1,5	2,15 - 5

Fuente: (Resolución 0330, 2017)

El segundo tanque sedimentador de flujo horizontal NO CUMPLE en:

- El tiempo de retención hidráulica dado que la mínima es 2 horas y este tiene 1,58 horas.

- La carga superficial es de 52,02 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día la cual excede los límites establecidos en la Resolución 0330 de 2017.

### Sedimentador alta tasa

- Carga superficial de la sección de alta tasa, cubierta por tubos cuadrados:

$$C_s = \frac{Q}{A}$$

$$C_s = \frac{2851,2m^3/día}{4,8m * 4,35m}$$

$$C_s = 136,55 m^3/m^2 * día$$

*Tabla 11 Tipo de módulo de sedimentador de alta tasa*

<b>TIPO DE MÓDULO DE ALTA TASA</b>	<b>FACTOR DE FORMA</b>
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Tubos ondulados	1,3
Otras secciones tubulares	1,33 – 1,42

Fuente: Resolución 0330 de 2017

- Factor de forma para tubos cuadrados:

$$S_c = \frac{11}{8}$$

- Longitud relativa del sedimentador de alta tasa:

$$L = \frac{l}{d} = \frac{90}{6} = 15$$

- Velocidad promedio sedimentador alta tasa:

$$V_{prom} = \frac{Q}{Area * \sin \theta}$$

- Área sedimentador de alta tasa:

$$A = 4,8 m * 4,35m$$

$$A = 20,88m^2$$

$$V_{prom} = \frac{2851,2m^3/día}{20,88m^2 * \sin 60^\circ}$$

$$V_{prom} = 157,68m/día$$

$$V_{prom} = 0,11m/min$$

- Longitud relativa para la región de transición:

$$L' = 0,013 \frac{V_{prom} * d}{v}$$

v: Viscosidad cinemática para la temperatura media del municipio de Apulo, referente a 28° es 0,000000838 m<sup>2</sup>/s.

$$L' = 0,013 \frac{0,11m/min * 0,06m}{60 * 0,00000084m^2/s}$$

$$L' = 1,702 m$$

- Velocidad crítica del sedimentador de alta tasa:

$$V_{sc} = \frac{Sc * V_{prom}}{\sin \theta + Lc * \cos \theta}$$

- Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar: corregida en la longitud de transición.

$$Lc = L - L'$$

$$Lc = 15 - 1,702$$

$$Lc = 13,3$$

$$V_{sc} = \frac{\frac{11}{8} * 0,11m/min}{\sin 60 + 13,3 * \cos 60}$$

$$V_{sc} = 0,020 m/min$$

$$V_{sc} = 0,033cm/s$$

- Tiempo de retención en los tubos cuadrados del sedimentador de alta tasa:

$$t = \frac{L}{V_{prom}}$$

$$t = \frac{0,90m}{0,11m/min}$$

$$t = 8,18 min$$

- Numero de Reynolds:

$$N_{Reynolds} = \frac{V_{prom} * d}{\nu}$$

$$N_{Reynolds} = \frac{0,11m/min * 0,06m}{60 * 0,000000838m^2/s}$$

$$N_{Reynolds} = 131,3$$

Tabla 12 Parámetros de referencia de diseño de sedimentador de alta tasa

TIPO DE SEDIMENTADOR	CARGA SUPERFICIAL (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día)	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (min)	VELOCIDAD CRÍTICA DE SEDIMENTACIÓN (cm/s)
Módulos angostos L=0,6 m	100-110	10 – 20p	15 – 30
Módulos angostos L=1,2m	120-185		
Módulos profundos L> 1,2 m	200-300		

Fuente: Resolución 0330, 2017

El sedimentador de alta tasa de la PTAP del municipio de Apulo, NO CUMPLE con los siguientes parámetros:

- La carga superficial excede los límites establecidos en la Resolución 0330 del 2017, teniendo 136,55 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día.
- El tiempo de retención hidráulica y la velocidad crítica de sedimentación es mucho menor a lo exigido.

### Disposición de lodos

Se realiza mantenimiento a los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtros, una vez cada 15 días, provocando acumulación de sedimentos (lodos) en el fondo de las unidades y disminuyendo su funcionalidad. Este lodo resultante del proceso de potabilización de agua es descargado directamente al río, ocasionando:

- Reducción de la calidad de la fuente de agua receptora.
- Sobrecarga de lodos, afectando los organismos béticos y alterando la cadena alimenticia de los peces.
- Incremento de la contaminación bacteria patogénica a la fuente receptora.

Esta actividad no está permitida como lo menciona el (Decreto 1076 de 2015) en su artículo 2.2.3.3.4.4. *“Disponer en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, y sistemas de alcantarillado, los sedimentos, lodos, y sustancias solidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos control ambiental y otras tales como ceniza, cachaza y bagazo”*.

## **Filtros**

Después del paso del flujo por el sedimentador, este tiene tres vertederos, los cuales descargan el agua a un canal de 0,35m de ancho, 4,60 de largo y 0,10 de profundidad. Este canal conduce el agua hacia las entradas las dos entradas rectangulares de cada unidad de filtración. El lecho filtrante es de tipo mixto y está conformado por antracita, grava y arenas, el lecho de sostén está conformado por grava y una profundidad de 0,50 metros.

La filtración es de tipo rápido de flujo descendiente y retro lavado ascendente, el sistema de cierre en los filtros es ineficiente debido a que las compuertas dejan pasar cantidades mínimas de flujo y deben recubrirse con materiales como los empaques del sulfato de aluminio.

Los filtros se encuentran contruidos en material de concreto, sus dos filtros están compuestos por 30 cm antracita, 20 cm arena media y 10 cm arena fina, en el fondo del filtro se encuentra

ubicado un lecho de grava de 30 cm, esta información es aportada por la empresa EMPOAPULO S.A ESP.

