



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE APULO EN EL DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA**

JEISON ALEXANDER BECERRA PICO. CODIGO: 505181

RONALD FERNEY ALVARADO MORA. CODIGO: 504986

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERA CIVIL
ALTERNATIVA TRABAJO DE INVESTIGACION
BOGOTA D.C.
2018**

**DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE APULO EN EL DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA**

JEISON ALEXANDER BECERRA PICO. CODIGO: 505181

RONALD FERNEY ALVARADO MORA. CODIGO: 504986

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
PREGRADO ACADEMICO**

**DIRECTOR DE PROYECTO:
INGENIERO CIVIL MAGISTER EN RECURSOS HIDRÁULICOS JESUS
ERNESTO TORRES QUINTERO**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERA CIVIL
MAYO DE 2018
BOGOTA D.C.**



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

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

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

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



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



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

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. ANTECEDENTES.....	4
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.2.1. Descripción del problema	5
1.2.2. Formulación del problema	5
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	6
1.5. DELIMITACIÓN	6
1.5.1. Espacio.....	6
1.5.2. Tiempo.....	7
1.5.3. Contenido	7
1.5.4. Limitaciones.....	7
1.6. MARCO DE REFERENCIA	7
1.6.1. Marco teórico.....	7
1.6.2. Marco conceptual	17
1.7. METODOLOGÍA	19
1.7.1. Tipo de estudio	20
1.7.2. Fuentes de información	20
1.8. DISEÑO METODOLÓGICO	21
2. INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO, FUENTE HIDRICA Y PTAP DE APULO.....	22
2.1. Geografía.....	22
2.2. Aspectos Económicos.....	22
2.3. Ecología.....	23
2.4. Descripción fuente hídrica	23
2.5. Características de la cuenca.....	23
2.6. Descripción de la PTAP existente.....	26
3. DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAS EXISTENTES.	27
3.1. Captación (Bocatoma de fondo).	27

3.2.	Cámara de aquietamiento.....	28
3.3.	Desarenador	29
3.4.	Canaleta Parshall	30
3.5.	Mezcla rápida	38
3.5.1.	Dosificador de sulfato de aluminio	38
3.5.2.	Dosificador de cal	39
3.6.	Evaluación floculador (Mezcla lenta)	40
3.7.	Sedimentadores.....	43
3.8.	Filtros	49
3.9.	Desinfección	52
3.10.	Estacion de bombeo	55
3.11.	Macro medidor.....	56
3.12.	Tanque de almacenamiento	56
3.13.	Laboratorio	57
3.14.	Calidad del agua.....	58
4.	OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE APULO	66
4.1.	Proyección de población:.....	66
4.2.	Canaleta parshall.....	74
4.3.	Floculador	75
4.4.	Estación de bombeo	80
5.	CONCLUSIONES.....	88
6.	RECOMENDACIONES	89
	Bibliografía	90
	Anexos.....	92

Tabla de ilustraciones

<i>Ilustración 1</i>	<i>Canaleta Parshall</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 2</i>	<i>Municipio de Apulo</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 3</i>	<i>Perfil Longitudinal Rio Calandaima.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 4</i>	<i>Rio Calandaima</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 5</i>	<i>Bocatoma de rejilla de fondo</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 6</i>	<i>Bocatoma de fondo.</i>	<i>Ilustración 7</i>
<i>Ilustración 8</i>	<i>Bocatoma años atrás.....</i>	<i>Rejilla</i>
<i>Ilustración 9</i>	<i>Paso directo a la cámara de recolección</i>	<i>27</i>
		<i>28</i>

<i>Ilustración 10 Desarenador.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 11 Repartidor de caudales.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 12 Canaleta Parshall</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 13 Punto de adición del coagulante.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 14 Dosificador mecánico</i>	<i>Ilustración 15 Bulto de sulfato de aluminio</i>
<i>.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 16 Dosificador de cal</i>	<i>Ilustración 17 Bulto de cal ..</i>
<i>.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 18 Floculador antiguo</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 19 Floculador actual</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 20 Sedimentador</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 21 Sedimentador en uso.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 22 Canal de salida</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 23 sedimentador alta tasa</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 24 Sedimentador sin uso</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 25 Modelo sedimentador convencional con alta tasa</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 26 Unidad de filtro.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 27 Filtros.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 28 Capas de filtración</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 29 Válvulas de filtros y retro lavado</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 30 Tanque para el lavado de filtros.</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 31 Cloro gaseoso</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 32 Macro medidor.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 33 Tanque de almacenamiento</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 34 Válvulas de acceso.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 35 Prueba de jaras</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 36 Laboratorio</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 37 Fotómetro</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 38 PH metro</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 39 Toma de muestras.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 40 Ensayo test de jarras</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 41 Población diseño</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 42 Esquema de bombeo.....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 43 Grafica del sistema</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 44 Curva característica.....</i>	<i>87</i>
Tabla de tablas	
<i>Tabla 1 Relación de sumergencia.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2 Criterios de diseño</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 3 Longitud en (m) del canal requerido en floculadores hidráulicos</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 4 Principales características de filtros</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 5 Valores aproximados de factores de forma para arena</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 6 Características morfométricas de la cuenca</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 7 Límites de caudales según el ancho de la garganta</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 8 Dimensionamiento Canaleta Parshall</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 9 Determinación de lámina Ha.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 10 determinación de peso específico y viscosidad</i>	<i>35</i>

<i>Tabla 11 Datos obtenidos Canaleta Parshall</i>	36
<i>Tabla 12 Cálculos Canaleta Parshall</i>	37
<i>Tabla 13 Dimensiones floculador existente</i>	40
<i>Tabla 14 Dimensiones sedimentador de flujo horizontal en operación</i>	44
<i>Tabla 15 Dimensiones sedimentador alta tasa</i>	44
<i>Tabla 16 Dimensiones sedimentador flujo horizontal, que no está en uso</i>	45
<i>Tabla 17 Datos iniciales filtro</i>	50
<i>Tabla 18 Constante de desinfección</i>	54
<i>Tabla 19 Datos obtenidos desinfección</i>	54
<i>Tabla 20 Calculo desinfección</i>	54
<i>Tabla 21 Datos obtenidos para almacenamiento de cloro</i>	54
<i>Tabla 22 Calculo de almacenamiento desinfección</i>	55
<i>Tabla 23 Histórico IRCA Apulo</i>	58
<i>Tabla 24 Puntaje de riesgo IRCA</i>	60
<i>Tabla 25 Puntaje de riesgo IRCA</i>	60
<i>Tabla 26 Clasificación del nivel de riesgo en salud según IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse.</i>	61
<i>Tabla 27 Condiciones iniciales del efluente</i>	62
<i>Tabla 28 Condiciones iniciales del afluente</i>	63
<i>Tabla 29 Dosificaciones y resultados de la prueba de jarras</i>	64
<i>Tabla 30 Datos población, municipio Apulo, DANE, secretaria de planeación de Cundinamarca, 2015</i>	66
<i>Tabla 31 Datos de población, municipio Apulo, estimaciones de población 1985-2005 y proyecciones de población 2005-2020 total municipal por área, DANE</i>	67
<i>Tabla 32 Método aritmético</i>	68
<i>Tabla 33 Método geométrico</i>	69
<i>Tabla 34 Método exponencial</i>	70
<i>Tabla 35 Población de diseño</i>	71
<i>Tabla 36 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar (artículo 33- resolución 0990-2017)</i>	72
<i>Tabla 37 Calculo consumo total</i>	72
<i>Tabla 38 Calculo caudales de diseño</i>	73
<i>Tabla 39 Datos de nuevo diseño canaleta Parshall</i>	74
<i>Tabla 40 Cálculos nuevo dimensionamiento</i>	74
<i>Tabla 41 Condiciones iniciales de diseño</i>	75
<i>Tabla 42 Diseño para la primera cámara</i>	79
<i>Tabla 43 diseño para la segunda cámara</i>	79
<i>Tabla 44 Diseño para la tercera cámara y pérdidas totales del sistema</i>	79
<i>Tabla 45 Velocidad máxima en la tubería de succión</i>	81
<i>Tabla 46 Longitudes equivalentes</i>	82
<i>Tabla 47 Datos de diseño bombeo</i>	84
<i>Tabla 48 Cálculos de bomba</i>	85
<i>Tabla 49 Sistema de bombeo</i>	86
<i>Tabla 50 Potencia de la bomba</i>	87

1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Apulo tiene en el casco urbano un acueducto municipal, que tiene como fuente receptora el río Calandaima, llegando por gravedad hasta la planta de tratamiento de agua potable y de allí por medio de bombeo llega a los usuarios en condiciones no aptas para el consumo humano, teniendo en cuenta, que el agua es un elemento fundamental en el día a día de la vida de los seres vivos. De acuerdo a los últimos estudios realizados por la Empresa de servicios públicos (EMPOAPULO), las muestras presentan contaminación en el cuerpo de agua, además sus características físicas no son aceptables llegando con bastante suciedad a los tanques de almacenamiento de los hogares.

En base a lo anterior, se evidencia que la planta no cumple con la totalidad de su funcionalidad, por ende, este proyecto investigativo plantea realizar un diagnóstico a la actual planta de tratamiento de agua potable del municipio, inspeccionando el proceso de tratamiento que se lleva a cabo en el cuerpo de agua y por medio de un análisis, percatarse de los elementos funcionales y no funcionales de la planta, de acuerdo a los no funcionales se recomendará un rediseño y a los funcionales tan solo una integración con los elementos anteriormente nombrados, esto con el fin de desarrollar una alternativa de disminución del costo a la restauración de la PTAP, para así cumplir con el objetivo principal que es la optimización de la misma, produciendo agua potable de buena calidad para el municipio.

1.1. ANTECEDENTES

En primer lugar se tiene que, el municipio de Apulo no cuenta actualmente con agua potable de buena calidad, ya que carece de buena funcionalidad en su infraestructura en tratamientos de estas aguas, por consiguiente el pueblo no cuenta con la certificación en aguas potables, es decir que no cuenta con una buena condición sanitaria de sistemas de abastecimiento de agua potable, tampoco con la calidad sanitaria del agua para uso y consumo humano, por lo tanto la alcaldía y administración del municipio, pretende mejorar este aspecto con un lapso que se espera cumplir antes del 2026, para así tener un buen plan de desarrollo.

Cabe destacar que en el año 2016, se obtuvo información sobre la calidad del agua en el transcurso de todo el año, demostrando un alto nivel de riesgo en los meses de enero, marzo, junio, julio y un nivel de riesgo medio en los meses febrero, abril, mayo, agosto, octubre, noviembre y diciembre. Por tal razón y de acuerdo a la información presentada se puede determinar que no se cumple a cabalidad con las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

Como segundo aspecto se tiene que, el municipio cuenta con una planta de tratamiento de agua potable que está conformada por una canaleta Parshall, sistema de cribado, un floculador convencional de tabiques, sedimentador convencional rectangular y filtros de lecho múltiple. Adicionalmente cuenta con un tanque de almacenamiento con capacidad de 276 m³ y un tanque de compensación de 510 m³ los cuales se encuentran en concreto semienterrados. La tubería de

conducción es en asbesto cemento con un diámetro de 10 a 12 pulgadas, con una edad aproximada de 30 años. De igual forma, la tubería de distribución cuenta con la misma edad. Está construida en asbesto cemento y PVC de 2, 3 y 4 pulgadas. 1Dicho sistema de la planta se encuentra en malas condiciones y debido a esto, la alcaldía del pueblo, requiere de estudios, diseños y reconstrucción de la PTAP, para así cumplir con dicho plan de desarrollo del municipio.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Descripción del problema

La planta de tratamiento de agua potable de Apulo, actualmente está en funcionamiento, pero esto no significa que está cumpliendo con los aspectos por la que fue construida, debido a que su estructura está deteriorada, ya que culminó con su vida útil y por ende no abastece al municipio con agua potable de buena calidad.

La Contraloría de Cundinamarca soporta lo anteriormente dicho, ya que, maneja información suministrada por la empresa de servicios públicos EMPOAPULO S.A e información de una visita de campo realizada por la misma, afirmando, que la planta necesita de la optimización y de un adecuado mantenimiento. Al no realizarse estas adecuaciones no se garantiza que en todo el año, se suministre agua apta para el consumo humano en términos de calidad.²

1.2.2. Formulación del problema

¿Al realizar el diagnóstico y optimización de los elementos estructurales e hidráulicos de la planta del municipio de Apulo, como herramienta de investigación, puede ser esta utilizada en el futuro para hacer la rehabilitación de la misma?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Realizar el diagnóstico y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Apulo - Cundinamarca

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar inspección visual a la actual PTAP con el fin de analizar y recolectar información necesaria para su evaluación.
- Determinar la calidad de agua a nivel fisicoquímico del afluente y efluente de la PTAP.

¹ MUNICIPIO DE APULO. Plan de desarrollo Apulo [en línea]. Apulo: La Alcaldía del Municipio [citado 6 septiembre, 2017]. Disponible en internet: < URL: http://apulo-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/36333638346431303066306537383166/Plan_de_Developmento_Apulo_2012_2015_1.pdf>

² CONTRALORIA DE CUNDINAMARCA. Auditoria gubernamental con enfoque integral [en línea]. Apulo: Entidad gubernamental [citado 10 octubre, 2017]. Disponible en internet: < URL: http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/attachment/002%20informes/008%20informe_anual_del_estado_de_los_recursos_naturales_y_del_ambiente_del_departamento_de_cundinamarca/2016/assets/informe-final-apulo.pdf>

- Proponer opciones para la optimización de la PTAP, teniendo en cuenta su diseño Hidráulico y Estructural de los componentes funcionales y no funcionales.
- Recomendar la opción más viable para la optimización de la PTAP con base en criterios económicos y ambientales.

1.4. JUSTIFICACIÓN

- **Conveniencia**

Es conveniente la realización del proyecto, ya que por medio de esto se generará una alternativa de diseño, con la intención de que sea utilizada para la optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Apulo.

- **Impacto en el medio**

La alternativa propuesta por el proyecto, si es utilizada en un futuro, se beneficiarán los habitantes de Apulo, ya que se les brindara un tratamiento confiable de agua potable, para que ellos la utilicen en actividades domésticas, aseo personal, consumo diario y también para las actividades de agricultura y ganadería.

- **Implicaciones prácticas**

La propuesta que se planteara en el documento consiste en resolver un problema existente en Apulo, que se basa en el mal funcionamiento de la PTAP.

- **Justificación teórica**

En el municipio de Apulo se tiene abundancia en recursos hídricos, sin embargo estos no manejan aguas de buena calidad, ya que en algunos de estos ríos, se descargan aguas residuales y en el peor de los casos, contaminantes químicos que afectan la calidad de la misma y debido a esto no es apta para el consumo humano, causando así enfermedades en el municipio, por lo que es necesario mejorar las condiciones del agua, con el objetivo de que este recurso sea aprovechado de la mejor manera por la población.

El pueblo de Apulo cuenta con una planta de tratamiento de agua potable que no cumple con su funcionalidad, ya que culmino con su vida útil, por lo que se justifica generar alternativas de optimización de dicha planta y en base a esto, procurar que las opciones anteriormente nombradas sean tomadas en cuenta para generar agua potable al municipio.

1.5. DELIMITACIÓN

1.5.1. Espacio

Para desarrollar del presente trabajo de grado, se deberá realizar un análisis tanto físico como químico de la PTAP, además se hará un diagnóstico para determinar la presencia de microorganismos patógenos, estos estudios serán realizados tanto en las instalaciones de la Universidad Católica De Colombia como en la planta, esto mediante equipo especializado y personal profesional. La planta está ubicada en el

municipio de Apulo – Cundinamarca, más exactamente en la vía que comunica Apulo con Anolaima.

1.5.2. Tiempo

El tiempo estimado para la realización y entrega del proyecto va desde el 04 agosto del 2017 hasta el 18 de mayo del 2018, las fechas podrán ser modificadas para la entrega por parte de la Universidad Católica De Colombia.

1.5.3. Contenido

En el presente proyecto se espera cumplir con las expectativas y objetivos propuestos por el documento, igualmente se tiene como perspectiva que los resultados obtenidos en esta investigación, sean de gran aprovechamiento para la optimización de la planta, para que en una proyección a futuro se utilice la investigación y se pueda tener agua potable de calidad, generando mejor calidad de vida para la población de Apulo.

1.5.4. Limitaciones

El documento se limitará al diagnóstico y optimización de la PTAP de Apulo, para desarrollar alternativas de diseño, también se limitara en la información que brinda la empresa de servicios públicos (EMPOAPULO) en relación con planos, calidad de agua y operación de la misma, además, se limitara con la disponibilidad de recursos que brinda la Universidad Católica De Colombia que se requieren para el proyecto.

1.6. MARCO DE REFERENCIA

1.6.1. Marco teórico

Al implementar una PTAP se debe garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, por este motivo se habla que un sistema de agua y saneamiento es sostenible cuando a lo largo de su vida proyectada suministra el nivel deseado de servicio, con criterios de calidad, eficiencia, economía y aspectos medio ambientales. Pero los proyectos de agua y saneamiento para comunidades tienen afectación sobre los malos manejos que se le da a las fuentes hídricas y su mal mantenimiento por este motivo se hace necesario la evaluación y optimización periódicamente de los proyectos para una correcta potabilización de agua, como es el caso de esta investigación en la PTAP de Apulo. La calidad del agua cruda oscila grandemente de una fuente a otra: por ello el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable también varía. Dependiendo de la calidad de agua cruda, el grado de complejidad del tratamiento es diferente. El diseño de una planta de tratamiento eficiente y con un factor económico requiere un estudio de ingeniería cuidadoso basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y económicos para producir agua de la calidad requerida. Como no existe una norma o fórmula que permita determinar el tipo de planta requerido para tratar un agua, es necesario realizar los estudios de

trazabilidad, Se han formulado criterios generales de tratamiento de agua cruda, según la calidad de la fuente, los cuales sirven como guía.³

Para el municipio de Apulo se cuenta con una PTAP de tipo convencional la cual es un sistema de tratamiento integrado que incluye todos los procesos para la obtención de agua potable, como los son: coagulación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtrado, clarificación, y desinfección. La PTAP de tipo convencional se debe diseñar de acuerdo al análisis de agua y trazabilidad y se debe hacer con sistema modular que incorpore las etapas del tratamiento y teniendo en cuenta que la PTAP del municipio de Apulo ya cumplió con su vida útil, es necesario evaluar y analizar la PTAP para realizar nuevos diseños de las estructuras que así lo requieran. En base a lo anterior es necesario establecer todas las formulas necesarias para el diseño de cada estructura, las cuales se van a presentar a continuación:

- **Captación**

Las obras de captación dependen de las características de la corriente, para seleccionar la captación adecuada, es importante tener en cuenta los problemas de los sedimentos que provocan y la magnitud de los caudales a captar. Las obras de captación se clasifican como: Captaciones laterales, Captaciones de fondo o sumergidas, Captación por lecho filtrante, Estaciones de bombeo, Captación por torre-toma en corrientes con regulación, Captación por sifón en corrientes con regulación, Captación en fuentes subterráneas.⁴ El municipio de Apulo tiene actualmente captación de fondo y captación lateral teniendo como fuente hídrica el río Calandaima. Seguido de la captación la corriente de agua recolectada pasa a un desarenador convencional el cual es un tanque, construido con el propósito de sedimentar partículas en suspensión por acción de la gravedad. Este elemento constituye un tratamiento primario de la purificación del agua. Dentro de las especificaciones de diseño la relación longitud ancho (L/B) debe ser 3/1 y 5/1, y la profundidad mínima 1,50m y como profundidad máxima 4,50m, la relación de la longitud y la profundidad de almacenamiento de lodos debe ser aproximadamente 10/1 y su profundidad debe estar entre 0,75m y 1,50m con unas pendientes de fondo entre 5 y 8% para que así los lodos rodeen fácilmente a la tubería de desagüe.

- **Coagulación:**

En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.⁵ Los mezcladores rápidos hidráulicos se utilizan cuando se dispone de suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada. La principal observación formulada, con respecto al diseño de mezcla rápida, radica en la

³ Romero Rojas, Jairo Alberto. Potabilización del agua. 3ed. bogota: editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. Pág. 15.

⁴ SALAZAR LEON, Juan camilo. Estructuras de Captación [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:<http://es.scribd.com/doc/62506469/ESTRUCTURAS-DE-CAPTACION>>. [Citado el 15 de Agosto de 2017]

⁵ ROMERO, Op.cit., p.43.

importancia de dispersar uniformemente el coagulante en el agua cruda de manera que se evite el sub tratamiento o el sobre tratamiento. La coagulación en el agua, con alumbre, ocurre predominantemente mediante dos mecanismos: adsorción de las especies hidrolizadas solubles sobre el coloide, con la consecuente desestabilización de éste, y coagulación de barrido, en la cual el coloide es atrapado dentro del hidróxido de aluminio precipitante.⁶El modelo básico de diseño fue formulado por Camp y Stein en 1943.El gradiente de velocidad es ampliamente aceptado, como un medio para calcular los requerimientos energéticos de mezcla.

— Para mezcladores hidráulicos:

$$G = \sqrt{\frac{gH}{vT}} = \sqrt{\frac{\rho gH}{\mu T}} = \sqrt{\frac{\gamma H}{\mu T}}$$

γ : Peso específico del agua N/m^3

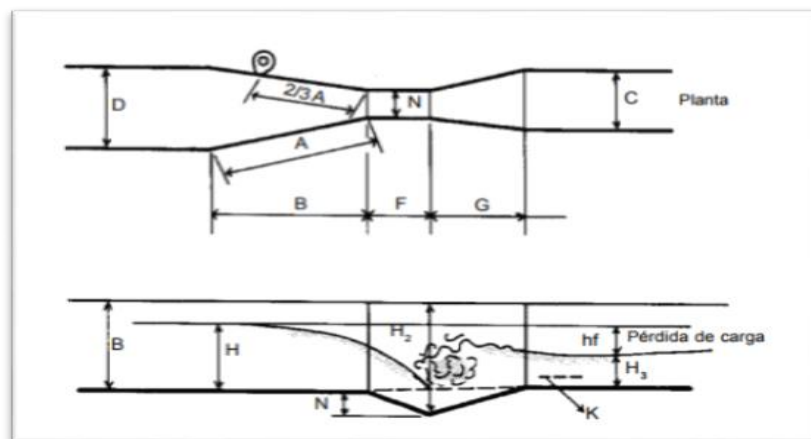
H: pérdida de energía debida a la fricción, m

T: tiempo de retención, S

G: gradiente de velocidad, S^{-1}

Para mezcladores hidráulicos son más aconsejables gradientes de velocidad entre 1000 y 2000 s^{-1} ; y cuando se utilizan canaletas Parshall, como sistema de mezcla rápida, la descarga debe ser libre y la profundidad del agua en la zona convergente de la canaleta debe hacerse mayor de 35 cm, para canaletas de ancho de garganta mayor o igual a 30 cm, con lo cual se obtienen pérdidas de energía mayores de 10,5 cm.

Ilustración 1 Canaleta Parshall



Fuente: Tratamiento de aguas residuales

⁶ Amirtharajah, A. y Mills, K. M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. Journal of the American Water Works Association. Vol. 74, abril, 1982, pp. 210-216.

El criterio para calcular la pérdida de carga en este tipo de unidades está dado por la fórmula de Belanger.

$$H = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

$$h_2 = -\frac{h_1}{2}(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1)$$

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{g h_1}}$$

h_1 : altura del agua en el resalto

h_2 : altura del agua después del resalto

v_1 : velocidad en el resalto

F : número de froude

El número de Froude para conseguir un resalto estable es de 2 a 3 para canaletas Parshall. El gradiente de velocidad óptimo para este tipo de unidades es de aproximadamente 1.000 s⁻¹. La única medida de carga H necesaria para conocer el caudal, se hace en la sección convergente, en un punto que se localiza a 2/3 de la dimensión B o a 2/3 de A.

Tabla 1 Relación de sumergencia

ANCHO DE GARGANTA (N)	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: Ministerio de desarrollo económico

- **Floculación:**

La PTAP de Apulo cuenta con un floculador de flujo horizontal el cual consiste en un tanque de concreto dividido pantallas de concreto o baffles, dispuestos en tal forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. En general, los floculadores hidráulicos, con una velocidad de flujo apropiado y un número adecuado de baffles para asegurar suficientes curvas, proveen una floculación efectiva y la aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.⁷ En la práctica, los floculadores

⁷ Básico, D. d. (2000). Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico, RAS2000. Bogotá: Ministerio de desarrollo.

hidráulicos de flujo horizontal se usan para Plantas pequeñas, caudales menores de 50 L/s.⁸

El número de colisiones está directamente ligado con el gradiente de velocidad y está controlado por dos procesos

1. intensidad de mezcla (velocidad)
2. periodo de agitación (tiempo)

Para una turbulencia hidráulica en un tanque con baffles se tiene:

Gradientes de velocidad:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma H}{uT}}$$

Donde:

u : viscosidad cinemática (m²/s)

T : tiempo nominal de retención (s)

γ : Peso específico del agua N/ m³

H : perdida de energía debida a la fricción, m

Pérdidas de carga total:

$$h = kN \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

K : constante empírica (0,35)

N : número de baffles

V : velocidad promedio del flujo $V = \frac{Q}{A}$

$$H = hf + h$$

Las pérdidas por fricción hf se calculan por la fórmula de hazem-williams con C : 50 para este tipo de floculador de flujo horizontal.

⁸ ROMERO, Op.cit., p.58.

Criterios de diseño

Tabla 2 Criterios de diseño

AUTOR	G (S ⁻¹)	T (MIN)	V (M/S)	H (HF+H) (M)
Smethurst	20 – 100	10 -60	0,15 - 0,5	0,15 - 0,6
Insfopal		15 - 60	0,15 - 0,45	0,9
Arboleda	10 – 100	15 - 20	0,1 - 0,6	
RAS 2000	20 - 70	20 - 30	0,2 - 0,6	

Fuente: Tratamiento de aguas residuales

Tabla 3 Longitud en (m) del canal requerido en floculadores hidráulicos

VELOCIDAD DEL FLUJO V(M/S)	TIEMPO DE DETENCIÓN (MINUTOS)			
	15	20	25	30
0.05	45	60	75	90
0.10	90	120	150	180
0.20	180	240	300	360
0.30	270	360	450	540
0.40	360	480	600	720
0.50	450	600	750	900
0.60	540	720	900	1080

Fuente: Tratamiento de aguas residuales

- **Sedimentación**

La función principal de la sedimentación es producir agua clarificada con turbiedad mínima, generalmente menos de 10 UNT, para una filtración posterior efectiva. En la (RAS 2000) se define la sedimentación como el proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua o partículas floculadas se separan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes. En el sedimentador se debe asegurar una distribución adecuada del caudal, minimizar los cambios bruscos de flujo, asegurar una carga de rebose apropiada sobre los vertederos efluentes y controlar las cargas superficiales y los tiempos de retención. Los sedimentadores convencionales como el que se encuentra en el municipio de Apulo se consideran divididos en cuatro zonas: zona de entrada, zona de salida, zona de lodos y zona de sedimentación.

-Diseño de sedimentador convencional

Carga superficial: velocidad crítica mínima de sedimentación (70 – 98%) de partículas en suspensión. El tipo de instalación de la PTAP de Apulo tiene una operación precaria con una carga superficial de 20-30 m³/m²/día se espera tener una Instalación proyectada con nueva tecnología, con operación razonable con carga superficial de 30-40 m³/m²/día.

- Zona de entrada

Gradiente de velocidad: 20 – 40 s⁻¹

Diseño de tabiques difusores:

$$G = \sqrt{\frac{f v^3}{v 8R}}$$

En donde:

f: coeficiente entre 0,02 – 0,04

V: Viscosidad cinemática

v: Velocidad del flujo en los orificios

R: Radio hidráulico

- Hidráulica en la zona de salida

-Salida por orificios:

$$Q = 4,43 CA \sqrt{\Delta h}$$

Donde:

A: Área del orificio (m²)

Δh : Pérdida de carga en el orificio o diferencia de nivel (m)

C: Coeficiente (0,6 – 0,8)

- Zona de lodos

Fuerza tractora promedio por unidad de longitud:

$$\tau = \gamma R h_f$$

Donde:

γ : Peso específico del líquido

R: Radio medio hidráulico (a/p)

h_f: Pérdida de carga

Pendiente de fondo

$$h_f = \frac{f}{4R} \frac{v_a^2}{2g}$$

Donde:

f: 0,03 (para concreto)

R: Radio medio hidráulico (a/p)

v_a^2 : Velocidad de arrastre de partículas

g: Gravedad

Velocidad de arrastre de partículas:

$$v_a = \sqrt{\frac{8K}{f} g (S_s - 1)d}$$

Donde:

K: Coeficiente (0,04 partículas discretas y 0,06 sedimentos de solidos floculantes)

V_a: Velocidad de arrastre (0,5 cm/s - 3 cm/s)

S_s: Solidos Suspendidos

d = Diámetro de la partícula.

- **Filtración:**

Los sistemas de filtración tienen como objetivo retirar los contaminantes, bacterias o virus que trae el agua pasándola a través de lechos filtrantes conformados por material granular, en la filtración lenta en arena no tienen fase de coagulación y, usualmente, tampoco tienen un paso de sedimentación. Se induce el paso lento y descendente del agua a través de un lecho de arena. La mayoría de los sistemas de filtración usan el “retro lavado” para limpiar el sistema. Esto produce aguas de desecho que se deben manejar adecuadamente.⁹

La PTAP de Apulo tiene un filtro convencional de arena y grava, Los filtros convencionales, constan de un tanque rectangular de concreto de 3.5 a 5 m de profundidad total, el cual tiene un lecho de arena y grava sobre el sistema de drenaje, el flujo de agua pasa de la parte superior del tanque, que tiene una profundidad de 0.50 a 2.00m.

⁹ GLOBAL HEALTH AND EDUCATION FOUNDATION. Sistemas de Filtración [En Línea]. Disponible en Internet: < <http://www.drinking-water.org/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html>>. [Citado el 10 de octubre de 2017]

Tabla 4 Principales características de filtros

CARACTERÍSTICA	FILTROS LENTOS DE ARENA	FILTROS RÁPIDOS DE ARENA	FILTROS DE ALTA TASA
Tasa de filtración	2-5 (< 12 m/d)	120m/d	180-480 m/d
Medio de filtración	Arena	arena	Arena y antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado: Fino a grueso	Estratificado: grueso a fino
Duración carrera	20-60 días	12-36 horas	12-36 horas
Perdida de carga	Inicial 0,6 m 1,2m	Inicial: 0,3 m 2,4-3m	Inicial: 0,3 Final: 2,4-3m
Agua de lavado	No usa	2-4% del agua filtrada	6% del agua filtrada
Profundidad del medio	0,6-1,0m	0,60-0,75 m	Antracita 0,4 -0,6 m Arena 0,15-0,3 m
Profundidad de grava	0,30 m	0,30-0,45 m	0,30-0,45 m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada Falsos fondos	Tubería perforada Falsos fondos

Fuente: Tratamiento de aguas residuales

- Ecuaciones de diseño

-Velocidad superficial, (m/s):

$$V = K \frac{h}{L}$$

Donde:

h : pérdida de carga en el lecho, m

L : Profundidad del lecho, m

K : Coeficiente de permeabilidad, m/s

Para determinar la pérdida por fricción a través del lecho del material granular, donde son granos de arena esféricos de tamaño uniforme Rose determino las siguientes ecuaciones.

Perdida de carga en el lecho, (m)

$$h = 1.067 * C_D * \frac{1 * L * V^2}{e^4 * d * g}$$

Coeficiente de arrastre

$$C_D = \frac{24}{N_{RE}} + \frac{3}{\sqrt{N_{RE}}} + 0.34$$

Numero de Reynolds

$$N_{RE} = \frac{p * V * D}{\mu} = \frac{v_d}{\nu}$$

Donde:

e : Porosidad del lecho, m

V : Velocidad de filtración, m/s

L : Profundidad del lecho, m

g : Aceleración de la gravedad, m/s

p : Densidad del agua, Kg/m³

ν_d : Viscosidad dinámica, Pa*s

d : Diámetro característico de los granos, m

ν : Viscosidad cinemática, m²/s

Si todos los granos del lecho filtrante son de tamaño y forma uniforme, el valor de $\frac{A}{V}$ para un solo grano es el mismo que para el lecho total y se cumple la ecuación.

$$d = \frac{\alpha}{\beta} * \frac{V}{A}$$

Si los granos del lecho filtrante varían en tamaño, pueden estar empaquetados homogéneamente dentro del lecho, este proceso se evidencia en filtros lentos, o también puede estar estratificado por tamaño, es el caso de los filtros rápidos.

Tabla 5 Valores aproximados de factores de forma para arena

TIPO DE ARENA	B	A/B	ψ
Angular	0,64	6,9	0,81
Afilada	0,77	6,2	0,85
Erosionada	0,86	5,7	0,89
Redondeada	0,91	5,5	0,91
Esférica	0,52	6	1

Fuente: Tratamiento de aguas residuales

- **Cloración:**

Generalmente el cloro se lleva a cabo después de la filtración, el cloro se agrega cuando el agua entra a un depósito cualquiera que sea el método implementado, el cloro o la sustancia liberadora de cloro debe estar en contacto con el agua por lo menos 30 minutos, este tiempo de contacto del cloro con el agua se define como la diferencia en que se agrega el cloro hasta que llega al primer consumidor de la red de distribución, el trabajo del inspector sanitario no es solo verificar que se está llevando a cabo la cloración si no también determinar si es continua la cloración, y si el equipo de dosificador funciona con su total capacidad, y que si está liberando

suficiente compuesto de cloro para que dure hasta que llegue la siguiente remesa, se recomienda llevar registros de la cloración de forma diaria.¹⁰

Para el sistema de cloración que es por medio de aparatos especiales, vienen calibrados en libras o kilogramos por día u hora, para calcular la capacidad en kg/día se tiene en cuenta la siguiente ecuación.

$$\text{Capacidad} = \frac{\rho * C}{1000}$$

Dónde:

ρ : Flujo de la planta, m³/día

C: Dosis de cloro promedio, mg/l

1.6.2. Marco conceptual

Es necesario tener un conocimiento previo sobre conceptos principales que se van a tratar en la evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Apulo, para poder realizar una correcta investigación del proyecto.

Agua dura. Agua que contiene cationes divalentes y sales disueltas en concentraciones tales que interfieren con la formación de la espuma del jabón.

Alcalinidad. Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (co3²⁻), bicarbonatos (hco3⁻), hidróxidos (oh⁻) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (Ca Co3).

Análisis físico-químico del agua. Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Análisis microbiológico del agua: pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

Análisis organoléptico. se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos en el agua.

Coagulación: Proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

Eficiencia de tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

¹⁰ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogotá D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.60.

Filtración: Mecanismo de tamizado o micro-cribado por acción conjunta de aspectos físicos, químicos y hasta biológicos.

Floculación: Es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

Gradiente de velocidad: El gradiente de velocidad se usa para calcular los requerimientos energéticos de la mezcla fue formulado por Camp y Stein en 1943

Mezcla rápida. Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua.

Mezcla lenta. Agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos.

Número de froude. Relación entre las fuerzas inerciales y la fuerza de gravedad. $fr = v^2 / (l \cdot g)$ donde v es la velocidad, l la longitud característica y g la constante de la gravedad.

Número de Reynolds. Relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas de fricción.

Pérdida de carga. Disminución de la energía de un fluido debido a la resistencia que encuentra a su paso.

Sedimentación: Proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad.

Partículas disueltas: Son aquellas partículas presentes en el agua como iones o átomos. Para su eliminación se utiliza el proceso de intercambio iónico, también osmosis inversa, o electrodiálisis entre otros. Su tamaño generalmente es menor a una milimicra.

Partículas Coloidales: Los coloides son sustancias que más se contienen en el agua cruda o sin tratamiento. En el agua forman dispersiones, y de acuerdo al tipo de dispersión.

Partículas suspendidas: Son aquellas partículas de mayor tamaño ($d > 1 \mu$) que están comúnmente asociadas con la turbiedad del agua. Una fracción de las mismas son removibles por sedimentación, pero otras requieren la adición de sustancias coagulantes para propiciar su aglutinamiento.

Pérdida de carga. Disminución de la energía de un fluido debido a la resistencia que encuentra a su paso.

Potencial de hidrógeno (pH): Expresión de la intensidad de la condición básica o ácida de un líquido.

Prueba de jarras. Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

Punto de muestreo. Sitio específico destinado para tomar una muestra representativa del cuerpo de agua.

Tiempo de retención hidráulica: Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

Turbiedad: Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

Resalto hidráulico: Discontinuidad de la superficie del agua en la cual el flujo pasa de una manera abrupta de un régimen rápido (supercrítico) a un régimen tranquilo (subcrítico) y depende del número de Froude.

1.7. METODOLOGÍA

La metodología que se llevara a cabo contiene la evaluación y diagnóstico general de la PTAP, para realizar su respectivo análisis y formular alternativas de optimización para la PTAP, la metodología se divide en 6 fases en las cuales se tiene en cuenta varios aspectos y un tiempo estimado. Luego de realizar el respectivo documento y trabajo de investigación se presentará a la universidad católica de Colombia y demás autoridades competentes principalmente del municipio de Apulo.