*Tabla 13 Dimensiones de los filtros*

<b>DIMENSIONES FILTROS</b>		
Numero de filtros	2	unidades
Caudal total	3024	m <sup>3</sup> /día
Caudal por filtro	17,5	l/s
Caudal por filtro	1512	m <sup>3</sup> /día
Ancho	2	m
Longitud	2,9	m
Área por filtro	5,8	m <sup>2</sup>
Altura desde la corona al lecho	2,8	m
Canales de lavado	2	unidades

Fuente: Autor

- Numero de filtros:

$$N = 0,044\sqrt{Q}$$

$$N = 0,044\sqrt{\frac{2851,2m^3}{día}}$$

$$N = 2 \text{ filtros}$$

- Tasa de filtración:

$$V_f = \frac{Q}{\text{area filtro}}$$

$$V_f = \frac{1425,6m^3/día}{5,8m^2}$$

$$V_f = 245,8m^3/día$$

- Velocidad de lavado:

$$V_l = \frac{Q}{\text{Area filtro}}$$

$$V_l = \frac{2851,2m^3/día}{5,8m^2}$$

$$V_l = 491,6m/día$$

$$V_l = 0,34m/min$$

El retro lavado se efectúa a través de un tanque de almacenamiento semienterrado con una capacidad de 35 m<sup>3</sup>, el cual se encuentra localizado a 100 metros aproximadamente del proceso de filtración. El agua utilizada para el mantenimiento del filtro, es de la misma tratada por la PTAP la cual llega por gravedad y este proceso se realiza por medio de flujo ascendente y el agua es recolectada por las canaletas de lavado. Según los operarios de la PTAP los retro lavados se realizan una vez al día y aproximadamente en un tiempo de 15 minutos, para este proceso se cuenta con válvulas de cierre para controlar el flujo de agua.

- Capacidad tanque elevado:

$$Vol_{tanq} = V_l * A * 10min$$

$$Vol_{tanq} = 0,34m/min * 5,8m^2 * 10min$$

$$Vol_{tanq} = 19,72m^3$$

Para un tiempo de 10 minutos, con las dimensiones especificadas del filtro se requiere una capacidad del tanque de lavado 19,72 m<sup>3</sup>.

*Tabla 14 Parámetros de diseño filtros rápidos*

<b>PARÁMETROS PAARA FILTROS RÁPIDOS</b>		
Tasa de filtración	180 - 350	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día
Numero de filtros	Mínimo 3	unidades
Velocidad de lavado	≥0,60	m/min

Fuente: Resolución 0330, 2017

Los filtros de la PTAP del municipio de Apulo NO CUMPLEN con el número mínimo de unidades filtros.

### **Desinfección**

La mayor parte de las aguas, aun en el caso de que sean totalmente claras, o hayan sido sometidas a un tratamiento especial, se encuentran, generalmente, contaminadas por microbios nocivos para el organismo humano. Por ellos se precisa una desinfección eficaz del agua (Asociación Española de Abastecimientos de agua y saneamiento, 1984).

Para el proceso de desinfección la PTAP utiliza cloro gaseoso, el cual se encuentra almacenado en un cilindro de cloro y está conectado a una pipeta de ½” la cual suministra el cloro al tanque de almacenamiento que se encuentra en el cuarto de bombas, según la ingeniera de la planta el tiempo de contacto es de aproximadamente 2 minutos. En la PTAP del municipio de aplica 40gr/h.

Según (Arboleda, 2001) el tiempo de contacto  $t$  necesario para matar un determinado número de organismo viene dado por la expresión de Watson:

$$t = \frac{K}{C^n}$$

$$t = \frac{16}{1,86^{0,95}}$$

$$t = 9 \text{ min}$$

*Ilustración 2 Constante de desinfección*

Dosis de Cloro Aplicada mg/l	10°C				15°C				20°C				25°C			
	pH				pH				pH				pH			
	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5
<=0,4	37	44	52	63	25	30	35	42	18	22	26	31	12	15	18	21
0,6	38	45	54	64	25	30	36	43	19	23	27	32	13	15	18	22
0,8	39	46	55	66	26	31	37	44	20	23	28	33	13	16	19	22
1	40	47	56	67	27	32	38	45	20	24	28	34	13	16	19	23
1,2	40	48	57	69	27	32	38	46	20	24	29	35	14	16	19	23
1,4	41	49	58	70	28	33	39	47	21	25	29	35	14	17	20	24
1,6	42	50	60	72	28	33	40	48	21	25	30	36	14	17	20	24
1,8	43	51	61	74	29	34	41	49	22	26	31	37	15	17	21	25
2	44	52	62	75	29	35	42	50	22	26	31	38	15	18	21	25
2,2	45	53	64	77	30	35	43	51	22	27	32	39	15	18	21	26
2,4	45	54	65	79	30	36	43	53	23	27	33	39	15	18	22	26
2,6	46	55	66	80	31	37	44	54	23	28	33	40	16	19	22	27
2,8	47	56	67	82	31	37	45	55	24	28	34	41	16	19	23	27
3	48	57	69	83	32	38	46	56	24	29	34	42	16	19	23	28

Fuente: (Vivienda, 2000)

Para el caso de la planta esta realiza una remoción del 90 al 95% de coliformes en los procesos previos de sedimentación y filtración y la turbiedad del agua filtrada está entre 1,0 y 2,0 NTU.

### **Estación de bombeo**

En la PTAP se cuenta con una bomba sumergible de 5 HP, la cual impulsa el agua hasta el tanque de almacenamiento, la cual los operarios deben estar inspeccionando y verificando su normal funcionamiento, no se cuentan con bombas adicionales.

### **Tanque de almacenamiento**

A 250 metros de la zona de desinfección se encuentran el tanque de almacenamiento de aproximadamente 1280 m<sup>3</sup>, donde llega el líquido por medio de bombeo. En este tanque se almacena el agua tratada para posteriormente ser distribuida y suministrada al municipio de

Apulo por secciones, llegando a las veredas dos o tres veces por semana en un transcurso de 8 horas.

### Laboratorio

La zona de laboratorio se encuentra a 50 metros de la planta, donde los operarios tienen dificultades de acceso para llevar la muestra de agua que se utiliza para la prueba de test de jarras debido a que es un segundo piso, es por eso que se realiza en un lugar improvisado en la zona del cuarto de bombas.

En este lugar se realizan pruebas de pH, color, turbiedad, cloro libre estos parámetros se realizan las 24 horas del día del afluente y del efluente, para el test de jarras se realizan una vez por turno en la planta se tienen 3 turnos.