Fase 1: (visita de campo 1)

Se va a realizar inicialmente una investigación de trabajo de campo mediante la visita a la PTAP de Apulo con el objetivo de recolectar información necesaria como documentación, información técnica, componentes de la planta, antecedentes, inspección visual, manejo actual de PTAP, para hacer un diagnóstico preliminar.

Fase 2: (análisis de información preliminar)

En base a la investigación de trabajo de campo se hará el análisis de la información recolectada teniendo un enfoque en los componentes de la planta que presentan deterioro y mal funcionamiento.

Fase 3: (visita de campo 2)

Se realizará una segunda visita de campo a la PTAP de dos días, en un día se planea recolectar información técnica de los elementos y estructuras de la PTAP realizando levantamiento de estructuras hidráulicas, se tomarán medidas a las estructuras, se verificará dosificaciones de químicos aplicados. La evaluación se hará teniendo un mayor enfoque en las estructuras deterioradas y que presentan mal funcionamiento.

En el segundo día de la visita se tiene programado recolectar muestras de agua del afluente y efluente para hacer su análisis fisicoquímico que comprende en realizar

los ensayos de: temperatura, conductividad, alcalinidad, turbiedad, acidez, solidos totales, solidos suspendidos, solidos volátiles, cantidad de hierro, cantidad de aluminio, analizar su PH, color y por ultimo realizar el ensayo de test de jarras. Los ensayos se realizaran en el laboratorio de la PTAP del municipio de Apulo bajo previa autorización y en el laboratorio de la universidad católica.

Fase 4: (análisis de información detallada y desarrollo del informe)

Con la información técnica recolectada en la segunda visita se va a realizar el respectivo análisis de datos y el desarrollo del informe para la optimización de la PTAP en donde se va a proponer opciones para la optimización teniendo en cuenta los lineamientos de las estructuras hidráulicas, diseños de optimización y cálculo de los parámetros de diseño en plantas de tratamiento de agua potable.

Fase 5: (entrega de informe final)

Se hará entrega del informe final detallado en donde se encontrara alternativas de optimización para la PTAP del municipio de Apulo en base a los estudios y diseños realizados para así determinar y recomendar la opción más viable para la optimización de la PTAP teniendo en cuenta criterios económicos y ambientales.

Fase 6: (aprobación y sustentación del proyecto)

Se espera que con la entrega final del informe, este sea aprobado y calificado para su respectiva socialización y sustentación. La fecha prevista para esta fase puede variar dependiendo las fechas que se tengan previstas por parte de la universidad católica de Colombia para este fin.

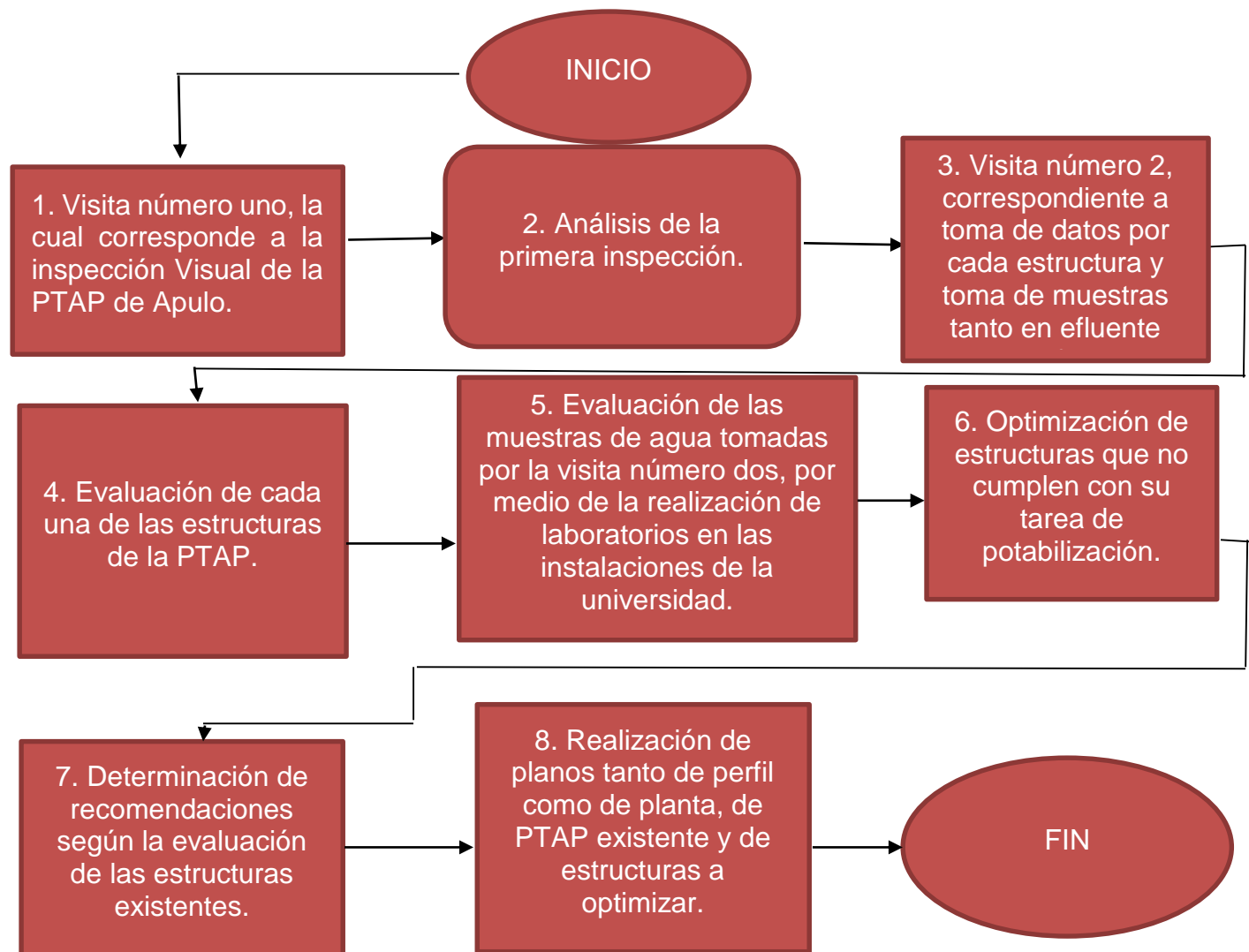
1.7.1. Tipo de estudio

Diagnóstico y optimización de las estructuras existentes, además análisis fisicoquímico tanto afluente como efluente de la PTAP del municipio de Apulo.

1.7.2. Fuentes de información

Para el proceso de la presente investigación se tuvo en cuenta las tesis encontradas en la base de datos de la Universidad Católica de Colombia, también como referencia se tuvieron en cuenta la norma colombiana como: la (Resolución 0330), donde se encontraron los parámetros de diseño, para cada una de las estructuras presentes en una planta potabilizadora de agua.

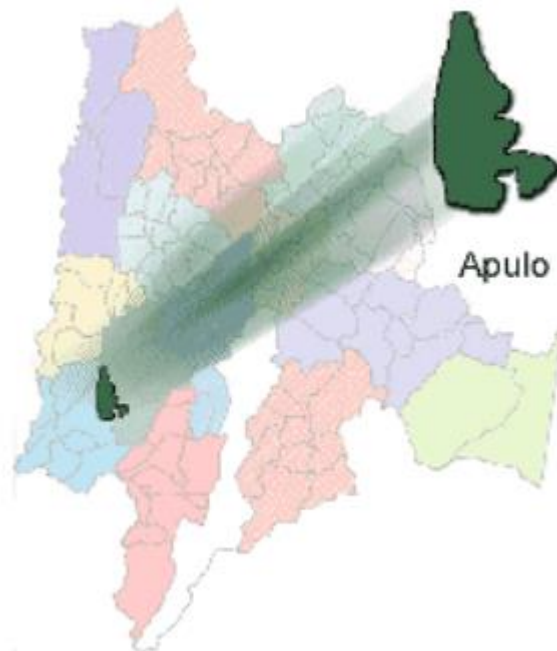
1.8. DISEÑO METODOLÓGICO



2. INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO, FUENTE HIDRICA Y PTAP DE APULO.

2.1. Geografía

Ilustración 2 Municipio de Apulo



Fuente: <http://www.apulo-cundinamarca.gov.co>

El municipio de Apulo está localizado en la provincia del Tequendama a dos horas y media de Bogotá D.C, a una altura de 420 m.s.n.m con latitud de 4°31", longitud 74°36".

Límites del municipio: Norte: Anapoima Oriente: Anapoima y Viotá Sur: Viotá y Tocaima Occidente: Tocaima y Jerusalen

Extensión total: 12.240,10 Ha Km²

Extensión área urbana: 209,03 Ha Km²

Extensión área rural: 12.031.07 Ha Km²

Temperatura media: 27°C.¹¹

2.2. Aspectos Económicos

La economía existente en el municipio de Apulo está establecida por: la agricultura, piscicultura, granjas avícolas, silvicultura y pecuaria. En el sector urbano predomina la cestería. Con base al sector de la economía del municipio, este ha tenido un comportamiento similar al resto del país, con una caída de la tasa de empleo, cierre

¹¹ ALCALDIA DE APULO. Información general [en línea], Apulo: Alcaldía [citado 10 marzo, 2018]. Disponible en internet: < URL: <http://www.apulo-cundinamarca.gov.co.pdf>>

de establecimientos comerciales y distribución de la actividad productiva y comercial. Según el último censo DANE, Apulo tiene 37% de población económicamente activa (En su mayoría el empleo que tienen en los municipios aledaños como Anapoima y la Mesa) y el 36% de la población informo no tener ninguna ocupación, determinándose una alta dependencia económica en las unidades familiares.¹²

2.3. Ecología

“Las formas de la tierra que presentan en el municipio incluyen desde paisajes de montaña con relieve quebrado o escarpado, valles aluviales de topografía plana, hasta formas de colina a relieve ondulado. En el municipio, predominan las formas de colinas, especialmente las laderas con influencia coluvial; además de las formas de montaña y las formas aluviales.”¹³

2.4. Descripción fuente hídrica

Los municipios Apulo, Viota, Anapoima y tocaima, han venido sufriendo, en los últimos años, de una insuficiencia en el recurso hídrico para el consumo, esencialmente en los periodos secos de enero-febrero y julio-agosto. A la problemática se suma la imposibilidad de utilizar para el abastecimiento la principal fuente constituida por el rio Bogotá, dado su estado de contaminación. Por ello la opción más viable para algunos municipios es el Rio Calandaima.

2.5. Características de la cuenca

“La cuenca del rio Calandaima presenta las siguientes características morfo métricas calculadas, tales como las cotas mayor y menor, el área tributaria; la pendiente media de la subcuenca, la longitud del cauce principal, el perímetro, la densidad de drenajes, índice de compacidad.”¹⁴ Véase en la siguiente tabla.

Tabla 6 Características morfométricas de la cuenca

CUENCA	PENDIENTE MEDIA			AREA (Km ²)	PERIMETRO (Km)	PATRON DE DRENAJE*	LONGITUD DE DRENAJES (Km)	DENSIDAD DE DRENAJE (m/Km ²)	LONGITUD CAUCE PRINCIPAL (Km)	PENDIENTE MEDIA CUENCA (m/Km)	ALTURA MEDIA CUENCA (m)	FORMA DE LA CUENCA			INDICE DE TORRENCIALIDAD	Tc (minutos)	Velocidad (m/s)
	COTA MAYOR (m)	COTA MENOR (m)	PENDIENTE MEDIA (m/m)									LONGITUD AXIAL CUENCA (m)	ANCHO CUENCA (m)	INDICE DE GRAVELIUS			
RIO CALANDAIMA	2.800	450	0,14	268	78	Sp	641	2.387	25	17,26	1.625	17.085	15.608	1,34	2,43	212	1,93

Fuente: Alternativas del recurso hídrico en la cuenca del rio Calandaima en Cundinamarca-Colombia.

Con base en (véase la tabla 6), se procede a describir cada uno de los datos obtenidos por la misma:

¹² Ibid., p.1.

¹³ Ibid., p.1.

¹⁴.MENDEZ, Lady. Alternativas del recurso hídrico en la cuenca del rio Calandaima en Cundinamarca-Colombia. Bogota: Universidad Militar nueva Granada, 2014, p. 4

- Área: El área de drenaje es el área plana sobre una proyección horizontal, incluida dentro de su divisoria de aguas. (Km²).
- Cota mayor: es la mayor altura a la cual se encuentra la divisoria de aguas (m.s.n.m.).
- Cota menor: es la cota a la cual entrega sus aguas al Río Bogotá (m.s.n.m.).
- Pendiente media: la pendiente del cauce principal está definida como la variación de altura por unidad de longitud del fondo del cauce principal. (m/m).
- Perímetro: es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. (Km).
- Patrón de drenaje: es la característica del drenaje que sigue el curso principal.
- Longitud de drenajes: es la longitud total de los cursos de agua de la cuenca. (Km).
- Densidad de drenaje: es la relación entre la longitud total de los recursos de agua de la cuenca y su área total.
- Longitud cauce principal: se define como el recorrido total del cauce principal, hasta su desembocadura. (Km).
- Longitud axial: esta se mide cuando se sigue el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante en la hoya. (m).
- Ancho medio: se obtiene cuando se divide el área por la longitud axial de la hoya.
- Índice de Gravelius: es la relación entre el perímetro de la cuenca (longitud de la divisoria de aguas) y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca.
- Sinuosidad de las corrientes de agua: es la relación entre la longitud del río principal medida a lo largo del cauce y la longitud del valle del río principal en línea recta desde su nacimiento hasta su desembocadura.¹⁵
- Tiempo de concentración: está íntimamente relacionado con la forma de la cuenca y se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que la totalidad de la cuenca contribuya al drenaje, o en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la divisoria de aguas hasta llegar a la salida de la misma.
- Índice de Torrencialidad: resulta de dividir el número de cauces de primer orden (torrentes iniciales) entre la superficie de la cuenca. Un índice alto, indica torrencialidad y rápida evacuación de caudales y sedimentos.¹⁶

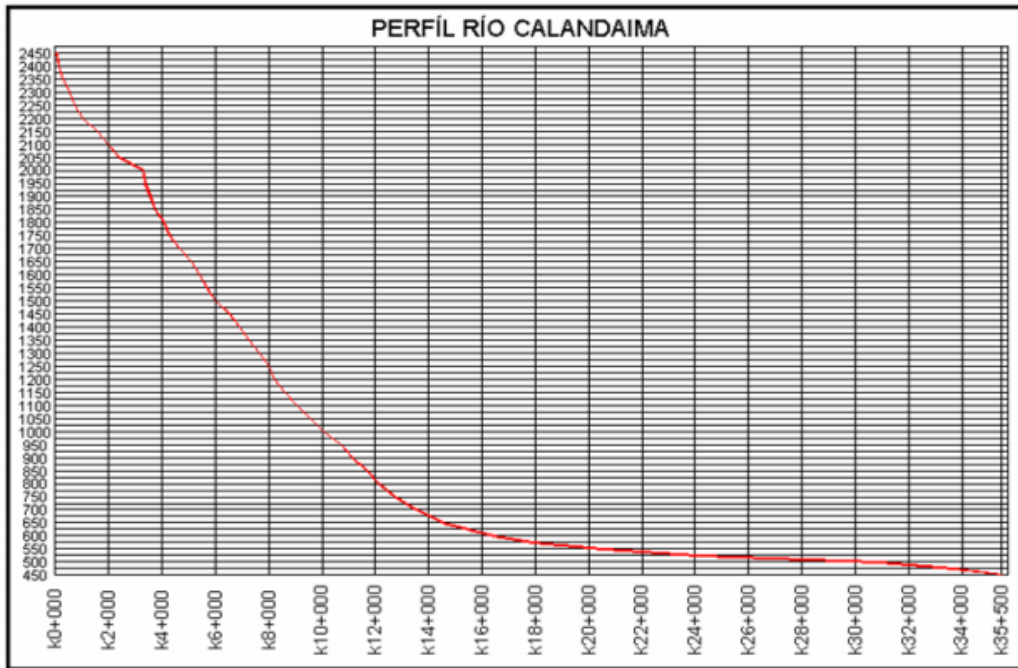
De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se puede decir que la cuenca es de tipo redondeado, encontrándose sus cabeceras sobre la cota 2.800 m.s.n.m., y su cota más baja sobre los 450 m.s.n.m. la altura media está en los 1.625 m.s.n.m. presentando un drenaje superficial rápido y de tipo sinuoso.¹⁷

¹⁵ MENDEZ. Op.cit.,p.4

¹⁶ MENDEZ. Op.cit.,p.5

¹⁷ Ibid., p.5.

Ilustración 3 Perfil Longitudinal Rio Calandaima



Fuente: Alternativas del recurso hídrico en la cuenca del río Calandaima en Cundinamarca-Colombia.

Estado actual del Río Calandaima:

Ilustración 4 Río Calandaima



Fuente: Los Autores

Como se observa (véase ilustración 4) el río Calandaima no posee agua de calidad, esto es causado por los residuos líquidos de letrinas descargados allí, la disposición de residuos sólidos a cielo abierto y por falta de protección en los pozos de

extracción. El cuerpo de agua se ve también amenazado, por la contaminación con aguas residuales de las municipalidades que no poseen planta de tratamiento, los lixiviados generados por la incorrecta disposición de residuos sólidos domésticos y los de las actividades agrícolas, por ende, no es una fuente hídrica confiable para el consumo humano.¹⁸

2.6. Descripción de la PTAP existente

Con base en la metodología establecida, se tiene en cuenta la primera fase, donde se contempla la primera inspección a la planta, la cual se hace con el fin de conocer y analizar la estructura de potabilización de agua, de manera visual.

Se ejecuta la respectiva inspección a las instalaciones de la PTAP, cuya vía de acceso se encuentran pavimentada y es de fácil acceso, se encuentra con cerramiento, portón de ingreso, cerco perimetral, se evidencia sistema de iluminación, normalmente se llevan a cabo registros de ensayos de pH y turbiedad, tienen adecuados equipos de laboratorio (Pruebas de Jarras, pH Turbiedad); el agua es captada a través de una bocatoma de fondo. Dicha bocatoma es compartida con el municipio de Tocaima al igual que el caudal captado en una proporción de 30% para el municipio de Apulo y 70% para el municipio de Tocaima. El agua es conducida a un tanque desarenador por gravedad, que se encuentra construido a 5 metros aproximadamente de la misma; de éste, 25 litros por segundo actualmente son conducidos a la PTAP ubicada a 22 km de la bocatoma; es de tipo convencional, su estructura está compuesta por una canaleta parshall, un floculador convencional de tabiques, sedimentador convencional rectangular y filtros de lecho múltiple (arena y antracita). Adicionalmente cuenta con un tanque de almacenamiento con capacidad de 276 m³, el cual se encuentran en concreto semienterrado. La tubería de conducción es en asbesto cemento con un diámetro de 10 a 12 pulgadas, con una edad aproximada de 30 años. De igual forma, la tubería de distribución cuenta con la misma edad, está construida en asbesto cemento y PVC de 2, 3, 4 y 6 pulgadas.

¹⁸ MENDEZ. Op.cit.,p.3

3. DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAS EXISTENTES.

3.1. Captación (Bocatoma de fondo).

La captación de agua se ejecuta en el río Calandaima por medio de una bocatoma de fondo, la cual presenta deterioro y pérdida de unidades. Lo cual facilita el ingreso de materiales flotantes de tamaño significativo lo que ocasiona represamientos y sobrecargas en el desarenador, es necesario realizar un nuevo estudio para el rediseño y construcción de la rejilla.

Ilustración 5 Bocatoma de rejilla de fondo



Fuente: Los Autores

La estructura atraviesa transversalmente el río Calandaima, con el fin de retener el agua para que sea captada con mayor facilidad.

Ilustración 6 Bocatoma de fondo.



Fuente: Los Autores

Ilustración 7 Rejilla



Fuente: Los Autores

En (véase la ilustración 7), se observa como es captada el agua y como la rejilla no influye en este proceso, debido a que fue diseñada sobre la estructura enrocada y no tiene ningún contacto con la fuente hídrica, gracias a que el diseño de este armazón fue elaborado con base a condiciones climatológicas desfavorables constantes, es decir, épocas de lluvia en donde el cuerpo de agua aumenta,

causando que la estructura metálica cumpla con su funcionalidad, como se observa en la siguiente ilustración.

Ilustración 8 Bocatoma años atrás



Fuente: umbpractica.blogspot.com.co

Sin embargo, no fue tomado en cuenta las condiciones desfavorables para el diseño, por ende no cumple con su objetivo principal. Por consiguiente la captación se elabora por medio de una tubería que se encuentra en la parte inferior del enrocado. Luego esta se conecta con paso directo a una cámara de quietamiento.

3.2. Cámara de quietamiento

Elemento estructural diseñado con el fin de disipar la energía del líquido y la velocidad del mismo. Luego de este elemento el agua es transportada al canal de aducción, unidad laborada en concreto y que al igual que la rejilla se encuentra en mal estado.

Ilustración 9 Paso directo a la cámara de recolección



Fuente: Los Autores

Seguidamente a esta estructura, se procede a un canal de aducción y finalmente se conecta al desarenador.

3.3. Desarenador

La unidad de desarenador se encuentra a 200 metros de la zona de captación el agua es conducida por medio de una línea de aducción de gres de 12", el desarenador presenta desgaste estructural y gran acumulación de sedimentos, es necesario realizar un nuevo estudio para el rediseño del desarenador para cumplir con los criterios de remoción de sedimentos al igual que realizar un análisis para su mantenimiento periódico.

Ilustración 10 Desarenador



Fuente: Los Autores

En (véase la ilustración 10), se visualiza como la estructura no posee cámara de entrada, ni control de excesos ni pantallas como un desarenador convencional las tendría. Posteriormente el agua es conducida hasta la planta por efecto de la gravedad, esto por medio de una tubería.

Luego del proceso de captación, el agua llega al repartidor de caudales (véase la ilustración 11), debido a que el acueducto es utilizado para dos municipios Apulo, Tocaima, por consiguiente alimenta dos plantas de tratamiento.

Ilustración 11 Repartidor de caudales



Fuente: Los Autores

Como se puede contemplar es un componente elaborado en concreto, se encuentra en mal estado y no posee todos sus mecanismos de protección.

Seguidamente el agua llega a las instalaciones de la planta de Apulo, por medio de una tubería y por efecto de la gravedad.

3.4. Canaleta Parshall

El flujo de agua llega principalmente a la canaleta parshall, componente en concreto reforzado, cuenta con una tubería de entrada del agua cruda de 8 pulgadas de diámetro.

Ilustración 12 Canaleta Parshall



Fuente: Los Autores

Estructura hidráulica, diseñada con el fin de crear un resalto hidráulico, de esa forma, la turbulencia realizada se aprovecha para adicionar la disolución del coagulante para así mismo formar los flocs, también es utilizada para aforar el caudal que entra a la misma estructura.

Cálculos de diseño

El diseño de la presente estructura, se basa en los siguientes pasos:

1. Definir el caudal que llega y pasa por la Canaleta.
2. Con base al anterior criterio se define el ancho de la garganta. véase en la siguiente tabla.

Tabla 7 Límites de caudales según el ancho de la garganta

Ancho W (Pulg)	Límites de caudal (L/s)	
	Q Mínimo	Q Máximo
1	0,28	5,67
2	0,57	14,15
3	0,85	28,31
6	1,42	110,44
9	2,58	252
12	3,11	455,9
18	4,24	696,5
24	11,9	937,3
36	17,27	1427,2
48	36,81	1922,7
60	45,31	2424
72	73,62	2931

Fuente: Tratamiento de aguas residuales

3. Según el ancho de la garganta, se establece el demás dimensionamiento de la unidad potable, mediante la siguiente tabla.

Tabla 8 Dimensionamiento Canaleta Parshall

W	(cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1 (Pulg)	2,5	36,6	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
2 (Pulg)	5,1	41,4	40,6	13,5	21,4	35,6	11,4	25,4	2,2	4,3
3 (Pulg)	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
6 (Pulg)	15,2	62,1	61	39,4	40,3	45,7	30,5	61	7,6	11,4
9 (Pulg)	22,9	88	86,4	38	57,5	61	31	45,7	7,6	22,9
1 (Pie)	30,5	137,2	134,4	61	84,5	91,5	61	91,5	7,6	22,9
1(1/2) (Pie)	45,7	144,9	142	76,2	102,6	91,5	61	91,5	7,6	22,9
2 (Pie)	61	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9
3 (Pie)	91,5	167,7	164,5	122	157,2	91,5	61	91,5	7,6	22,9
4 (Pie)	122	183	179,5	152,2	193,8	91,5	61	91,5	7,6	22,9
5 (Pie)	152,5	198,3	194,1	183	230,3	91,5	61	91,5	7,6	22,9
6 (Pie)	183	213,5	209	213,5	266,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9
7 (Pie)	213,5	228,8	224	244	303	91,5	61	91,5	7,6	22,9
8 (Pie)	244	244	239,2	274,5	340	91,5	61	91,5	7,6	22,9
10 (Pie)	305	274,5	427	366	475,9	122	91,5	183	15,3	34,3

Fuente: Tratamiento de aguas residuales

El dimensionamiento estipulado en (véase la tabla 8), se ve reflejada en la (véase ilustración 1).

4. Como primer cálculo, se obtiene la lámina de agua (ha): La ecuación requerida para este parámetro, es determinada según el caudal y ancho de la garganta:

Tabla 9 Determinación de lámina Ha

ANCHO DE LA GARGANTA (CM)	ECUACIÓN	CAPACIDAD (L/S)
2,5 (1")	$Q = 0,55Ha^{1,5}$	0,3-5
5 (2")	$Q = 0,110Ha^{1,5}$	0,6-13
7,6 (3")	$Q = 0,176Ha^{1,547}$	0,8-55
15,2 (6")	$Q = 0,381Ha^{1,58}$	1,5-110
22,9 (9")	$Q = 0,535Ha^{1,53}$	2,5-250
30,5 (12")	$Q = 0,690Ha^{1,522}$	3,1-455
45,7 (18")	$Q = 1,054Ha^{1,538}$	4,3-700
61 (24")	$Q = 1,426Ha^{1,55}$	12-950
91,4 (36")	$Q = 2,182Ha^{1,566}$	17-1.400
121,9 (48")	$Q = 2,935Ha^{1,578}$	37-1.900
152,4 (60")	$Q = 3,728Ha^{1,587}$	60-2.400
182,8 (72")	$Q = 4,515Ha^{1,595}$	70-2.900
213,4 (84")	$Q = 5,306Ha^{1,601}$	115-3.450
243,8 (86")	$Q = 6,101Ha^{1,606}$	130-3.950
305 (120")	$Q = 7,463Ha^{1,6}$	250-5.660

Fuente: Tratamiento de aguas residuales

Q en m³/s, ha en m.

De acuerdo a la ecuación que se requiera, se procede a despejar el dato incognito.

5. Consecuente, el cálculo la canaleta en la sección media

$$Wa = 2/3(D - W) + W$$

6. Determinación de la velocidad en la sección medida

$$Va = \frac{Q}{Wa * ha}$$

7. Valor de la energía total disponible
Empleando Bernoulli

$$E1 = \frac{V1^2}{2g} + ha + N$$

8. Determinación de la velocidad antes del resalto

Desprendiendo de la siguiente ecuación:

Empleando Bernoulli

$$E1 = \frac{V1^2}{2g} + h2$$

Ecuación de velocidad:

$$V2 = \frac{Q}{W * h2}$$

Debido a que existe una incógnita en la ecuación (h2), se procede a igualar las energías específicas (E1=E2)

$$E1 = \left(\frac{Q}{W * H2}\right)^2 * \left(\frac{1}{2 * 9.81}\right) + h2$$

Como resultado se obtiene una ecuación cubica:

$$H2^3 \pm H2^2 \pm H2 = 0$$

Luego de hallado el valor de H2, se procede a obtener la velocidad.

9. Calculo de la lámina de agua en el resalto

$$hb = h2 - N$$

10. Comprobación grado de sugerencia

$$S = \frac{Hb}{ha}$$

Según el resultado se determina si la canaleta trabaja ahogada o a descarga libre, esto con base al Ancho de la garganta, lo anteriormente dicho está reflejado en la (véase la tabla 1)

Si supera los valores expuestos en la anterior tabla, trabaja ahogada y si al contrario no lo supera, trabaja a descarga o flujo libre.

11. Calculo número de froude.

Empleando la ecuación del resalto hidráulico:

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

Despejando la anterior formula, se obtiene:

$$Fr = \sqrt{\frac{V2^2}{g * H2}}$$

Del resultado de esta ecuación depende si la adición de coagulante se dificulte.

12. Determinación de la lámina de agua al final del trecho divergente:

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

13. Valor de la lámina de agua al final de la canaleta:

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

14. Calculo de tiempo medio de mezcla:

$$Td = \frac{G}{Vm}$$

Se requiere conocer el valor de velocidad media:

$$Vm = \frac{V3 + V4}{2}$$

Para eso se requiere el valor de V3 y V4 que son distinguidas por la zona donde se encuentran.

$$V3 = \frac{Q}{W * H3}$$

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

Ya obtenidos los resultados se procede a calcular la velocidad media y consecuentemente se obtiene el tiempo medio de mezcla.

15. Finalmente, se determina el valor de gradiente hidráulico:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \Delta h}{\mu T d}}$$

Como se observa en la ecuación anterior, Perdida de carga (Δh), es una incógnita y por ende se realiza el siguiente cálculo:

$$E1 = E4 + \Delta h$$

Despejando, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\Delta h = \frac{V1^2}{2g} + Ha + N - \frac{V4^2}{2g} - H4 - (N - K)$$

Luego de obtener el valor de perdida de carga, se procede a investigar la temperatura promedio del municipio de Apulo y con base a esa temperatura, se obtiene peso específico y viscosidad.

Tabla 10 determinación de peso específico y viscosidad

TEMPERATURA (°C)	PESO ESPECÍFICO (γ) N/M3	VISCOSIDAD CINEMÁTICA (μ) PA
0	9805	0,0018
20	9980	0,00101
21	9787	0,00099
22	9785	0,0097
23	9783	0,00094
24	9781	0,00092
25	9778	0,00092
26	9775	0,00088
27	9773	0,00086
28	9770	0,00084
29	9767	0,00082
30	9764	0,0008

31	9761	0,00079
32	9758	0,00077
33	9755	0,00075
34	9752	0,00073
35	9749	0,00071

Fuente: Teoría y Práctica de la Purificación del Agua

Finalmente, se calcula el gradiente hidráulico.

Evaluación estructura

Datos obtenidos de la segunda visita a la PTAP:

Tabla 11 Datos obtenidos Canaleta Parshall

DATOS OBTENIDOS				
(Q) Caudal.	25	l/s	0,025	m ³ /s
(W) Ancho Garganta	2	pulg	0,0450	m
(D) Ancho sección convergente	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 la sección divergente	0,406	m		
(T) Temperatura promedio	27	°C		
(γ) Peso específico	9773	N/m ³		
(μ) viscosidad	0,00086	N/m ²		
(A) Longitud sección convergente	0,208	m		
(B) Longitud paredes sección convergente	0,258	m		
(E) Profundidad total	0,60	m		
(F) Longitud garganta	0,172	m		
(ha) lámina de agua	0,43	m		

Fuente: Los Autores

Calculos correspondientes de la estructura:

Tabla 12 Cálculos Canaleta Parshall

CÁLCULOS		
(Wa) sección media	0,12	m
(Va) velocidad en la Wa"	0,48	m/s
(E1) Energía total disponible	0,48	m
(H2)	0,28	m
(V2) Velocidad antes del resalto	2,0	m/s
(Hb) Lámina de agua en el resalto	0,24	m
(S) Grado de sumergencia	0,56	-
(Fr) Numero de frode	1,20	-
(H3) lámina de agua al final del trecho divergente	0,35	m
(H4) lámina de agua al final de la canaleta	0,33	m
(V3) Velocidad	1,57	m/s
(V4) Velocidad	0,30	m/s
(Vm) Velocidad media	0,93	m/s
(Td) Tiempo medio de mezcla	0,43	s
(Δh) Perdida de carga	0,12	m
(Gr) Gradiente hidráulico	1792,156	s-1

Fuente: Los Autores

Análisis estructura

Analisis con respecto a los calculos de la canaleta parshall:

- El ancho de garganta de la estructura actual, trabaja con un caudal mayor al que está capacitado.
- La canaleta trabaja con descarga libre debido a que el resultado de sumergencia no excede el valor de $S < 0.6$.
- Según el número de frode el resalto hidráulico no es inestable, ya que comprende un resultado de 1.20, queriendo decir que no hay complicación al adicionar el coagulante. Seria inestable estando entre los valores de (2.5 a 4.5).
- Según lo recomendado por la (Resolución 0330) el valor del gradiente debe estar entre 1000 segundos-1 y 2000 segundos-1, por lo tanto el cálculo de gradiente de la canaleta existente cumple con un valor de 1792.156 segundos-1. Lo que se entiende de este cálculo es que la Parshall actual cumple con la intensidad de agitación.

3.5. Mezcla rápida

Ilustración 13 Punto de adición del coagulante



Fuente: Los Autores

La mezcla rápida se efectúa mediante la turbulencia provocada por la canaleta parshall, el cual tiene como propósito dispersar rápida y uniformemente el coagulante que en este caso es sulfato de aluminio tipo B, sobre todo el flujo de agua, como se observa en (véase la ilustración 13).

3.5.1. Dosificador de sulfato de aluminio

Existen dos tipos de sulfatos de aluminio, el tipo A y el tipo B, los cuales se distinguen por el color del grano; si es color blanco es Tipo A y tiene poco contenido de hierro (menor o igual a 0.5 %), en cambio, sí es color marrón es porque el contenido de hierro es mayor al 0.5 %. Los dos son utilizados para los tratamientos de aguas residuales y para la purificación de agua como agente coagulante.

El sulfato de aluminio tipo B es el resultado que hay entre el Ácido sulfúrico y una materia prima en aluminio como la bauxita. Este coagulante se vende por bultos de 25 kg a 50 kg, su almacenamiento debe ser en bodegas cerradas y de madera.

Normalmente en el proceso de purificación de cuerpos de agua, el coagulante ideal es el sulfato de aluminio tipo B, esencialmente por que es bastante económico, también por que cumple con la remoción de turbiedad y de color del líquido.

Ilustración 14 Dosificador mecánico



Fuente: Los Autores

Ilustración 15 Bulto de sulfato de aluminio



Fuente: Los Autores

Actualmente hay un dosificador mecánico el cual distribuye sulfato de Aluminio tipo B A12 (SO)₄, cada 6 horas, en cada rango de tiempo se suministra un bulto de este mismo material, esto según las condiciones del agua que entra a la planta, si las condiciones no son óptimas; se agregan dos bultos de coagulante en el mismo rango de tiempo. El análisis del tipo de coagulante que mejor se adapte al líquido que se quiere tratar, se hace por medio del laboratorio de test de jarras.

3.5.2. Dosificador de cal

La adición de este compuesto, se realiza cuando las condiciones de agua no son óptimas, generalmente se realiza cuando el agua de llegada es bastante turbia, y también, porque el proceso de coagulación vuelve el agua muy corrosiva, debido a que en este proceso se adiciona Sulfato de aluminio. La función del compuesto llamado cal es equilibrar o neutralizar la acidez del agua, por eso es añadido después de la coagulación o desinfección.

Ilustración 16 Dosificador de cal



Fuente: Los Autores

Ilustración 17 Bulto de cal



Fuente: Los Autores

Según información del operario de la planta, si las condiciones del agua son muy turbias se adiciona aproximadamente 3 kilos de cal entre 8 horas.

3.6. Evaluación floculador (Mezcla lenta)

La estructura de Floculación de la PTAP de Apulo es de tipo hidráulico de flujo horizontal con baffles verticales en concreto, el sistema de floculación fue diseñado con un total de 4 baffles pero en la actualidad la estructura se encuentra en regulares condiciones ya que en varios tramos, los tabiques presentan deterioro por despicado de las paredes de los baffles, agrietamientos, y la caída de uno de los baffles, lo anterior presume que la eficiencia en este proceso se reduce, en (véase la ilustración 18) se muestra el diseño inicial del floculador y en (véase ilustración 19) se observa su estado actual, en (véase la tabla 13) se especifica las dimensiones del floculador existente y con las cuales se realiza la evaluación de los diferentes parámetros y de este modo comprobar la si la unidad de floculación está cumpliendo con los parámetros establecidos por la (RAS 2000).

Ilustración 18 Floculador antiguo



Ilustración 19 Floculador actual



Fuente: <http://umbpractica.blogspot.com.co> Fuente: Los Autores

Luego de la mezcla rápida el agua coagulada entra al floculador por medio de un vertedero rectangular de 0,30 m de ancho por 0,80 m de alto, la salida del floculador es mediante un canal de 0,35 m de ancho y 6,35 m de largo que comunica con el sedimentador en el ancho del sedimentador este canal tiene 14 orificios circulares de 2 pulgadas.