### Calidad de agua

*Tabla 15 consolidación IRCA Apulo*

<b>CONSOLIDACIÓN IRCA APULO</b>			
<b>AÑO</b>	<b>% IRCA URBANO</b>	<b>MUESTRAS EXAMNIADAS</b>	<b>RIESGO</b>
2008	7,8	5	BAJO
2009	7,5	21	BAJO
2010	12,2	13	BAJO
2011	3,8	12	SIN RIESGO
2012	4,97	12	SIN RIESGO
2013	18,23	12	MEDIO
2014	12,44	12	BAJO
2015	27,71	13	MEDIO
2016	12,79	12	BAJO
2017	14,17	12	MEDIO
<b>2018</b>			
Enero	12,3	3	BAJO
Febrero	51,2	1	ALTO
Marzo	0,0	1	SIN RIESGO

Abril	18,2	1	MEDIO
Mayo	36,6	1	ALTO
Junio	18,2	1	MEDIO
Julio	19,4	1	MEDIO
Agosto	55,8	1	ALTO
Septiembre	36,4	1	ALTO
Octubre	18,4	2	MEDIO
Diciembre	0,0	1	SIN RIESGO
2019			
Enero	18,40	1	MEDIO
Febrero	18,63	1	MEDIO
Marzo	0,0	1	SIN RIESGO
Abril	0,0	1	SIN RIESGO
Mayo	0,0	1	SIN RIESGO
Junio	0,0	2	SIN RIESGO
Julio	18,40	1	MEDIO
Agosto	0,0	1	SIN RIESGO
Septiembre	0,0	1	SIN RIESGO
Octubre	16,66	1	MEDIO
Noviembre	3,72	1	SIN RIESGO
Diciembre	17,96	1	MEDIO

Fuente: EMPOAPULO S.A

En el índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano, se tiene asignado el puntaje de riesgo a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la Resolución 2115 de 2007. El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando se cumple con los valores aceptables de cada una de las características tanto físicas, químicas y microbiológicas y cien puntos (100) para el riesgo más alto cuando no se cumple con ninguno de ellos.

Los resultados del IRCA del municipio de Apulo, se han obtenido niveles de riesgo BAJO y MEDIO en promedio de los últimos años, teniendo inconvenientes para suministrar agua para consumo humano a su población, teniendo como causa las fallas en los parámetros de las unidades de potabilización.

Para valorar la calidad del agua potable, se realizaron por parte de un laboratorio certificado, el cual ha realizado este proceso en la PTAP por aproximadamente 8 años la toma de muestra de agua potable emitida en diferentes puntos que se tienen en el municipio. se determinó las características físico-químicas y microbiológicas.

## **RESULTADOS**

### **Mejoramiento de la PTAP de Apulo – Cundinamarca**

#### *Proyección de población*

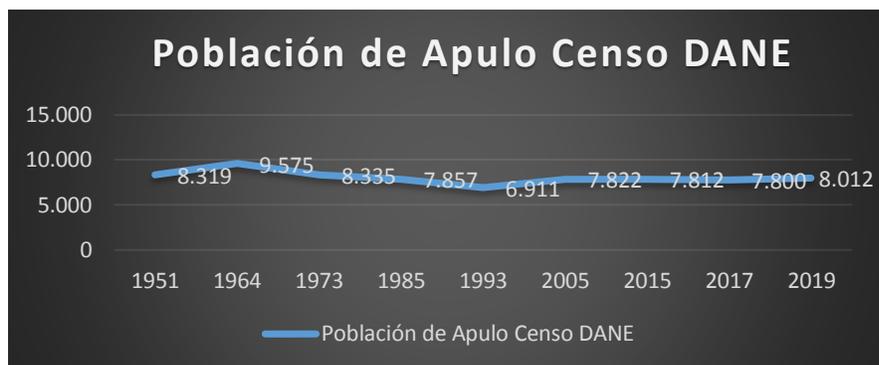
Para la proyección poblacional se tomaron datos de la alcaldía, de la historia de los censos en el municipio de Apulo para lograr la estimación hasta el 2050.

*Tabla 16 Historial censos Apulo*

<b>HISTORIAL CENSOS MUNICIPIO DE APULO - CUNDINAMARCA</b>	
<b>AÑO</b>	<b>TOTAL (Habitantes)</b>
1951	8319
1964	9575
1973	8335
1985	7857
1993	6911
2005	7822
2015	7812
2017	7800
2019	8012

Fuente: Alcaldía municipal de Apulo

Figura 1 Historial censos Apulo



Fuente: Autor

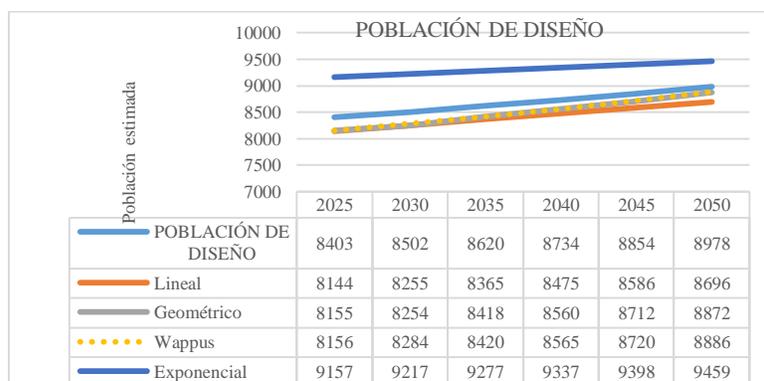
Para este cálculo se utiliza los modelos matemáticos: Lineal, geométrico, exponencial y Wappus.

Tabla 17 Población de diseño

POBLACIÓN DE DISEÑO						
Método	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Lineal	8144	8255	8365	8475	8586	8696
Geométrico	8155	8254	8418	8560	8712	8872
Wappus	8156	8284	8420	8565	8720	8886
Exponencial	9157	9217	9277	9337	9398	9459
Promedio	8403	8502	8620	8734	8854	8978

Fuente: Autor

Figura 2 Población proyectada



Fuente: Autor

- Dotación neta máxima:

*Tabla 18 dotación neta máxima*

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

Fuente: Resolución 0330 de 2017

- Dotación bruta:

Para determinar esta dotación se tiene en cuenta la dotación neta y el porcentaje de perdidas, en este caso se toma el máximo para el diseño el cual es de 25%.

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

- Caudales de diseño:

- Caudal medio diario:

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

- Caudal máximo diario: corresponde al consumo máximo registrado en 24 horas a lo largo de un periodo de un año.

$$QMD = Q_{md} * K_1$$

$K_1 =$  Coeficiente de consumo máximo diario

$$K_1 = 1,3$$

- Caudal máximo horario: corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio.

$$QMH = QMD * K_2$$

$K_2 =$  Coeficiente de consumo máximo horario

$$K_2 = 1,65$$

*Tabla 19 Caudales de diseño*

<b>AÑO</b>	<b>HABITANTES</b>	<b>Dbruta</b>	<b>Qmed Diario (l/s)</b>	<b>Qmax Diario (l/s)</b>	<b>Qmax Horario (l/s)</b>
2025	8403	188	18	24	39
2030	8502	188	18	24	40
2035	8620	188	19	24	40
2040	8734	188	19	25	41
2045	8854	188	19	25	41
2050	8941	188	19	25	42

Fuente: Autor

Según la (Resolución 0330 , 2017) en su artículo 99, se debe tomar el caudal máximo diario (QMD) para el diseño de las estructuras de potabilización. La planta fue diseñada para un caudal de 25 l/s, pero actualmente trabaja con 33 l/s siendo insuficiente el suministro para la población actual, para el mejoramiento se escoge el caudal con el que actualmente está trabajando.

### ***Canaleta Parshall***

Para que la estructura no trabaje ahogada, se aumenta el ancho de su garganta y las demás dimensiones requeridas en la cual se tomará un ancho de garganta de 9" con el fin de cumplir con lo establecido en la normatividad.

*Tabla 20 Cálculos obtenidos para la canaleta Parshall*

<b>DATOS OBTENIDOS</b>	
Altura de entrada ( $h_1$ )	0,16 m
Ancho de la canaleta ( $D$ )	0,46 m
Velocidad de entrada ( $V_1$ )	0,45 m/s
Energía total ( $E_1$ )	0,40 m

Velocidad antes del resalto ( $V_2$ )	2,59 m/s
Altura antes del resalto ( $h_2$ )	0,05 m
Lámina de agua al final del techo divergente ( $h_3$ )	0,23 m
Lámina de agua al final de la canaleta ( $h_4$ )	0,077 m
Velocidad al final del techo divergente ( $V_3$ )	0,63 m/s
Velocidad final de la canaleta ( $V_4$ )	1,13 m/s
Velocidad promedio ( $V_m$ )	0,88 m/s
Tiempo de mezcla ( $T_d$ )	0,52 s
Perdida de carga	0,44
Gradiente hidráulico (G)	149738,5

Fuente: Autor

### *Floculador*

Se proyectó la optimización de un Floculador hidráulico de flujo horizontal, el cual está compuesto por tres secciones o cámaras, las cuales tienen la misma área y volumen del actual Floculador que tiene la PTAP del municipio de Apulo. Los gradientes de velocidad son asumidos teniendo en la Resolución 0330 de 2017, también se asumen un tiempo de retención de 20 minutos para un caudal de 33 l/s.

*Tabla 21 Condiciones iniciales*

<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>		
<b>Variable</b>		<b>Unidad</b>
(Q) Caudal	0,033	m <sup>3</sup> /s
( $\mu$ ) Viscosidad dinámica	0,000852	(Pa*s)
( $\rho$ ) Densidad del agua	998,21	(Kg/m <sup>3</sup> )
(n) Coeficiente de manning (concreto)	0,013	m
Longitud de la unidad	12,95	m
(h) Profundidad del floculador	1,0	m
Espesor de pantallas	0,10	m
<b>GRADIENTES DE VELOCIDAD</b>		
G1	50	(s <sup>-1</sup> )
G2	35	(s <sup>-1</sup> )
G3	20	(s <sup>-1</sup> )

Tiempo de retención	20	min
---------------------	----	-----

Tabla 22 Diseño primera cámara

<b>PRIMERA CÁMARA</b>		
(N) Numero de pantallas	57	unidades
(e) Distancia entre pantallas	0,23	m
(Vc) Velocidad del flujo en los canales	0,14	m/s
(L') Longitud recorrida en la cámara	56,8	m
(Vp) Velocidad en los pasos	0,0933	m/s
(h <sub>c</sub> ) Perdida de energía interna en el canal	0,004	m
(h <sub>p</sub> ) Perdida de energía en los pasos	0,083	m
(h <sub>t</sub> ) pérdida total de energía eb la sección	0,087	m
(h) comprobación de perdida de energía total	0,087	m
(d) Distancia libre entre extremo y pared	0,345	m

Fuente: Autor

Tabla 23 Diseño segunda cámara

<b>SEGUNDA CÁMARA</b>		
(N) Numero de pantallas	45	unidades
(e) Distancia entre pantallas	0,29	m
(Vc) Velocidad del flujo en los canales	0,114	m/s
(L') Longitud recorrida en la cámara	45,8	m
(Vp) Velocidad en los pasos	0,076	m/s
(h <sub>c</sub> ) Perdida de energía interna en el canal	0,00002	m
(h <sub>p</sub> ) Perdida de energía en los pasos	0,044	m
(h <sub>t</sub> ) pérdida total de energía eb la sección	0,044	m
(h) comprobación de perdida de energía total	0,043	m
(d) Distancia libre entre extremo y pared	0,435	m

Fuente: Autor

Tabla 24 Diseño tercera cámara

<b>TERCERA CÁMARA</b>		
(N) Numero de pantallas	31	unidades
(e) Distancia entre pantallas	0,42	m
(Vc) Velocidad del flujo en los canales	0,08	m/s
(L') Longitud recorrida en la cámara	32,16	m
(Vp) Velocidad en los pasos	0,053	m/s
(h <sub>c</sub> ) Perdida de energía interna en el canal	0,0004	m
(h <sub>p</sub> ) Perdida de energía en los pasos	0,015	m
(h <sub>t</sub> ) pérdida total de energía eb la sección	0,0154	m
(h) comprobación de perdida de energía total	0,014	m