Tabla 13 Dimensiones floculador existente

DIMENSIONES FLOCULADOR APULO		
Numero de tabiques	4	Und.
Espesor de tabiques	0,14	metros
Alto de tabiques	2,3	metros
Largo de tabiques	12,8	metros

Numero de espacios	5	Und.
Ancho de espacios	0,35	metros
Longitud de espacios	12,8	metros
Borde libre	0,46	metros
Altura lámina de agua	1,90	metros
Longitud total recorrido de agua	64	metros
Largo de floculador	13,4	metros
Ancho de floculador	2,5	metros
Altura de muro	2,36	metros

Fuente: Los Autores

Para verificar si el floculador actual de la PTAP del municipio de Apulo está cumpliendo se verifica inicialmente la velocidad de floculación, para este cálculo se tiene en cuenta el caudal de la planta que es de 25 l/s y el área transversal del canal del floculador.

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

$$Vel = \frac{0.025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.35\text{m} \cdot 1,90\text{m}} = 0,038 \text{ m/s}$$

Se verifica la velocidad del agua a través del tanque y el valor obtenido es 0,038 m/s el cual no está en el rango de velocidad dado por la (RAS 2000) que es de 0.2 m/s a 0.6 m/s para floculadores hidráulicos de flujo horizontal y al estar por debajo de estos valores se produce sedimentación del floc lo que implica mayor acumulación de sedimentos (lodos) en el fondo del floculador y por consiguiente se debe realizar la remoción de estos sedimentos con mayor frecuencia, según información obtenida por el operario de la planta esta remoción se está haciendo una vez por semana e indica que la cantidad de lodos acumulados alcanza a medir 1 metro aproximadamente aunque esto depende de las condiciones con las que esté llegando el agua del afluente.

- Verificación tiempo de retención:

Para calcular el tiempo de retención en el floculador hidráulico de flujo horizontal se tiene en cuenta la longitud total de recorrido del agua a través de los canales y la velocidad, inicialmente se verifica el tiempo de retención con los 4 tabiques como fue inicialmente diseñado el floculador y luego se verifica el tiempo de retención con 3 tabiques que son los que tiene actualmente el floculador este valor va a modificar la longitud total de recorrido del agua pasando de 64 metros a 51,2 metros.

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

$$THR = \frac{64 \text{ m}}{0,038 \text{ m/s}} = 28,37 \text{ min}$$

$$THR = \frac{51,2 \text{ m}}{0,038 \text{ m/s}} = 22,70 \text{ min}$$

El tiempo de retención debe estar entre 20 y 30 minutos según parámetro indicado por la (RAS 2000) para floculadores hidráulicos de flujo horizontal, al verificar los valores obtenidos el tiempo de retención esta en este rango.

- Verificación perdida de carga (H_f):

$$H_f = KN \frac{V^2}{2g} + Lt * \left(\frac{Vn}{Rh^2/3} \right)^2$$

- Radio hidráulico:

$$Rh = \frac{\text{Area}}{\text{Perimetro Mojado}}$$

$$Rh = \frac{0,35 \text{ m} * 1,90 \text{ m}}{0,35 + 2(1,90)} = 0,16 \text{ m}$$

Se asume un valor de K: 3.5 y un coeficiente de Manning de (n : 0.013) ya que la superficie del floculador es de cemento.

$$H_f = 3.5 * 5 \frac{0.038^2}{2 * 9.81} + 64 * \left(\frac{0.038 * 0.013}{0.16^2/3} \right)^2 = 0,00144 \text{ m}$$

- Verificación gradiente de velocidad (G):

$$G = \sqrt{\frac{\gamma H_f}{u T}}$$

Dónde:

u : viscosidad cinemática 0,00102 (Ns/m²)

T : tiempo nominal de retención (s)

γ : Peso específico del agua 9789 (Kg/ m³)

H_f : perdida de energía debida a la fricción (m)

El gradiente medio de velocidad (G) debe estar entre 20 s⁻¹ y 70 s⁻¹

$$G = \sqrt{\frac{9789 * 0,00144}{0,00102 * 1702,4}} = 2,85 \text{ S}^{-1}$$

Según los valores establecido por la (RAS 2000) el gradiente de velocidad está por debajo de este rango.

3.7. Sedimentadores

El sedimentador de la PTAP de Apulo que está en funcionamiento fue inicialmente diseñado como sedimentador rectangular hidráulico de flujo horizontal convencional en donde la sedimentación se lleva a cabo primero el agua ingresa a la unidad a través de un canal de distribución que viene del floculador y que la distribuye mediante 13 orificios y posteriormente hay una pantalla difusora con 36 secciones circulares de 6 pulgadas como se muestra en (véase la ilustración 20) por donde se expulsa las partículas en suspensión para luego repartir uniformemente el caudal pasando el agua floculada al tanque de sedimentación, donde tiene sección de zona de lodos; zona de agua sedimentada a través de todo el ancho del tanque de sedimentación, y que debe ser el encargado de remover las partículas suspendidas luego de pasar por el floculador y que por la fuerza de la gravedad queden en el fondo del tanque sedimentador,

Ilustración 20 Sedimentador



Ilustración 21 Sedimentador en uso



Fuente: <http://umbpractica.blogspot.com.co> Fuente: Los Autores

Actualmente hay dos tanques de sedimentación uno que está en funcionamiento y el otro que hace varios años no se pone en funcionamiento, ya que fue mal diseñado según información obtenida en la PTAP, como se observa en la ilustración 24, es necesario el rediseño del sedimentador que no está en uso para usarlo como estructura auxiliar al momento de realizar mantenimiento al sedimentador que está en uso, el sedimentador que está en uso anteriormente no fue tan eficiente porque el tiempo de retención en el tanque era muy bajo lo que generaba que el agua floculada no tuviera suficiente tiempo para que se sedimentara los floculos formados por esta razón aproximadamente hace 6 años se instaló al final del sedimentador horizontal una sección de sedimentador de alta tasa con módulos cuadrados como se muestra en (véase la ilustración 22) y que tiene colectores de

salida que comunica con los filtros mediante tubos perforados de 5 pulgadas. Cada tanque de sedimentación presenta las siguientes dimensiones:

Ilustración 23 sedimentador alta tasa



Fuente: Los Autores

Ilustración 22 Canal de salida



Fuente: Los Autores

Cada tanque de sedimentación presenta las siguientes dimensiones:

Tabla 14 Dimensiones sedimentador de flujo horizontal en operación

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

Fuente: Los Autores

Tabla 15 Dimensiones sedimentador alta tasa

DIMENSIONES SEDIMENTADOR ALTA TASA	
Longitud <i>m</i>	4,8
Ancho <i>m</i>	4,35
Profundidad <i>m</i>	2,5
Sección de módulos <i>cm</i>	6*6
Longitud de módulos <i>cm</i>	90
Angulo de inclinación °	60

Fuente: Los Autores

Tabla 16 Dimensiones sedimentador flujo horizontal, que no está en uso

DIMENSIONES SEDIMENTADOR FLUJO HORIZONTAL QUE NO ESTA EN USO	
Longitud <i>m</i>	12,6
Ancho <i>m</i>	3,68
Profundidad <i>m</i>	2,2
Pendiente transversal °	12
Pendiente longitudinal °	3
Diámetro de desagüe <i>cm</i>	30

Fuente. Los Autores

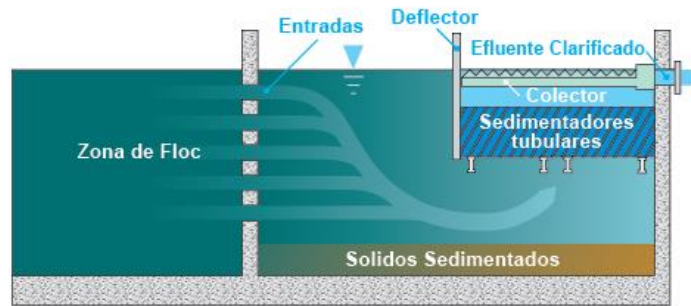
Ilustración 24 Sedimentador sin uso



Fuente: Los Autores

Para verificar si el sedimentador actual que está en operación de la PTAP del municipio de Apulo está cumpliendo con los parámetros se verifica inicialmente la carga superficial, tanto para el tanque convencional como para los módulos instalados de alta tasa que están en la parte final del sedimentador, para este cálculo se tiene en cuenta el caudal de la planta que es de 25 l/s un diseño aproximado al sedimentador que está en uso es el de (véase la ilustración 25) el cual muestra el empalme que se realiza con el sedimentador de flujo horizontal con los módulos de sedimentación de alta tasa.

Ilustración 25 Modelo sedimentador convencional con alta tasa



Fuente: <http://es.brentwoodindustries.com>

- Verificación carga superficial del sedimentador de flujo horizontal que está en uso:

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

$$CS = \frac{2160 \text{ m}^3/\text{día}}{12,6 \text{ m} \times 4,35 \text{ m}} = 39,41 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$$

La carga superficial para este tipo de sedimentador de flujo horizontal debe estar entre los valores de 15-30 m³/m²/día según lo indica la (Resolución 0330-2017).

- Verificación carga superficial del área de alta tasa cubierta por los tubos cuadrados

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

$$CS = \frac{2160 \text{ m}^3/\text{día}}{4,8 \text{ m} \times 4,35 \text{ m}} = 103,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$$

La carga superficial para este tipo de sedimentador de tasa alta con módulos angostos debe estar entre los valores de 100-110 m³/m²/día según lo indica la (Resolución 0330-2017).

- Velocidad crítica de asentamiento o carga superficial de asentamiento:

$$V_{sc} = \frac{Sc \cdot V_o}{\text{sen}\theta + Lc \text{ cos}\theta}$$

-Factor de forma (sc) para tubos cuadrados:

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

-Longitud relativa del sedimentador:

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

- Área:

$$A = 4,8 \text{ m} * 4,35 \text{ m} = 20,9 \text{ m}^2$$

-Vo : velocidad promedio:

$$Vo = \frac{Q}{A * \text{sen} \theta} = \frac{2160 \text{ m}^3/\text{dia}}{20,9 \text{ m}^2 * \text{sen} 60^\circ} = 119,45 \text{ m/día} = 0,083 \text{ m/min}$$

L' = longitud relativa para la region de transicion

V: Viscosidad cinemática para 28 c° que es la temperatura media del municipio de Apulo.: 0,000000838 m²/s

$$L' = 0,013 \frac{Vo * d}{v} = 0,013 \frac{0,083 \text{ m/min} * 0,06 \text{ m}}{60 * 0,838 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 2,14$$

Lc = longitud relativa del sedimentador de tasa alta en flujo laminar, corregida en la longitud de transición

$$Lc = L - L' = 15 - 2,14 = 12,86$$

Remplazando:

$$Vsc = \frac{Sc * Vo}{\text{sen} \theta + Lc \text{ cos} \theta} = \frac{\frac{11}{8} * 119,45 \text{ m/día}}{\text{sen} 60 + 12,86 \text{ cos} 60} = 22,52 \text{ m/día} = 37,57 \text{ cm/s}$$

La velocidad crítica de sedimentación debe estar entre 15-30 cm/s según lo indica la (Resolución 0330-2017).

- Numero de Reynolds:

$$N_{RE} = \frac{Vo d}{v}$$

$$N_{RE} = \frac{119,45 \text{ m/día} * 0,06 \text{ m}}{86,400 * 0,838 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 98,99$$

Al ser menor $NRE < 2100$ es un flujo laminar

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

$$t = \frac{l}{v_0}$$

$$t = \frac{0,90 \text{ m}}{0,083 \text{ m/min}} = 10,85 \text{ min}$$

Según la (Resolución 0330) el tiempo de retención para sedimentadores con módulos de alta tasa debe estar entre 10-20 min.

- Tiempo de retención en el tanque de sedimentación que está en uso:

$$t = \frac{17,4 \text{ m} * 4,35 \text{ m} * 2,5 \text{ m}}{2160 \text{ m}^3/\text{dia}} * 24 * 60 = 126,15 \text{ min} = 2,1 \text{ h}$$

Según la (Resolución 0330) el tiempo de retención para el tanque sedimentador debe estar entre 2-4 h.

- Velocidad promedio en el tanque de sedimentación en uso:

$$v = \frac{2160 \text{ m}^3/\text{dia}}{17,4 \text{ m} * 2,5 \text{ m} * 24 * 60} = 0,034 \text{ m/min} = 0,06 \text{ cm/s}$$

Según la (Resolución 0330) la velocidad de flujo para sedimentadores de flujo horizontal debe ser $< 1 \text{ cm/s}$.

- Carga superficial sedimentador flujo horizontal que no está en uso :

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

$$CS = \frac{2160 \text{ m}^3/\text{dia}}{12,6 \text{ m} * 3,68 \text{ m}} = 46,58 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$$

La carga superficial para este tipo de sedimentador de flujo horizontal debe estar en los valores de 15-30 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ según la (Resolución 0330-2017).

- Tiempo de retención en el tanque de sedimentación que no está en uso:

$$t = \frac{12,6 \text{ m} * 3,68 \text{ m} * 2,2 \text{ m}}{2160 \text{ m}^3/\text{dia}} * 24 * 60 = 68,01 \text{ min} = 1,1 \text{ h}$$

Según la resolución 0330 el tiempo de retención para el tanque sedimentador debe estar entre 2-4 h.

- Velocidad promedio en el tanque de sedimentación que no está en uso:

$$V = \frac{2160 \text{ m}^3/\text{dia}}{12,6\text{m} * 2,2 \text{ m} * 24 * 60} = 0,054 \text{ m/min} = 0,09 \text{ cm/s}$$

Según la (Resolución 0330) la velocidad de flujo para sedimentadores de flujo horizontal debe ser $< 1 \text{ cm/s}$.

3.8. Filtros

La PTAP tiene dos unidades de filtros compuestos por sistema de entrada de agua mediante dos vertederos rectangulares para cada unidad de filtración como se observa en (véase la ilustración 26). La filtración es de tipo rápido con flujo descendente y retro lavado ascendente. Se evidencia que los filtros presentan gran deterioro en sus enchapados y en su sistema de cierre de caudal para realizar el retro lavado de los filtros lo que permite que no se realice de forma correcta la filtración y el retro lavado se recomienda realizar el mantenimiento y el arreglo de las unidades de filtración y de los lechos filtrantes.

Ilustración 26 Unidad de filtro



Fuente: Los Autores

Ilustración 27 Filtros



Fuente: Los Autores

El medio de filtración está compuesto por un lecho mixto como se observa en (véase la ilustración 27) compuesto por capas de antracita, arena media y arena fina, estas capas descansan sobre un lecho de grava el cual está sobre el sistema de drenaje ubicado en el fondo de los filtros por donde pasa el agua filtrada por medio de una tubería, para ser llevada al proceso de desinfección, las profundidades de las capas no se pueden identificar pero según información obtenida en la planta las capas son: 30 cm de antracita, 20 cm de arena media 10 cm de granate t aproximadamente 30 cm de grava. La (ilustración 28) muestra el modelo a escala que tiene el lecho de los filtros de cómo está construido el lecho filtrante.

Ilustración 28 Capas de



Fuente: Los Autores

Las dimensiones de las dos unidades de filtros es la misma, tiene las siguientes medidas y datos de entrada:

Tabla 17 Datos iniciales filtro

DATOS INICIALES		
Ancho	2	<i>m</i>
Longitud	2,9	<i>m</i>
Altura desde corona al lecho	2,8	<i>m</i>
Canales de lavado	2	<i>Und.</i>
Caudal total	2160	<i>m³/día</i>
# filtros	2	<i>Und.</i>
Caudal por filtro	12,5	<i>l/s</i>
Caudal por filtro	1080	<i>m³/día</i>
Área por filtro	5,8	<i>m²</i>

Fuente: Los Autores

- Chequeo número de filtros:

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

$$N = 0,044\sqrt{2160} = 2 \text{ unidades}$$

Donde Q es el caudal de la planta en m³/d esta ecuación es una referencia tomada del libro de romero ecuación (6,27), según el resultado de la ecuación da 2 unidades de filtración para este caudal y se cumple por consiguiente con las dos unidades de filtración que hay actualmente en la PTAP, pero la (Resolución 0330) del 2017 recomienda que el número de filtros mínimo debe ser de 3 cuando se tiene tanque de lavado para realizar el lavado de los filtros.

- Chequeo tasa de filtración

$$Vf = \frac{Q}{Af}$$

$$Vf = \frac{1080m^3/dia}{5,8m^2} = 186,21 m^3/m^2*día$$

Según la (Resolución 0330 -2017) la tasa de filtración para lecho mixto debe estar en el rango de 180-350 m³/m²/d y el valor obtenido anteriormente se encuentra en esto rango.

El retro lavado se realiza por medio de un tanque elevado semienterrado de 35 m³ de capacidad ,ubicado a 70 metros de las unidades de filtración ,este tanque es alimentado por el agua tratada que produce la PTAP por la misma línea de conducción que alimenta al tanque de almacenamiento y llega por medio de bombeo, el agua para el retro lavado de los filtros llega por medio de gravedad y se realiza por medio de flujo ascendente y esta agua es recolectada en las canaletas de lavado ,según información obtenida por los operarios se realiza por 12 minutos el retro lavado, se verifica además que se cuenta con válvulas de cierre que controlan la velocidad con el que el agua realiza el retro lavado de los filtros ,los encargados de realizar la apertura y cierre de las válvulas de retro lavado son los operarios y que deben realizar este procedimiento 2 veces por turno de 8 horas o dependiendo de la tasa de filtración.

Ilustración 29 Válvulas de filtros y retro



Fuente: Los Autores

Ilustración 30 Tanque para el lavado



Fuente: Los Autores

- Chequeo velocidad de lavado

$$Vl = \frac{Q}{Af}$$

$$Vl = \frac{3024m^3/dia}{5,8m^2} = 342,86 m/día = 0,26 m/min$$

La velocidad de lavado debe ser igual o mayor de 0,60m/min según la RAS (tabla c.7.2) para garantizar un adecuado auto lavado.

- Chequeo capacidad tanque elevado

$$V = 0,26 \frac{m}{min} * 5,8m^2 * 10 min = 15 m^3$$

Si se compara el volumen actual del tanque que es de 35 m³ este sobre dimensionado ya que según el chequeo de volumen da 15 m³ para un tiempo de lavado de 10 minutos.

3.9. Desinfección

Ilustración 31 Cloro gaseoso



Fuente: Los Autores

La última etapa es llamada desinfección, en este proceso se adiciona cloro gaseoso, garantizando cloro gaseoso en el afluente de la planta, es un cilindro de cloro, mediante un clorador conectado a un tubo de ½”, por el cual conduce agua filtrada para luego con el contacto y la dosis de cloro se mezcla con el agua tratada que sale para un tanque en donde se dosifica y posteriormente por la red de distribución

por medio de bombeo el agua desinfectada es conducida al tanque de almacenamiento, la dosis de cloro gaseoso se da en los tipos de agua y el valor residual del cloro, caudal y lo que determine las pruebas de laboratorio, para la PTAP del municipio de Apulo se aplica 1.6 mg/l aproximadamente.