(d) Distancia libre entre extremo y pared	0,63	m
---	------	---

Fuente: Autor

### Sedimentador

Se propone cambios en las dimensiones del primer y segundo sedimentador para un caudal de 33l/s, para lograr que los sedimentadores trabajen correctamente. Las dimensiones del primer sedimentador son las siguientes:

*Tabla 25 Dimensiones nuevo tanque sedimentador*

<b>PRIMER SEDIMENTADOR</b>		
Ancho	8,45	m
Longitud	17	m
Profundidad Total	2,50	m
Borde libre	0,35	m
Zona de lodos	0,50	m
Carga superficial (Cs)	20	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día
Tiempo de retención	3,02	hr
Velocidad promedio	0,23	cm/s
Área de orificios	0,22	m <sup>2</sup>
Número de orificios	22	unidades

Fuente: Autor

### Segundo tanque sedimentador

*Tabla 26 Nuevas dimensiones para segundo sedimentador*

<b>SEGUNDO SEDIMENTADOR</b>		
Ancho	8,45	m
Longitud	13,8	m
Profundidad Total	2,50	m
Borde libre	0,35	m
Zona de lodos	0,50	m
Carga superficial	24,45	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día

Tiempo de retención	2,66	hr
Velocidad promedio	0,088	m/s
Área de orificios	0,22	m <sup>2</sup>
Número de orificios	22	unidades

Fuente: Autor

### Sedimentador de alta tasa

Se propone modificar las dimensiones del sedimentador de alta tasa que contiene el segundo tanque, el cual tendría las siguientes medidas:

*Tabla 27 Nuevas medidas alta tasa*

<b>SEDIMENTADOR ALTA TASA</b>		
Ancho	8,45	m
Longitud	3,2	m
Profundidad Total	2,50	m
Sección de módulos	6*6	cm
Longitud módulos	0,9	m
Angulo de inclinación	60	°
Carga superficial	105,44	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día
Velocidad promedio	0,08	m/min
Longitud relativa del sedimentador	15	m
Área	27,04	m <sup>2</sup>
Longitud relativa para la región de transición	1,31	m
Tiempo de retención	10,71	min
Número de Reynolds	101	

Fuente: Autor

### Filtros

Para cumplir con lo establecido en la (Resolución 0330 , 2017), el número de filtros debe ser 3 cuando se tiene tanque de lavado para realizar la limpieza de los filtros, por lo cual se establecen las siguientes dimensiones:

*Tabla 28 Nuevas dimensiones filtros*

DIMENSIONES FILTROS		
Ancho	2	m
Longitud	2,5	m
Número de filtros	3	unidades
Caudal por filtros	11	l/s
Caudal por filtro	950,3	m <sup>3</sup> /día
Altura desde la corona al lecho	2,8	m
Caudal total	2851,2	m <sup>3</sup> /día
Canales de lavado	3	unidades

Fuente: Autor

## CONCLUSIONES

- De acuerdo al diagnóstico realizado, todas las unidades de la PTAP requieren mejoramiento de rediseño debido a que fue construida hace más de 50 años y sus estructuras se encuentran en mal estado y funcionamiento así se lograría cumplir con su principal función y así evitar el incumplimiento de la normatividad legal vigente colombiana y brindar un producto apto para consumo humano.
- A falta de mantenimientos y adecuaciones la planta trabaja incorrectamente afectando las características físicas del agua que se envía a la población, llegando a incidir en problemas de salud pública, esto se demuestra a través de los IRCAs.
- El tiempo de retención y las velocidades del Flocculador y sedimentador hacen que los flocs no se aglomeren y sedimenten de una forma correcta, ocasionando niveles de turbiedad final sean superiores a los establecidos en la Resolución 2115 de 2007.
- Un factor importante en los niveles de turbiedad del agua tratada son las tuberías de conducción, ya que algunos tramos siguen siendo de gress, teniendo fisuras y permitiendo la entrada de material solido al agua.

## RECOMENDACIONES

- Se requiere la instalación de un macromedidor para evaluar la demanda de agua suministrada a la población, así como determinar pérdidas.
- Para mayor optimización se requiere implementar otra bomba, para evitar futuros inconvenientes a la hora de reparaciones, mantenimientos, así mismo se cumple con la Resolución 0330 de 2017 donde se establece mínimos dos unidades de bombeo.
- Realizar mantenimientos adecuados en las unidades de potabilización de la planta, así mismo que este se realice en un lapso de no mayor a 10 días.
- Capacitación de los operarios a nivel de función, mantenimiento y operación de la planta, para mejorar el rendimiento de la misma.
- Se recomienda establecer un tratamiento de manejo de lodos y así evitar sanciones y contaminación a cuerpos de aguas superficiales, se sugiere el tratamiento de lodos sobre suelos de cultivos en el municipio favoreciendo a la población.
- La optimización desde la Canaleta Parshall hasta los filtros para lograr el cumplimiento de la normatividad y que los funcionamientos de ellas sean eficientes, teniendo como resultado el mejoramiento del proceso de potabilización.

## REFERENCIAS

- Academies, N. (2007). Safe Drinking Water Is Essential. *Reports from the National Academies*.
- ACUATECNICA S.A.S. (2016). *Plantas de tratamiento de agua potable convencionales / Acuatecnica*. Recuperado de: <https://acuatecnica.com/caracteristicas-las-plantas-tratamiento-agua-potable-convencionales/>
- Arboleda, J. (2000). *TEORIA Y PRACTICA DE LA PURIFICACIÓN DEL AGUA*. 3ª ed. Bogotá D.C.: MCGRAW-HILL INTERNAMERICANA, S.A.
- Asociación Española de Abastecimientos de agua y saneamiento. (1984). *Manual de la Cloración*. 1–32. <https://www.asoeas.com/sites/default/files/Documentos/AEAS.Manual.de.la.Cloracion.pdf>
- Becerra, J., & Alvarado, R. (2018). DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE APULO EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. (*Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia*). Recuperado de: [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16519/1/PROYECTO APULO.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16519/1/PROYECTO_APULO.pdf)
- Lidia De Vargas, I. (n.d.). *CAPÍTULO 5 MEZCLA RÁPIDA*. Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cinco.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (26 de mayo de 2015). Artículo 2.2.3.3.4.4 [Título 3]. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. [Decreto 1076 de 2015]/ Recuperado de: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/08/Decreto-Unico-Reglamentario-Sector-Ambiental-1076-Mayo-2015.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (08 de junio de 2017). Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. [Resolución 0330 de 2017]. DO: 50267. Recuperado de: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=71542>
- Ministerio de la Protección Social, Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (22 de junio de 2007). Por el cual se sealan características, instrumentis básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. [Resolución 2115 de 2007]. Recuperado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf)
- QUINSA, Q. I. S. . (2020). *Quinsa - HIDROXICLORURO DE ALUMINIO*.