En la planta de tratamiento se realiza el proceso de desinfeccion por medio de cloro gaseoso, ya que, este quimico es el mas eficaz al tratarse o adicionarse a un agua microbiologicamente competente para el consumo humano, ademas, por que a nivel economico es muy accesible, puesto que es muy economico; pero la principal razon es por que tiene efecto germicida residual.

Según los datos tomados por el fotometro, hay presencia de cloro libre; esto quiere decir, que se presenta una de las reacciones del cloro al estar en contacto con el agua, llamada hidrolisis; debido a que al adicionar cloro al liquido, lo que sucede es que este se hidroliza para producir acido hipocloroso HOCLe ion hipoclorito OCl, a estos compuestos se les llama cloro libre el cual es un desinfectante muy activo.¹⁹

Calculos de diseño

El valor de cloro libre es determinado con la siguiente expresion:

Ecuacion de watson:

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

Donde:

T: tiempo de contacto, tiempo comprendido entre la cloracion y la toma de agua por el usuario (min).

K: constante de desinfeccion

n: eficiencia

C: dosis de cloro

La constante de desinfeccion, es obtenida según el valor de turbiedad del agua que sale de la planta:

Para una turbiedad con un valor menor a 1 NTU, que es el caso de PTAP de Apulo (Vease anexo 1); se obtiene el siguiente valor de constante de desinfeccion, esto en funcion del PH y Temperatura.

¹⁹ MINISTERIO DE HACIENDA. Sistemas de potabilización. RAS 2000. Bogota: ICONTEC, 2000.270.

Tabla 18 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	24	29	35	42	16	20	23	28	12	15	17	21	8	10	12	14
0,6	25	30	36	43	17	20	24	29	13	15	18	21	8	10	12	14
0,8	26	31	37	44	17	20	24	29	13	15	18	22	9	10	12	15
1	26	31	37	45	18	21	25	30	13	16	19	22	9	10	12	15
1,2	27	32	38	46	18	21	25	31	13	16	19	23	9	11	13	15
1,4	27	33	39	47	18	22	26	31	14	16	19	23	9	11	13	16
1,6	28	33	40	48	19	22	26	32	14	17	20	24	9	11	13	16
1,8	29	34	41	49	19	23	27	33	14	17	20	25	10	11	14	16
2	29	35	41	50	19	23	28	33	15	17	21	25	10	12	14	17
2,2	30	35	42	51	20	23	28	34	15	18	21	26	10	12	14	17
2,4	30	36	43	52	20	24	29	35	15	18	22	26	10	12	14	17
2,6	31	37	44	53	20	24	29	36	15	18	22	27	10	12	15	18
2,8	31	37	45	54	21	25	30	36	16	19	22	27	10	12	15	18
3	32	38	46	55	21	25	30	37	16	19	23	28	11	13	15	18

Fuente: Ministerio de Hacienda

Evaluacion desinfeccion

Con base a las visitas realizadas, fueron conseguidos los siguientes datos:

Tabla 19 Datos obtenidos desinfección

DATOS OBTENIDOS		
Turbiedad	0,9	NTU
Temperatura	25	°C
(C) Dosis de cloro	1,86	mg/l
(n) Eficiencia	0,95	%
(PH)	7,5	-
(K) Constante de desinfección	16	-

Fuente: Los Autores

Se realizo el correspondiente calculo:

Tabla 20 Calculo desinfección

CÁLCULOS	
(T) tiempo de contacto	9 min

Fuente: Los Autores

Como segundo evaluacion, el valor del almacen del cloro:

Tabla 21 Datos obtenidos para almacenamiento de cloro

DATOS OBTENIDOS PARA ALMACENAMIENTO		
Dosis de cloro	1,86	mg/l
Tiempo de almacenamiento	15	días
Caudal de diseño	20	l/s
Peso del cilindro de cloro	68	kg
Área de la bala	0,1	m2

Fuente: Los Autores

Se realizo el correspondiente calculo:

Tabla 22 Calculo de almacenamiento desinfección

CALCULO DE ALMACENAMIENTO		
Peso de cloro requerido en el periodo de almacenamiento	3	kg/d
	48	kg
Numero de balas	1	-
Área total ocupada por los cilindros	0,1	m2

Fuente: Los Autores

Este calculo, se hace con el fin de determinar el numero de balas de cloro que se necesitan en la zona de desinfeccion, esto según el tiempo y dosis de cloro. En la planta se almacena exactamente ese numero de balas por un tiempo de 15 dias.

Analisis desinfeccion

Analisis con respecto al diagnostico de la desinfeccion:

- La concentracion de cloro libre esta entre 0.3 mg/l y 2.0 mg/l, cumpliendo asi con el parametro de diseño estipulado por la norma colombiana, (Resolucion 0330).

3.10. Estacion de bombeo

La estación de bombeo está constituida una bomba sumergible, con potencia de 5 HP, esta transmite agua por medio de impulsión al tanque de almacenamiento. Normalmente se inspecciona su funcionamiento cada 6 horas al día, puesto que la no actividad de esta unidad frenaría el proceso de distribución del líquido. Con base a lo anteriormente comentado, la planta o funcionarios de la misma no poseen una unidad de bombeo adicional, ya que las dos unidades de bombeo que se utilizaban por succión se encuentran en mal estado, dependiendo así de solo una bomba sumergible.

3.11. Macro medidor

Ilustración 32 Macro medidor



Fuente: Los Autores

Por medio de bombeo se llega al macro medidor, Sistema que se encuentra entre la planta y el tanque de almacenamiento en la cota 512, diseñado con la intención de medir el caudal que llega de la planta y continuamente pasa directamente al tanque de almacenamiento. Cabe resaltar que su instalación es incorrecta, debido a que el filtro está en una posición desfavorable.

3.12. Tanque de almacenamiento

Tanque de almacenamiento se encuentra ubicado a 300 metros aproximadamente de la planta, el agua es conducida por el bombeo después de la desinfección por medio de una bomba sumergible de 5 HP y el volumen del tanque es de 1280m³.

Ilustración 33 Tanque de almacenamiento



Fuente: Los Autores

Tanque utilizado para almacenar el agua tratada, que después será suministrada al municipio de Apulo y a una vereda cercana, dando prioridad al municipio, debido, a que se le suministra diariamente agua, en cambio, a la vereda se le distribuye dos veces por semana y ocho horas por día.

Ilustración 34 Válvulas de acceso



Fuente: Los Autores

Las válvulas de acceso son las encargadas de suministrar el agua tratada al municipio y a la vereda, a causa de que es el objetivo principal de la planta, brindar agua de calidad a la población, el proceso de potabilización del agua dura aproximadamente una hora treinta minutos.

3.13. Laboratorio

Se encuentra ubicado a pocos metros de la planta, el cual se halla en buen estado y con los equipos correspondientes para realizar los diferentes laboratorios enfocados en la evaluación del agua tanto en el afluente como en el efluente.

Ilustración 36 Laboratorio



Fuente: Los Autores

Ilustración 35 Prueba de jaras



Fuente: Los Autores

El laboratorio es aprovechado para la realización del ensayo de test de jaras, turbiedad, PH y alcalinidad.

Ilustración 38 PH metro



Fuente: Los Autores

Ilustración 37 Fotómetro



Fuente: Los Autores

Los datos de PH y de cloro libre son obtenidos por turno de operario y en el día se realizan tres turnos, para un total de 6 muestras; 3 para cada parámetro de potabilización.

3.14. Calidad del agua

Para conocer la calidad del agua que esta produciendo la PTAP del municipio de Apulo se busca en la base de datos del Instituto Nacional de Salud el cual establece el sistema de protección y control del agua para consumo humano en cumplimiento del Decreto 1575 de 2007 y sus resoluciones reglamentarias. “En la plataforma del instituto nacional de salud se desarrolló el aplicativo "Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano-SIVICAP", el cual permite a todas las Autoridades Sanitarias departamentales, reportar los datos de la vigilancia de la calidad del agua, en función de sus actividades de Inspección, Vigilancia y Control en el país”.²⁰

Partiendo de la información recolectada en la plataforma SIVICAP se tiene acceso a la base del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) de la PTAP del municipio de Apulo.

Tabla 23 Histórico IRCA Apulo

HISTORICO IRCA APULO			
AÑO	% IRCA URBANO	RIESGO	MUESTRAS EXAMINADAS
2007	0	SIN RIESGO	1
2008	7,8	RIESGO BAJO	5
2009	7,5	RIESGO BAJO	21
2010	12,2	RIESGO BAJO	13

²⁰INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. Riesgo calidad del agua [en línea], Apulo: Alcaldía [citado 22 abril, 2017]. Disponible en internet: <URL: <https://www.ins.gov.co/Paginas/Inicio.aspx.pdf>>

2011	3,8	SIN RIESGO	12
2012	4,97	SIN RIESGO	12
2013	18,23	RIESGO MEDIO	12
2014	12,44	RIESGO BAJO	12
2015	27,71	RIESGO MEDIO	13
2016	12,79	RIESGO BAJO	12
2017			
enero	25,8	RIESGO MEDIO	1
febrero	3,7	SIN RIESGO	1
marzo	24,6	RIESGO MEDIO	1
abril	0	SIN RIESGO	1
mayo	3,7	SIN RIESGO	1
junio	0	SIN RIESGO	1
julio	19,4	RIESGO MEDIO	1
agosto	18,3	RIESGO MEDIO	1
septiembre	36,4	RIESGO ALTO	1
octubre	0	SIN RIESGO	1
noviembre	18,1	RIESGO MEDIO	1
diciembre	20	RIESGO MEDIO	1
2018			
enero	N/A	N/A	
febrero	51,2	RIESGO ALTO	1

Fuente: <https://www.ins.gov.co/sivicap>

Para realizar el cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}}$$

Cada característica del agua tiene un puntaje de riesgo definido y son definidos en (vease la tabla 24) y con base en estos valores se realiza el cálculo para obtener el

porcentaje de IRCA, si la característica del agua que se evalúa cumple con los valores aceptables el puntaje o valor será cero.

Tabla 24 Puntaje de riesgo IRCA

Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1

Fuente: Resolución 2115

Tabla 25 Puntaje de riesgo IRCA

Característica	Puntaje de riesgo
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al^{3+})	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Fuente: Resolución 2115

Según sea el resultado obtenido del IRCA por muestra o por IRCA mensual dependiendo el número de muestras tomadas en un mes, se asigna una clasificación del nivel de riesgo del agua y que se explican en (véase la tabla 26).

Tabla 26 Clasificación del nivel de riesgo en salud según IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 -100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Fuente: Resolución 2115

Como se puede observar en los resultados obtenidos por el IRCA al municipio de Apulo, se obtiene que el nivel de riesgo a sido bajo y medio en promedio de los ultimos años lo que indica que la PTAP tiene inconvenientes para obtener una agua apta para el consumo humano, pero tambien depende de las características físico químicas de la captación que en este caso es del río Calandaima.

Para verificar la calidad del agua que llega y sale de la, se realizó una visita para la toma de muestras, además se obtuvo por parte del gerente de la planta un informe de resultados de laboratorio que ellos realizan a un laboratorio particular (ver anexo 1) en donde se verifica que el agua según esos resultados es óptima para el consumo humano, para validar esos resultados depende del día en el que se realice la muestra pero se realiza una comparación con el IRCA y con la prueba de laboratorio que se realizó en la universidad católica.

Ilustración 39 Toma de muestras



Fuente: Los Autores

La toma de muestras se realizo en la entrada de la planta antes de la entrada de la canaleta parshall y a la salida del tanque de almacenamiento, al realizar los laboratorios se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 27 Condiciones iniciales del efluente

CONDICIONES INICIALES		Unidades	Valores de referencia decreto 2115-2017
Temperatura	10,3	°C	
Conductividad	513	mS/cm	Hasta 1000
Resistividad	1940	Ω/cm	
Sólidos en suspensión	275		
Salinidad	0,2		
PH	7,1	Unidades	6,5-90
Turbiedad	3	NTU	Menor o igual a 2
Alcalinidad	46	mg/L	Hasta 200
Dureza	220	mg/L	Hasta 300
ion cal	0,03	mg/L	Hasta 60
ion mag	-1,25	mg/L	Hasta 36
Color	29	UPC	Menor o igual a 15
Contenido de aluminio	0,013	mg/L	Hasta 0,2
Contenido de hierro	0,08	mg/L	Hasta 0,3

Fuente: Los Autores

Al verificar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio que se realizaron al agua de salida de la planta, se observa que el color y la turbiedad están por encima de los Valores de referencia que indica el decreto 2115-2017, esto se debe a varios factores entre los que está la alta turbiedad con la que llega el agua a la PTAP desde el río Calandaima, la baja eficiencia de potabilización de la planta de tratamiento y otro posible factor es la dosificación de coagulante, para esto se realiza el test de jarras para conocer la dosificación que se debe tener dependiendo de las condiciones físico químicas de entrada a la planta, pero según información recopilada en la PTAP no realizan el ensayo de test de jarras ya que los operarios de la planta aplican la dosificación del coagulante empíricamente.

Para conocer la dosificación óptima de coagulante se realiza el laboratorio del test de jarras en el laboratorio de la universidad católica teniendo como datos de entrada los siguientes resultados:

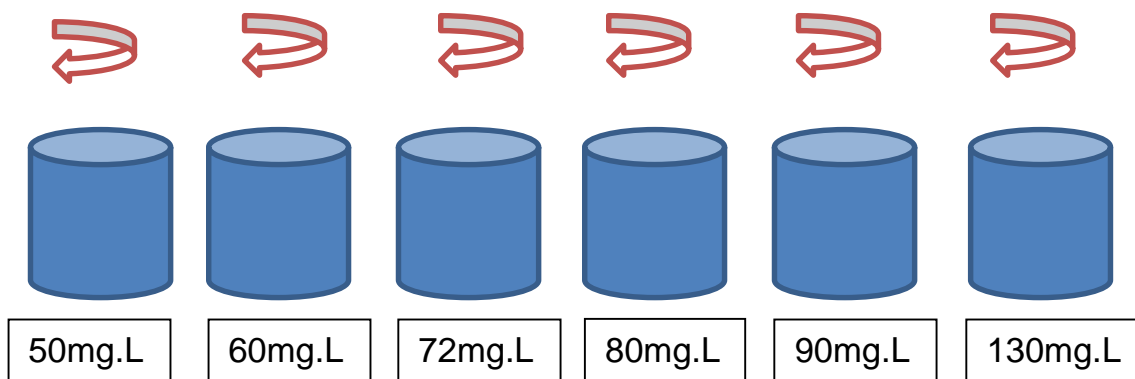
Tabla 28 Condiciones iniciales del afluente

CONDICIONES INICIALES		Unidades	Valores de referencia decreto 2115-2017
Temperatura	13,3	°C	
Conductividad	499	mS/cm	Hasta 1000
Resistividad	1991	Ω/cm	
Sólidos en suspensión	269		
Salinidad	0,2		
PH	8,04	Unidades	6,5-90
Turbiedad	4,76	NTU	Menor o igual a 2
Alcalinidad	45	mg/L	Hasta 200
Dureza	220	mg/L	Hasta 300
Color	1773	UPC	Menor o igual a 15

Fuente: Los Autores

Calculo de Dosificación de Coagulante:

Inicialmente se toman los parámetros como color, turbidez, pH, alcalinidad entre otros a la muestra de agua homogenizada que se obtuvo a la entrada de la planta y que está sin tratar. Para la dosificación del coagulante se utilizó el coagulante sulfato de aluminio tipo B granulado, el cual se usa actualmente en la PTAP, para esto se toman 6 vasos de precipitado y se llenan a 800 ml luego con base en la alcalinidad que dio un valor de 45 se multiplica por 2 y se calcula la variable para los 800 ml con el de agregar a las muestras las siguientes cantidades de coagulante partiendo del valor obtenido que es 72 mg/l.



Para llevar a cabo el Test de Jarras Se preparan las muestras con concentraciones del coagulante que varían de 10 mg/l entre cada una de ellas partiendo de 72 mg/l y se verifican los valores de turbiedad y color en cada una de las muestras.

Ilustración 40 Ensayo test de jarras



Fuente: Los Autores

Tabla 29 Dosificaciones y resultados de la prueba de jarras

DOSIS (Mg)	COAGULANTE	SULFATO DE ALUMINIO TIPO B	
		TURBIEDAD (NTU)	PH
50		15	7,9
60		17	7,76
72		17	7,66
80		15	7,56
90		14	7,53
130		16	7,49

Fuente: Los Autores

Según los datos de (vease la tabla 29) se evidencia que la dosis que tiene mejores valores de turbiedad y PH es la jarra de 90 mg. Por lo tanto la dosificación adecuada es de 90 mg por cada 800 ml .si se hace la conversión para el caudal de la planta que es de 25 l/s y para 8 horas que es un turno de un operario de la PTAP, la cantidad de sulfato seria de 81 kg de sulfato de aluminio al compararlo con información obtenida por los operarios ellos afirman que por lo general por turno de 8 horas se aplican de 4 a 5 bultos de 25 kg de sulfato de aluminio , lo que al compararlo con los resultados obtenidos se debe recomendar la realización del test de jarras en la planta con una frecuencia diaria para de esta manera saber la dosis exacta de coagulante.

4. OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE APULO

Después de realizar el diagnóstico de la PTAP del municipio de Apulo y la evaluación de las estructuras en donde se tiene en cuenta las estructuras que necesitan un nuevo rediseño u optimización, las estructuras que se van a optimizar son:

- Canaleta parshall
- Floculador
- Estación de bombeo

Para realizar la optimización de las anteriores estructuras primero se debe calcular la población futura con el fin de identificar el caudal de diseño con el que debe cumplir la PTAP para una proyección de 25 años según lo indica la (Resolución 0330 del 2017) en el artículo 40 la PTAP actualmente suministra de agua a la cabecera municipal y a dos veredas de las 28 que hay actualmente, para la optimización de la PTAP se va a tener en cuenta el diseño para el suministro de agua para toda la población de Apulo.

4.1. Proyección de población:

Para estimar la población futura se debe tener en cuenta el historial de censos que son suministrados por el DANE.

Tabla 30 Datos población, municipio Apulo, DANE, secretaria de planeación de Cundinamarca, 2015

HISTORIAL DE CENSOS DE POBLACION DEL MUNICIPIO DE APULO CUNDINAMARCA			
AÑO	CABECERA (habitantes)	RURAL (habitantes)	TOTAL (habitantes)
2005	3152	4670	7822
1993	2998	3913	6911
1985	3227	4630	7857
1973	3139	5196	8335
1964	2937	6638	9575
1951	2394	5925	8319

Fuente: DANE

Si se observa en (véase tabla 30) la población tiende a disminuir progresivamente según los últimos censos realizados en el municipio de Apulo a lo largo del siglo XX y en el último censo del año 2005 la población aumento gradualmente respecto al censo del año 1993 por este motivo se hace necesario escoger como base para estimar la población futura las proyecciones que realiza el DANE hasta el año 2020.

Tabla 31 Datos de población, municipio Apulo, estimaciones de población 1985-2005 y proyecciones de población 2005-2020 total municipal por área, DANE.

PROYECCIONES DE POBLACION DEL MUNICIPIO DE APULO CUNDINAMARCA			
AÑO	CABECERA (habitantes)	RURAL (habitantes)	TOTAL (habitantes)
2005	3152	4670	7822
2008	3151	4666	7817
2011	3150	4664	7814
2014	3151	4661	7812
2017	3151	4661	7812
2020	3153	4660	7813

Fuente: DANE

Como se observa en (véase la tabla 31) de proyecciones de población para el año 2020 dadas por el DANE, se observa que el número de habitantes sigue disminuyendo manteniendo un decrecimiento poblacional. Es hace necesario la proyección de la población al año 2043 para verificar si se mantiene este decrecimiento poblacional, para este cálculo se tendrá en cuenta los modelos matemáticos: lineal geométrico y exponencial los cuales recomienda las (Resolución 0330) para el nivel de complejidad bajo y medio.

- Método aritmético: si el crecimiento es constante e independiente del tamaño de esta, el crecimiento es lineal. En donde integrando los límites del último censo y el censo inicial se obtiene la pendiente de la recta (Ka). Pf es la población (hab) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población, Puc es la población (hab) correspondiente al último año censado con información, Pci es la población (hab) correspondiente al censo inicial con información, Tuc es el año correspondiente al último año censado con información, Tci es el año correspondiente al censo inicial con información y Tf es el año al cual se quiere proyectar la información.²¹

$$Ka = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$$

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

²¹ MINISTERIO DE HACIENDA. Sistemas de acueducto. RAS 2000. Bogota: ICONTEC, 2000.p 27

Tabla 32 Método aritmético

METODO ARITMETICO		
AÑO	Ka	POBLACION FINAL
2018	-43	7.266
	-16	7.614
	-2	7.799
	76	8.809
2018	PROM	7.872
2023	-43	7.052
	-16	7.533
	-2	7.791
	76	9.189
2023	PROM	7.891
2028	-43	6.839
	-16	7.453
	-2	7.782
	76	9.568
2028	PROM	7.910
2033	-43	6.625
	-16	7.373
	-2	7.773
	76	9.948
2033	PROM	7.930
2038	-43	6.411
	-16	7.293
	-2	7.764
	76	10.327
2038	PROM	7.949
2043	-43	6.197
	-16	7.213
	-2	7.756
	76	10.707
2043	PROM	7.968
2048	-43	5.983
	-16	7.133
	-2	7.747
	76	11.086
2048	PROM	7.987

Fuente: Los Autores

- Método geométrico: Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:²²

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

²²Ibid.,p.27

La tasa de crecimiento anual se calcula como:

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

Tabla 33 Método geométrico

METODO GEOMETRICO		
AÑO	r	POBLACION FINAL
2018	-0,00491994	7.336
	-0,00198313	7.623
	-0,0002232	7.799
	0,01037225	8.945
2018	PROM	7.926
2023	-0,00491994	7.158
	-0,00198313	7.547
	-0,0002232	7.791
	0,01037225	9.419
2023	PROM	7.979
2028	-0,00491994	6.983
	-0,00198313	7.473
	-0,0002232	7.782
	0,01037225	9.917
2028	PROM	8.039
2033	-0,00491994	6.813
	-0,00198313	7.399
	-0,0002232	7.773
	0,01037225	10.442
2033	PROM	8.107
2038	-0,00491994	6.647
	-0,00198313	7.326
	-0,0002232	7.765
	0,01037225	10.995
2038	PROM	8.183
2043	-0,00491994	6.485
	-0,00198313	7.254
	-0,0002232	7.756
	0,01037225	11.577
2043	PROM	8.268
2048	-0,00491994	6.327
	-0,00198313	7.182
	-0,0002232	7.747
	0,01037225	12.190
2048	PROM	8.362

Fuente: Los Autores

- Método exponencial: La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de

crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente:²³

$$P_f = P_{ci} * e^{Kx(T_f - ci)}$$

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

Tabla 34 Método exponencial

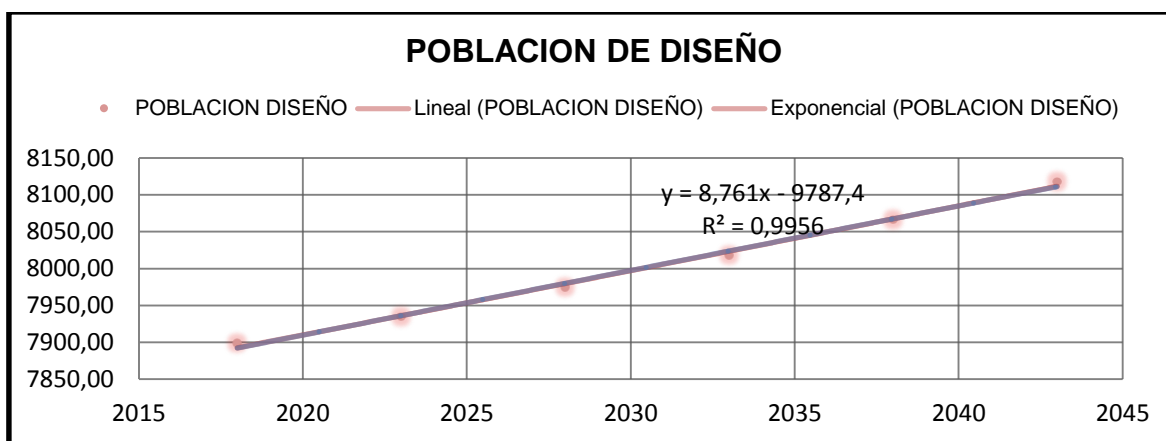
METODO EXPONENCIAL		
AÑO	K	POBLACION FINAL
2018	-0,01541022	6.736
	-0,00492156	
	-0,01603631	
	0,01031883	
PROM K	-0,006512316	
2023	-0,01541022	6.520
	-0,00492156	
	-0,01603631	
	0,01031883	
PROM K	-0,006512316	
2028	-0,01541022	6.311
	-0,00492156	
	-0,01603631	
	0,01031883	
PROM K	-0,006512316	
2033	-0,01541022	6.109
	-0,00492156	
	-0,01603631	
	0,01031883	
PROM K	-0,006512316	
2038	-0,01541022	5.914
	-0,00492156	
	-0,01603631	
	0,01031883	
PROM K	-0,006512316	
2043	-0,01541022	5.724
	-0,00492156	
	-0,01603631	
	0,01031883	
PROM K	-0,006512316	
2048	-0,01541022	5.541
	-0,00492156	
	-0,01603631	
	0,01031883	
PROM K	-0,006512316	

Fuente: Los Autores

²³ Ibid.,p.28

Luego de realizar la proyección de población a 25 años por los tres métodos anteriormente se observa que con el método exponencial la proyección de población su tendencia tiende a bajar por este motivo se toma únicamente el promedio del método geométrico y aritmético en donde la proyección tiende a aumentar ya que se debe tener en cuenta la población flotante debido a las actividades agrónomas y turísticas que se desarrollaran en el municipio de Apulo Cundinamarca en años futuros ,la asignación del nivel de complejidad va a ser medio.

Ilustración 41 Población diseño



Fuente: Los Autores

Tabla 35 Población de diseño

POBLACION DE DISEÑO	
AÑOS FUTUROS	HABITANTES
2018	7899
2023	7935
2028	7975
2033	8018
2038	8066
2043	8118

Fuente: Los Autores

- Dotación neta máxima:

Según la (Resolución 0330 de 2017) por el cual modifica parcialmente la resolución que adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable (RAS 2000), se define dotación máxima neta como la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante. Para calcular el caudal de diseño se usa inicialmente la dotación neta de 140 l/hab*día obtenida según (véase la tabla 36) teniendo en cuenta que él, municipio de Apulo la altura sobre el nivel del mar es < de 1000.

Tabla 36 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar (artículo 33- resolución 0990-2017)

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACION MAXIMA (L/HAB*DIA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000- 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Resolución 0330

- Dotación bruta:

Para el cálculo de la dotación bruta se tiene en cuenta el cálculo del porcentaje de pérdidas que ocurran en el sistema y la dotación neta que se obtuvo (véase la tabla 37). Como valor de porcentaje de pérdidas técnicas máximas para diseño se toma un valor de 25%.

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

Tabla 37 Calculo consumo total

Año	Población	Incremento población (%)	Incremento consumo (%)	Consumo neto(l/hab*día)	Perdidas (%)	Consumo total (l/hab*día)
2018	7899			140,00	25	186,67
		0,455	0,059			
2023	7935			140,08	25	186,78
		0,501	0,065			
2028	7975			140,17	25	186,90
		0,548	0,071			
2033	8018			140,27	25	187,03
		0,596	0,077			
2038	8066			140,38	25	187,18
		0,645	0,084			
2043	8118			140,50	25	187,33

Fuente: Los Autores

- Caudales de diseño

Caudal medio diario: el caudal medio diario, Qmd, es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada.

Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:²⁴

$$Qmd = \frac{p * d \text{ bruta}}{86400}$$

Caudal máximo diario: El caudal máximo diario, *QMD*, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, *k1* Se toma una factor de mayoración de *K1=1.3*. El caudal máximo diario se calcula mediante la siguiente ecuación:²⁵

$$QMD = Qmd * K1$$

Caudal máximo horario El caudal máximo horario, *QMH*, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario *K2* y toma un valor de *k2:1,6*.²⁶

$$QMH = QMD * K2$$

Tabla 38 Calculo caudales de diseño

Año	Qmd (l/s)	K1	QMD (l/s)	K2	QMH (l/s)
2018	17,07	1,3	22,19	1,65	36,606
2023	17,15	1,3	22,30	1,65	36,794
2028	17,25	1,3	22,43	1,65	37,002
2033	17,36	1,3	22,56	1,65	37,232
2038	17,47	1,3	22,72	1,65	37,482
2043	17,6	1,3	22,9	1,65	37,7

Fuente: Los Autores

Con los resultados obtenidos se toma el caudal máximo diario (*QMD*), el cual lo indica la (Resolución 0330 -2017) en el artículo 99 como caudal de diseño de las estructuras de potabilización. Si se compara con el caudal con el que fue diseñada la PTAP de 25 l/s es similar al obtenido de 22,9 l/s ya el promedio de habitantes tiende a permanecer constante lo que indica que la población de hace 30 años con la que fue diseñada la planta va a ser similar con la proyección a 25 años como se

²⁴ Ibid.,p.38

²⁵ Ibid.,p.38

²⁶ Ibid.,p.39

verifico anteriormente .para la optimización de las estructuras que lo requieren se va a escoger el caudal actual con el que fue diseñada la planta.

4.2. Canaleta parshall

Para que la estructura funcione optimamente y no trabaje con caudales superiores al que esta capacitada, se aumenta el ancho de su garganta, asi mismo, se aumentan las demas dimensiones requeridas por la canaleta.

Nuevo dimensionamiento:

Tabla 39 Datos de nuevo diseño canaleta Parshall

DATOS OBTENIDOS				
(Q) Caudal.	25	l/s	0,025	m ³ /s
(W) Ancho Garganta	3	pulg	0,0762	M
(D) Ancho sección convergente	0,259	m		
(N) Diferencia de elevación entre salida y cresta	0,057	m		
(g) Gravedad	9,81	m/s		
(K) Longitud paredes sección divergente	0,025	m		
(C)Ancho de la salida	0,178	m		
(G) Longitud de la sección divergente	0,305	m		
(T) Temperatura promedio	27	°C		
(Y) Peso especifico	9773	N/m ³		
(μ) viscosidad	0,00086	N/m ²		
(A) Longitud sección convergente	0,466	m		
(B) Longitud paredes sección convergente	0,457	m		
(E)Profundidad total	0,381	m		
(F) Longitud garganta	0,152	m		

Fuente: Los Autores

Calculos del nuevo dimensionamiento:

Tabla 40 Cálculos nuevo dimensionamiento

CÁLCULOS		
(ha) lámina de agua	0,33	m
(Wa) sección media	0,20	m
(Va) velocidad en la Wa"	0,38	m/s
(E1) Energía total disponible	0,39	m
(H2)	0,15	m
(V2) Velocidad antes del resalto	2,19	m/s
(Hb) Lámina de agua en el resalto	0,09	m
(S) Grado de sumergencia	0,28	-
(Fr) Numero de frode	1,80	-

(H3) lámina de agua al final del trecho divergente	0,31	m
(H4) lámina de agua al final de la canaleta	0,28	m
(V3) Velocidad	1,04	m/s
(V4) Velocidad	0,50	m/s
(Vm) Velocidad media	0,77	m/s
(Td) Tiempo medio de mezcla	0,40	s
(Δh) Perdida de carga	0,07	m
(Gr) Gradiente hidráulico	1386,990	s-1

Fuente: Los Autores

Como se observa en la antepuesta tabla, el nuevo diseño de canaleta parshall cumple con los parametros de diseño, es decir que esta propuesta de diseño ofrece mas eficiencia en la mezcla rapida.

4.3. Floculador

Criterios seleccionados y diseño

Se proyectó un floculador hidráulico de flujo horizontal el cual está dividido en 3 secciones de igual volumen y que tiene la misma área del floculador actual de la PTAP de Apulo, de esta manera se garantiza que la optimización de la estructura actual no necesita ser ampliada y únicamente se va a modificar su estructura interna. Como datos iniciales se asumen tres gradientes de velocidad distintos en cada una de las secciones y que están entre el rango del gradiente medio de velocidad ($G -$) dados por la (Res.0330-2017) el cual dice que debe estar entre 20 s-1 y 70 s-1, también se asumen un tiempo de retención de 20 minutos. Se toma un caudal de diseño de 25 litros por segundo. El plano del siguiente floculador se puede verificar en el anexo 4.

Tabla 41 Condiciones iniciales de diseño

PARÁMETROS DE DISEÑO	
variable	valor
Q (m3/s)	0,025
Viscosidad dinámica μ (Pa*s)	0,000833
Densidad del agua (Kg/m3)	998,21
Coefficiente de rugosidad de mannig (concreto)	0,013
Longitud de la unidad (m)	12,8
e espesor de las pantallas	0,10
Profundidad del floculador (m)	1,0
gradientes de velocidad (s-1)	
G1	50
G2	35
G3	20
tiempo de retención (min)	20

Fuente: Los Autores

Se determinó el volumen de la estructura de floculación según el caudal y el tiempo proyectado de floculación

$$V = Q * t * 60$$

$$V = 0.025 \frac{m^3}{s} * 20 \text{ min} * 60 \text{ seg} = 30 \text{ m}^3$$

Habiendo determinado el volumen usamos este valor para determinar el ancho de la estructura

$$B = \frac{V}{HL}$$

$$B = \frac{30 \text{ m}^3}{12,8\text{m} * 0,9 \text{ m}}$$

$$B = 2,5 \text{ m}$$

Este ancho y el tiempo de floculación los dividimos en tres partes iguales para dimensionar de la misma manera las cámaras que componen la unidad de floculación

$$b = \frac{2,5 \text{ m}}{3} = 0,8 \text{ m}$$

$$t = \frac{20 \text{ min}}{3} = 6.7 \text{ min}$$

Con estos datos y haciendo uso de la ecuación de Richter hallamos el número de paneles a usar para el primer tramo

$$N = 0.45 \sqrt{\left(\frac{bLG}{Q^2}\right)^2 t}$$

$$N = 0.45 \sqrt{\left(\frac{0,8 \text{ m} * 12,8\text{m} * 50\text{s}^{-1}}{\left(0.025 \frac{m^3}{s}\right)^2}\right)^2 \frac{20 \text{ min}}{3}}$$

$$N = 65$$

Con esta cantidad y teniendo en cuenta el espesor de los paneles realizamos una corrección

$$N = 0.45 \sqrt{\left(\frac{bL - (Ne)G}{Q^2}\right)^2 t}$$

$$N = 0.45 \sqrt{\left(\frac{0,8 m * 12,8m - (0.10m * 65) * 50s^{-1}}{\left(0.025 \frac{m^3}{s}\right)^2}\right)^2 \frac{20 min}{3}}$$

$$N = 40$$

Sabiendo la cantidad de paneles que vamos a poner se puede hallar el espaciamiento entre cada uno de los paneles con las dimensiones previamente encontradas

$$S = \frac{L - E(N - 1)}{N}$$

$$S = \frac{12,8 m - 0,10m(40 - 1)}{40}$$

$$S = 0.22m = 22 cm$$

Con las secciones dimensionadas podemos hallar las velocidades que se presentan en los canales formados por los paneles y en los pasas para la transición entre ellos respectivamente

$$v_1 = \frac{Q}{Sb}$$

$$v_1 = \frac{0.025 \frac{m^3}{s}}{0,22m * 0,8m}$$

$$v_1 = 0.139 \frac{m}{s}$$

$$v_2 = \frac{2}{3} v_1$$

$$v_2 = \frac{2}{3} 0.139 \frac{m}{s}$$

$$v_2 = 0.093 \frac{m}{s}$$

Para hallar las pérdidas en la primera cámara primero se halla el radio hidráulico que se generan entre los canales

$$R_h = \frac{sb}{2(s+b)}$$

$$R_h = \frac{0.22m * 0,8m}{2(0.22m + 0,8m)}$$

$$R_h = 0.0865 m$$

Con este valor se encuentra finalmente las pérdidas presentes en el canal usando la ecuación de manning y en los pasos la ecuación descrita en los criterios, la suma de estos dos serán las pérdidas en la primera cámara

$$h_1 = \left(\frac{nv_1}{R_h^{2/3}} \right)^2 * L$$

$$h_1 = \left(\frac{0,013 * 0.139 \frac{m}{s}}{0.0865 m^{2/3}} \right)^2 * 12,8m$$

$$h_1 = 0,0011m$$

$$h_2 = \frac{(N+1)v_1^2 + Nv_2^2}{2g}$$

$$h_2 = 0.0595 m$$

$$\mathbf{h} = h_1 + h_2 = 0,0011m + 0.0595 m = 0.0595$$

De esta manera se repiten estos procesos para las dos cámaras restantes y hallando la pérdida total del sistema de floculación que se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 42 Diseño para la primera cámara

CÁMARA 1	
N número de pantallas	65
Corrección N por el espesor de las pantallas	40
Distancia entre pantallas(m)	0,22
Distancia libre entre extremo de pantalla y la pared (m)	0,18
v1 velocidad en los canales (m/s)	0,139
v2 velocidad en los pasos (m/s)	0,093
Radio hidráulico en los canales (m)	0,0865
Perdida en los canales (m)	0,0011
Perdida en los pasos (m)	0,0584
Pérdida total en la primera cámara (m)	0,0595

Fuente: Los Autores

Tabla 43 diseño para la segunda cámara

CÁMARA 2	
N número de pantallas	51
Corrección N por el espesor de las pantallas	36
Distancia entre pantallas(m)	0,2553
Distancia libre entre extremo de pantalla y la pared (m)	0,2042
v1 velocidad en los canales (m/s)	0,139
v2 velocidad en los pasos (m/s)	0,093
Radio hidráulico en los canales (m)	0,0974
Perdida en los canales (m)	0,0009
Perdida en los pasos (m)	0,0525
Pérdida total en la primera cámara (m)	0,0535

Fuente: Los Autores

Tabla 44 Diseño para la tercera cámara y pérdidas totales del sistema

Cámara 3	
N número de pantallas	35
Corrección N por el espesor de las pantallas	28
Distancia entre pantallas(m)	0,3555
Distancia libre entre extremo de pantalla y la pared (m)	0,2844
v1 velocidad en los canales (m/s)	0,139
v2 velocidad en los pasos (m/s)	0,093
Radio hidráulico en los canales (m)	0,1241

Perdida en los canales (m)	0,0007
Perdida en los pasos (m)	0,0412
Pérdida total en la primera cámara (m)	0,0419
Total de pérdidas en el sistema de floculación (m)	0,1548

Fuente: Los Autores

4.4. Estación de bombeo

En esta optimización se propone el diseño de una bomba centrífuga, con el fin de tener un repuesto de la bomba existente.