<http://quinsa.com.co/modulos/pagina/vista/producto/index.php?id=9>

Romero, J. A. (2000). *Potabilización del Agua* (3.<sup>a</sup> ed.). Ciudad de México, México: Alfaomega.

Salazar León, J. camilo. (2011). *ESTRUCTURAS DE CAPTACION / Descarga (hidrología) / Riego*. <https://es.scribd.com/document/62506469/ESTRUCTURAS-DE-CAPTACION>

Vivienda, M. de. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico TÍTULO C Sistemas de potabilización*.

Yolanda, I., & Cárdenas, A. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN*. Recuperado de :  
[http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

## ANEXOS

### Anexo A: Fotografías

Canaleta Parshall



Floculador



Fuente: Autor

Primer sedimentador



Segundo sedimentador



Fuente: Autor

Sedimentador alta tasa



Filtros



Fuente: Autor

**Anexo B: Cálculos****Canaleta Parshall:**

- Altura de entrada:

$$h_1 = \left( \frac{0,033}{0,535} \right)^{\frac{1}{1,530}}$$

$$h_1 = 0,16m$$

- Ancho de la canaleta:

$$D' = \frac{2}{3}(0,575 - 0,229) + 0,229$$

$$D' = 0,46m$$

- Velocidad de entrada:

$$V_1 = \frac{0,033m^3/s}{0,46m * 0,16m}$$

$$V_1 = 0,45m/s$$

- Energía Total:

$$E_1 = \frac{(0,45m/s)^2}{2 * 9,81m/s^2} + 0,16m + 0,229m$$

$$E_1 = 0,40m$$

- Determinación velocidad antes del resalto:

$$E_1 = E_2$$

$$E_2 = \frac{Q}{W * V_2} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$E_2 = \frac{0,033m^3/s}{0,229m * V_2} + \frac{V_2^2}{2 * 9,81}$$

$$0,40 * 2(9,81) * V_2 = \frac{0,033 * 2(9,81)}{0,229} + V_2^3$$

$$V_2^3 - 7,848V_2 + 2,83 = 0$$

- Altura antes del resalto
 
$$V_2 = 2,59 \text{ m/s}$$

$$h_2 = \frac{0,033}{2,59 * 0,229}$$

$$h_2 = 0,05 \text{ m}$$
- Número de Froude:
 
$$Fr = \frac{2,59}{\sqrt{9,81 * 0,05}}$$

$$Fr = 3,7$$
- Lámina de agua al final del trecho divergente:
 
$$h_3 = \frac{0,05}{2} (\sqrt{8(3,7 + 1) - 1})$$

$$h_3 = 0,23 \text{ m}$$
- Lámina de agua al final de la canaleta:
 
$$h_4 = 0,23 - (0,229 - 0,076)$$

$$h_4 = 0,077 \text{ m}$$
- Velocidad en el final del trecho divergente:
 
$$V_3 = \frac{Q}{W * h_3}$$

$$V_3 = \frac{0,033}{0,229 * 0,23}$$

$$V_3 = 0,63 \text{ m/s}$$
- Velocidad al final de la canaleta:
 
$$V_4 = \frac{Q}{C * h_4}$$

$$V_4 = \frac{0,033}{0,38 * 0,077}$$

$$V_4 = 1,13 \text{ m/s}$$
- Velocidad promedio:
 
$$V_m = \frac{V_3 + V_4}{2}$$

$$V_m = \frac{0,63 + 1,13}{2}$$

$$V_m = 0,88 \text{ m/s}$$
- Tiempo medio de mezcla:
 
$$T_d = \frac{G}{V_m}$$

$$T_d = \frac{0,457}{0,88}$$

$$T_d = 0,52 \text{ s}$$
- Gradiente hidráulico:
 
$$G = \sqrt{\frac{\gamma \Delta h}{\mu T_d}}$$
- Perdida de carga:

$$E_1 = E_4 + \Delta h$$

$$\Delta h = \frac{V_1^2}{2g} + h_1 + N - \frac{V_4^2}{2g} - h_4 - (N - K)$$

$$\Delta h = \frac{2,59^2}{2(9,81)} + 0,16 + 0,229 - \frac{1,13^2}{2(9,891)} - 0,077 - (0,229 - 0,076)$$

$$\Delta h = 0,44$$

$$G = \sqrt{\frac{9770 * 0,44}{0,838 * 10^{-6} * 0,52}}$$

$$G = 149738,5$$

**Floculador hidráulico:**

- Volumen floculador:

$$Vf = Q * t$$

$$Vf = \frac{0,033m^3}{s} * 20min * 60 s$$

$$Vf = 39,6 m^3$$

- Ancho floculador:

$$B = \frac{Vf}{H * L}$$

$$B = \frac{39,6m^3}{1 m * 12,95 m}$$

$$B = 3,06 m$$

**Primera cámara**

- Numero de pantallas:

$$N = \left( \left( \frac{2 * \mu * t}{\rho * (1,44 + n)} \right) * \left( \frac{H * L * G}{Q} \right)^2 \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = \left( \left( \frac{2 * 0,000852 * 6,7 * 60}{998,21 * (1,44 + 0,013)} \right) * \left( \frac{1 * 12,95 * 50}{0,033} \right)^2 \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = 57$$

- Ancho para las 3 cámaras en secciones iguales:

$$b = \frac{3,06 m}{3}$$

$$b = 1,02 m$$

- Tiempo para las 3 cámaras en secciones iguales:

$$t_b = \frac{20 min}{3}$$

$$t_b = 6,7 min$$

- Distancia entre pantallas:

$$e = \frac{L}{N}$$

$$e = \frac{12,95 m}{57}$$

$$e = 0,23 m$$

- Velocidad del flujo:

$$V_c = \frac{Q}{A}$$

$$V_c = \frac{0,033 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m} * 0,23 \text{ m}}$$

$$V_c = 0,14 \text{ m/s}$$

- Longitud total recorrida en la cámara:

$$L' = 60 * V_c * Tr$$

$$L' = 60 * \frac{0,14 \text{ m}}{\text{s}} * 6,7$$

$$L' = 56,28 \text{ m}$$

- Longitud mojada:

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

$$a = \frac{0,23 \text{ m}^2}{1 \text{ m}}$$

$$a = 0,23 \text{ m}$$

- Perímetro mojado:

$$P = 2h + a$$

$$P = 2(1,0) + 0,23$$

$$P = 2,23 \text{ m}$$

- Radio hidráulico:

$$Rh = \frac{A}{P}$$

$$Rh = \frac{0,23 \text{ m}^2}{2,23 \text{ m}}$$

$$Rh = 0,10 \text{ m}$$

- Velocidad en los pasos:

$$V_p = \frac{2}{3} * V_c$$

$$V_p = \frac{2}{3} * 0,14 \text{ m/s}$$

$$V_p = 0,0933 \text{ m/s}$$

- Pérdida de energía interna en el canal:

$$h_c = \left( \frac{(\sqrt{L'}) * V_c * n}{R_h^2} \right)^2$$

$$h_c = \left( \frac{(\sqrt{56,28}) * 0,14 * 0,013}{0,10^2} \right)^2$$

$$h_c = 0,004m$$

- Pérdida de energía en los pasos:

$$h_p = \frac{(N + 1) * Vc^2 + N * Vp^2}{2 * g}$$

$$h_p = \frac{(57 + 1) * 0,14^2 + 57 * 0,093^2}{2 * 8,91}$$

$$h_p = 0,083$$

- Pérdida total de energía en la primera sección:

$$h_t = h_c + h_p$$

$$h_t = 0,0040m + 0,083$$

$$h_t = 0,087 m$$

- Comprobación de Pérdida de energía en la primera sección del floculador:

$$h = \frac{\mu * t * G^2}{\rho * g}$$

$$h = \frac{0,000852 * 6,7 * 60 * (50)^2}{998,21 * 9,81}$$

$$h = 0,087$$

- Distancia libre entre el extremo de la pantalla y la pared del floculador:

$$d = 1,5 * e$$

$$d = 1,5 * 0,23 m$$

$$d = 0,345 m$$

### Segunda Cámara

- Numero de pantallas:

$$N = \left( \left( \frac{2 * \mu * t}{\rho * (1,44 + n)} \right) * \left( \frac{H * L * G}{Q} \right)^2 \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = \left( \left( \frac{2 * 0,000852 * 6,7 * 60}{998,21 * (1,44 + 0,013)} \right) * \left( \frac{1 * 12,95 * 35}{0,033} \right)^2 \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = 45$$

- Distancia entre pantallas:

$$e = \frac{L}{N}$$

$$e = \frac{12,95 m}{45}$$

$$e = 0,29 m$$

- Velocidad del flujo:

$$Vc = \frac{Q}{A}$$

$$Vc = \frac{0,033 m^3/s}{1 m * 0,29 m}$$

$$V_c = 0,114 \text{ m/s}$$

- Longitud total recorrida en la cámara:

$$L' = 60 * V_c * Tr$$

$$L' = 60 * \frac{0,114 \text{ m}}{\text{s}} * 6,7$$

$$L' = 45,8 \text{ m}$$

- Longitud mojada:

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

$$a = \frac{0,29 \text{ m}^2}{1 \text{ m}}$$

$$a = 0,29 \text{ m}$$

- Perímetro mojado:

$$P = 2h + a$$

$$P = 2(1,0) + 0,29$$

$$P = 2,29 \text{ m}$$

- Radio hidráulico:

$$Rh = \frac{A}{P}$$

$$Rh = \frac{0,29 \text{ m}^2}{2,29 \text{ m}}$$

$$Rh = 0,13 \text{ m}$$

- Velocidad en los pasos:

$$V_p = \frac{2}{3} * V_c$$

$$V_p = \frac{2}{3} * 0,114 \text{ m/s}$$

$$V_p = 0,076 \text{ m/s}$$

- Pérdida de energía interna en el canal:

$$h_c = \left( \frac{(\sqrt{L'}) * V_c * n}{R_3^2} \right)^2$$

$$h_c = \left( \frac{(\sqrt{56,28}) * 0,114 * 0,013}{0,13_3^2} \right)^2$$

$$h_c = 0,00002 \text{ m}$$

- Pérdida de energía en los pasos:

$$h_p = \frac{(N + 1) * Vc^2 + N * Vp^2}{2 * g}$$

$$h_p = \frac{(45 + 1) * 0,114^2 + 45 * 0,076^2}{2 * 9,81}$$

$$h_p = 0,044m$$

- Pérdida total de energía en la primera sección:

$$h_t = h_c + h_p$$

$$h_t = 0,00002m + 0,044m$$

$$h_t = 0,044 m$$

- Comprobación de Perdida de energía en la primera sección del floculador:

$$h = \frac{\mu * t * G^2}{\rho * g}$$

$$h = \frac{0,000852 * 6,7 * 60 * (35)^2}{998,21 * 9,81}$$

$$h = 0,043m$$

- Distancia libre entre el extremo de la pantalla y la pared del floculador:

$$d = 1,5 * e$$

$$d = 1,5 * 0,29 m$$

$$d = 0,435 m$$

### Tercera cámara

- Numero de pantallas:

$$N = \left( \left( \frac{2 * \mu * t}{\rho * (1,44 + n)} \right) * \left( \frac{H * L * G}{Q} \right)^2 \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = \left( \left( \frac{2 * 0,000852 * 6,7 * 60}{998,21 * (1,44 + 0,013)} \right) * \left( \frac{1 * 12,95 * 20}{0,033} \right)^2 \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = 31$$

- Distancia entre pantallas:

$$e = \frac{L}{N}$$

$$e = \frac{12,95 m}{31}$$

$$e = 0,42 m$$

- Velocidad del flujo:

$$Vc = \frac{Q}{A}$$

$$Vc = \frac{0,033 m^3/s}{1 m * 0,42 m}$$

$$Vc = 0,08 m/s$$

- Longitud total recorrida en la cámara:

$$L' = 60 * Vc * Tr$$

$$L' = 60 * \frac{0,08m}{s} * 6,7$$

$$L' = 32,16m$$

- Longitud mojada:

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

$$a = \frac{0,42m^2}{1 m}$$

$$a = 0,42 m$$

- Perímetro mojado:

$$P = 2h + a$$

$$P = 2(1,0) + 0,42$$

$$P = 2,42m$$

- Radio hidráulico:

$$Rh = \frac{A}{P}$$

$$Rh = \frac{0,42 m^2}{2,42 m}$$

$$Rh = 0,17 m$$

- Velocidad en los pasos:

$$Vp = \frac{2}{3} * Vc$$

$$Vp = \frac{2}{3} * 0,08 m/s$$

$$Vp = 0,053m/s$$

- Pérdida de energía interna en el canal:

$$h_c = \left( \frac{(\sqrt{L'}) * Vc * n}{R_3^2} \right)^2$$

$$h_c = \left( \frac{(\sqrt{32,16}) * 0,08 * 0,013}{0,17_3^2} \right)^2$$

$$h_c = 0,0004m$$

- Pérdida de energía en los pasos:

$$h_p = \frac{(N + 1) * Vc^2 + N * Vp^2}{2 * g}$$

$$h_p = \frac{(31 + 1) * 0,08^2 + 31 * 0,053^2}{2 * 9,81}$$

$$h_p = 0,015m$$

- Pérdida total de energía en la primera sección:

$$h_t = h_c + h_p$$

$$h_t = 0,0004m + 0,015m$$

$$h_t = 0,0154 m$$

- Comprobación de Perdida de energía en la primera sección del floculador

$$h = \frac{\mu * t * G^2}{\rho * g}$$

$$h = \frac{0,000852 * 6,7 * 60 * (20)^2}{998,21 * 9,81}$$

$$h = 0,014m$$

- Distancia libre entre el extremo de la pantalla y la pared del floculador:

$$d = 1,5 * e$$

$$d = 1,5 * 0,42 m$$

$$d = 0,63 m$$

### Primer Sedimentador:

- Carga superficial:

$$C_s = \frac{Q}{A}$$

$$C_s = \frac{2851,2 m^3/día}{8,45 m * 17 m}$$

$$C_s = 20 \frac{m^3}{m^2} * día$$

- Tiempo de retención:

$$t = \frac{8,45 m * 17m * 2,50m}{2851,2m^3/día}$$

$$t = 181,4 min$$

$$t = 3,02 h$$

- Velocidad promedio:

$$V = \frac{\frac{2851,2m^3}{día} * 100}{2,5m * 17m * 86400}$$

$$V = 0,23 cm/s$$

- Numero de orificios:

$$Area de orificios = \frac{2851,2m^3/día}{86400 * 0,15m/s}$$

$$Area de orificios = 0,22 m^2$$

### Segundo Sedimentador:

- Carga superficial:

$$Cs = \frac{Q}{A}$$

$$Cs = \frac{2851,2 \text{ m}^3/\text{día}}{8,45 \text{ m} * 13,8 \text{ m}}$$

$$Cs = 24,45 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * \text{día}$$

- Tiempo de retención:

$$t = \frac{8,45 \text{ m} * 15 \text{ m} * 2,50 \text{ m}}{2851,2 \text{ m}^3/\text{día}} * 24 * 60$$

$$t = 160 \text{ min}$$

$$t = 2,66 \text{ h}$$

- Velocidad promedio:

$$V = \frac{\frac{2851,2 \text{ m}^3}{\text{día}} * 100}{2,5 \text{ m} * 15 \text{ m} * 86400}$$

$$V = 0,088 \text{ m/s}$$

- Numero de orificios:

$$\text{Area de orificios} = \frac{2851,2 \text{ m}^3/\text{día}}{86400 * 0,15 \text{ m/s}}$$

$$\text{Area de orificios} = 0,22 \text{ m}^2$$

### **Sedimentador alta tasa:**

- Carga superficial:

$$Cs = \frac{2851,2 \text{ m}^3/\text{día}}{3,2 \text{ m} * 8,45 \text{ m}}$$

$$Cs = \frac{105,44 \text{ m}^3}{\text{m}^2} * \text{día}$$

- Velocidad promedio:

$$Vo = \frac{\frac{2851,2 \text{ m}^3}{\text{día}} * 100}{86400 * 27,04 \text{ m}^2 * \sin 60}$$

$$Vo = 121,75 \text{ m/día}$$

$$Vo = 0,08 \text{ m/min}$$

- Velocidad critica:

$$Vsc = \frac{Sc * Vo}{\sin \theta + Lc * \cos \theta}$$

- Factor de forma :

$$Sc = \frac{11}{8}$$

- Longitud relativa del sedimentador:

$$L = \frac{l}{d}$$

$$L = \frac{90}{6}$$

$$L = 15$$

- Área:

$$A = b * L$$

$$A = 8,45m * 3,2m$$

$$A = 27,04m^2$$

- Longitud relativa para la región de transición:

$$L' = 0,013 * \frac{V_o * d}{v}$$

$$L' = 0,013 * \frac{0,084m}{min} * 0,06m$$

$$L' = 0,013 * \frac{0,084m}{60 * 0,838 * 10^{-6}m^2/s}$$

$$L' = 1,31$$

- Longitud relativa del sedimentador corregida:

$$L_c = L - L'$$

$$L_c = 15 - 1,31$$

$$L_c = 13,69m$$

- Tiempo de retención en los tubos cuadrados de alta tasa:

$$t = \frac{l}{V_o}$$

$$t = \frac{0,90m}{0,084m/min}$$

$$t = 10,71min$$

- Numero de Reynolds:

$$N = \frac{V_o * d}{v}$$

$$N = \frac{121,75m/día * 0,06m}{86400 * 0,838 * 10^{-6}m^2/s}$$

$$N = 101 < 2100 = \text{Flujo laminar}$$

### Filtros:

- Tasa de filtración:

$$V_f = \frac{Q}{A_f}$$

$$V_f = \frac{950,3m^3/día}{5m^2}$$

$$V_f = 190,06m/día$$