Cálculos de diseño

1. Definir los siguientes datos:

- Periodo de diseño
- Caudal máximo diario
- Número total de horas de bombeo al día
- Altura sobre el nivel del mar.
- Temperatura del agua
- Tubería PVC = C

2. Calcular el porcentaje de utilización de la bomba:

$$\frac{\text{Numero de bombeo}}{24} * 100$$

3. Luego de esto se determina el caudal de diseño, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q \text{ diseño: } \frac{\text{Caudal maximo diario}}{\text{porcentaje bomba}}$$

4. Según la ecuación de bresser se determina el diámetro de la tubería de impulsión, el valor de este es modificable ya que al comparar los resultados con una curva característica y al ver que este no cumple con los rangos de operación, se puede proceder a modificarlo.

$$\text{Diametro de impulsión} = 1.3 * (\text{Porcentaje Bomba})^{\frac{1}{4}} * \sqrt{\text{Caudal de diseño}}$$

5. Calculo de velocidad en la tubería, este valor debe estar entre 1.0 y 3.0 m/s.

$$Vi = \frac{\text{Caudal de diseño}}{\text{Area}}$$

6. El diámetro de succión puede ser de igual valor que el de impulsión o uno superior. Si al realizar todos los cálculos la bomba presenta cavitación, se modifica el diámetro de impulsión. El valor de este diámetro debe ser superior a 1.15 m.

Con la anterior ecuación, se halla la velocidad respecto al diámetro de succión y se mira si efectúa con la siguiente tabla, pasando el diámetro a mm:

Tabla 45 Velocidad máxima en la tubería de succión

Diámetro de la tubería de succión (mm)	Velocidad máxima (m/s)
50	0,75
75	1,00
100	1,30
150	1,45
200	1,60
250	1,60
300	1,70
Mayor que 400	1,80

Fuente: Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados

7. Determinación de la sumergencia:

$$\text{Sumergencia} = 2.5 * \text{Diametro de succion} + 0.1$$

8. Calculo de la altura dinámica de elevación

- Altura estática de succión:

$$\text{Altura estatica de succion} = \text{cota de succion} - \text{cota inicial de succion}$$

Altura estática de impulsión:

$$\text{Altura estatica de impulsion} = \text{Cota tanque superior} - \text{Cota de succion.}$$

Altura estática total:

$$\text{Altura estatica total} = \text{Altura estatica de succion} + \text{Altura estatica de impulsion.}$$

- Perdidas en la succión, se determinan según el diámetro del mismo, además se calculan por longitudes equivalentes, utilizando las longitudes dadas en la siguiente tabla:

Tabla 46 Longitudes equivalentes

Elemento	mm	13	19	25	32	36	50	63	75	100	125	150	200	250	300	350
	pulg	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14
Codo 90°																
Radio largo	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,4	4,3	5,5	6,1	7,3	
Radio medio	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,8	3,7	4,3	5,5	6,7	7,9	9,5	
Radio corto	0,5	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,5	4,9	6,4	7,9	9,5	10,5	
Codo 45°																
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	3,0	3,8	4,6	5,3	
Curva 90°																
R/D: 1 1/2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	
R/D: 1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1	2,5	3,3	4,1	4,8	5,4	
Curva 45°	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,5	1,8	2,2	2,5	
Entrada																
Normal	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,6	2,0	2,5	3,5	4,5	5,5	6,2	
De borda	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	5,0	6,0	7,5	9,0	11,0	
Válvula																
Compuerta	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,4	
Globo	4,9	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	45,3	51,0	6,7	85,0	102	120	
Ángulo de pie	2,6	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0	26,0	34,0	43,0	51,0	60,0	
Retención	3,6	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	20,0	23,0	31,0	39,0	52,0	65,0	78,0	90,0	
T. liviano	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4	12,5	16,0	20,0	24,0	38,0	
T. pesado	1,6	2,4	3,2	4,0	4,6	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1	19,3	25,0	32,0	38,0	45,0	
Te de paso																
Directo	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,4	4,3	5,5	6,1	7,3	
Lateral	1,0	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10,0	13,0	16,0	19,0	22,0	
Te de salida																
Bilateral	1,0	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10,0	13,0	16,0	19,0	22,0	
Salida de tubería																
	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	5,0	6,0	7,5	9,0	11	

Fuente: Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados

Valor tubería recta de succión:

$$Tubería\ suc = Altura\ estática\ de\ succión + sumergencia + longitud\ dada\ en\ el\ esquema\ de\ bombeo$$

Utilizando la ecuación de Hazen-Williams:

$$Caudal\ de\ diseño = 0.2785 * C * Ds^{2.63} * Perdidas\ de\ carga\ (J)^{2.63}$$

Con la previa ecuación se despeja (J).

Cálculos perdidos en la succión:

$$Perdidas\ de\ succión: (J) * Longitud\ equivalente\ total$$

- Perdidas en la impulsión, son calculadas al igual que la de succión, lo que podría cambiar podría es el diámetro.
- Altura de velocidad en la descarga:

$$Vel\ descarga = \frac{velocidad\ de\ impulsión^2}{2 * g}$$

- Altura dinámica total de elevación:

Alt To de elevacion

$$= Perdidas\ imp + Alt\ de\ vel\ en\ la\ descarga + Altura\ estatica\ total$$

9. Dependiendo los valores de caudal y la altura dinámica de elevación se puede seleccionar las bombas a partir las curvas características entregadas por los fabricantes.
10. Luego se procede a la realización de una tabla donde se determinan las condiciones de operación promedio del sistema de bombeo, se repiten los cálculos anteriores teniendo caudales inferiores y superiores al caudal de diseño.
11. Luego se procede a observar si el sistema de bombeo diseñado, está en el rango de operación que expone la curva característica dada por el fabricante, si está en el rango se procede a calcular lo siguiente:

- Potencia de la bomba:

$$P_b = \frac{Peso\ especifico\ del\ agua * Caudal * Altura}{eficiencia}$$

La eficiencia se recomienda trabajar con valores superiores al 60%.

Como recomendación se propone usar motores de potencia entre 1.15 a 1.20 veces la potencia de la bomba, con el objetivo de evitar su recalentamiento; lo anteriormente dicho se expresa con la siguiente ecuación:

$$P_m = P_b * potencia\ del\ motor$$

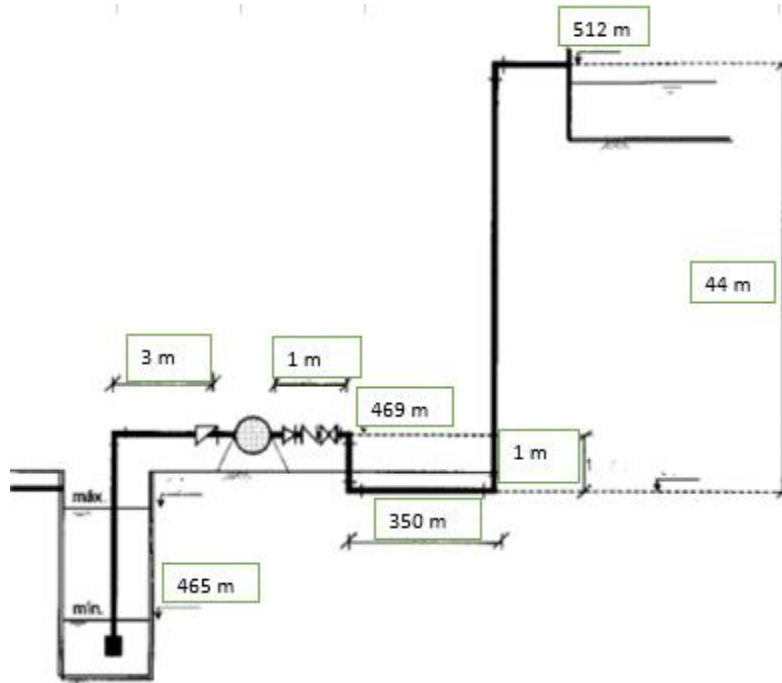
- Cavitación:

$$CNPSd = (Alt\ bar - (Alt\ estatica + Per\ sc + Alt\ de\ vel)) - Presion\ de\ vapor$$

Cálculos

Esquema de sistema de bombeo:

Ilustración 42 Esquema de bombeo



Fuente: Los Autores

Datos:

Tabla 47 Datos de diseño bombeo

DATOS DE DISEÑO		
Periodo de diseño	20	años
Caudal máximo diario	25	l/s
Número total de horas de bombeo día	18	horas
Altura sobre el nivel del mar	420	m.s.n.m.
Temperatura del agua	27	°c
Tubería PVC	150	

Fuente: Los Autores

Cálculos correspondientes:

Tabla 48 Cálculos de bomba

CALCULOS		
Porcentaje de utilización de la bomba	75,00	%
Caudal de diseño	0,03	m ³ /s
Tubería impulsión		
Según ecuación Bresse		
Diámetro	0,22088	m
Diámetro	5,00	pulg
Diámetro	0,127	m
Velocidad de impulsión	2,63	m/s
1,0 m/s	Velocidad	3,0 m/s
Tubería de succión		
Diámetro	8,00	pulg
Diámetro	0,15	m
Velocidad de succión	1,83	m/s
Sumergencia	0,48	m
Calculo de la altura dinámica de elevación		
Cota de succión	469	m
Cota inicial succión	465	m
Cota tanque superior	512	m
Altura estática de succión	4	m
Altura estática de impulsión	43	m
Altura estática total	47	m
Perdidas en la succión	8,00	pulg
Ver tabla 7,7 libro		
Codo radio largo 90°	6,4	
Válvula de pie con coladera	52	m
Reducción excéntrica	0,91	
Entrada borda	6	
Longitud de tubería recta	7,48	
Longitud equivalente total	72,80	
Utilizando hazen -Williams		
(J) Perdida de carga total	0,017	m/m
Perdidas en la succión	1,271	m
Perdidas en la impulsión		
Expansión concéntrica	1,524	m
Válvula de retención horizontal	16,1	
Válvula de cortina	0,9	
Codo de radio largo 90 4 (codos)	25,6	

Te con cambio de corrección	8,4	
Tubería	397	
Longitud equivalente total	449.524	m
Utilizando hazen- Williams		
(J) perdida de carga total	0,017	m/m
Perdidas en la impulsión	7.848	m/m
Altura de la velocidad en la descarga	0,352	m
Altura dinámica total de elevación	56.472	m

Fuente: Los Autores

Tabla resumen del sistema de bombeo:

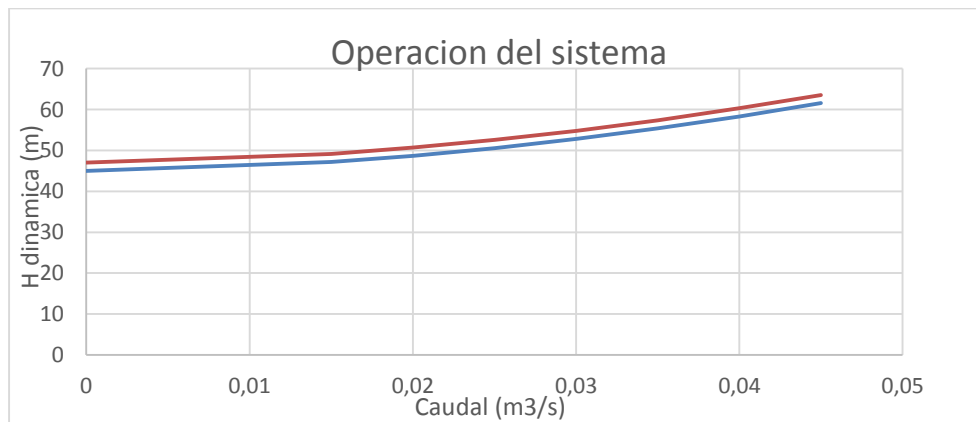
Tabla 49 Sistema de bombeo

Q caudal (m3/s)	PERDIDAS (M)		ALTURA Vel (m)	ALTURA ESTÁTICA		ALTURA DINÁMICA	
	Succión	impulsión		Min	Max	Min	Max
0	0,00	0,00	0,00	45	47	45	47
0,015	0,29	2,14	0,07	45	47	47,15	49,15
0,02	0,49	3,64	0,13	45	47	48.67	50.67
0,025	0,75	5,50	0,20	45	47	50.55	52.55
0,03	1,05	7,71	0,29	45	47	52.79	54.79
0,035	1,39	10,25	0,39	45	47	55.37	59,03
0,04	1,78	13,13	0,51	45	47	58.29	60,29
0,045	2,22	16,33	0,64	45	47	61.54	63.54

Fuente: Los Autores

Grafica:

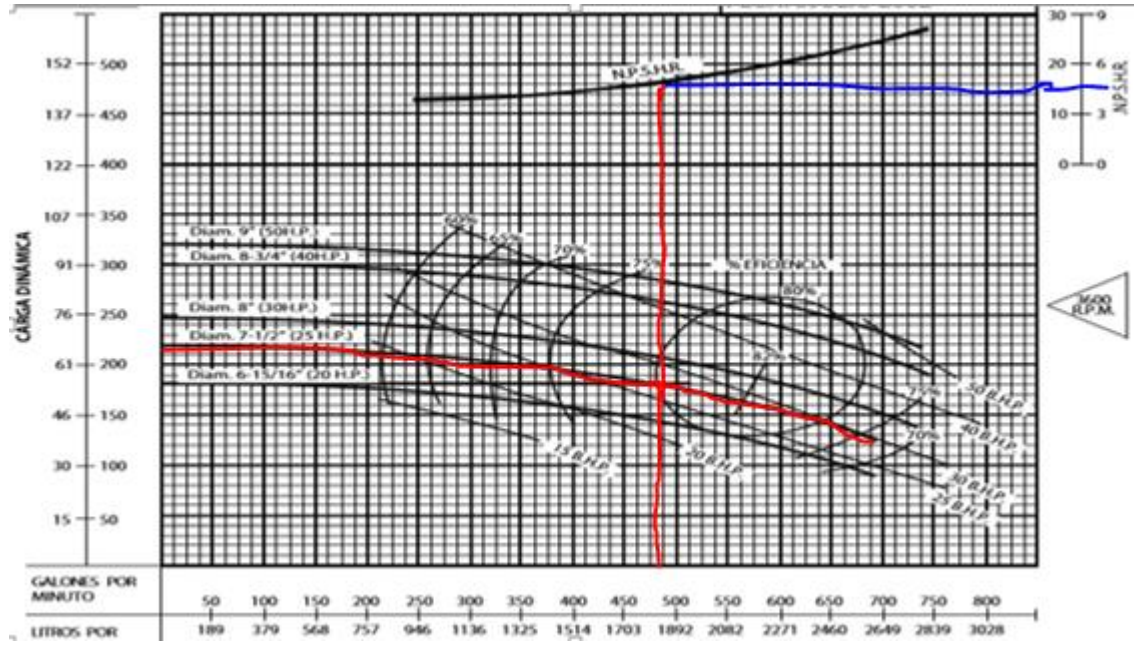
Ilustración 43 Grafica del sistema



Fuente: Los Autores

Según la curva característica Barmes, que trabaja con un rotor cuya velocidad es de 3600 revoluciones por minuto, se observa la curva característica y la cabeza neta de succión positiva del sistema, también como el sistema cumple con los rangos de operación.

Ilustración 44 Curva característica



Fuente: Equipos de bombeo empresa barmesa

Cálculos

Tabla 50 Potencia de la bomba

POTENCIA		
Potencia	31.07	HP
Motor	1,2	
Pm	49.96	HP
CAVITACION		
Altura barometrica	7,21	m
CNPS d	1,56	m

Fuente: Los Autores

5. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a la evaluación planteada, se analizó que la estructura con menos eficiencia era el floculador, debido a sus bajas velocidades y su falta de unidades, provocando así bastante represamiento de lodos en el fondo, causando así que la planta paralice su tiempo de operación, para extraer los mismos lodos.
2. Con base a las inspecciones realizadas a la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Apulo, a nivel general, se encuentra deteriorada debido a que lleva años en funcionamiento y por ende requiere de mantenimiento en las estructuras que cumplen con su respectivo funcionamiento y de un re diseño a los elementos que no cumplen con su pertinente tarea de potabilización.
3. La planta actualmente carece de mantenimiento y varias de sus estructuras están mal diseñadas, lo que implica un mal funcionamiento en los diferentes procesos para la clarificación del agua, esto se puede demostrar con los datos dados por el IRCA, en los cuales demuestra que la planta se encuentra en rasgo medio, lo que se debe principalmente por las fallas que hay en sus estructuras hidráulicas, así dando agua de poca calidad al municipio.
4. Según los análisis del efluente, hay valores de turbiedad por encima de lo establecido, lo que indica que seguramente el floculador no está cumpliendo con su funcionalidad, afectando así las características físicas del agua. Esto debido a que la unidad tiene un tiempo de retención bastante bajo, ocasionando que no se construya eficientemente los flocs, dejando así pasar material flotante a la siguiente estructura.
5. Se verifica la velocidad del agua a través del tanque floculador y el valor obtenido es 0.038 m/s el cual no está en el rango de velocidad dado por la (Resolución 0330) que es de 0.2 m/s a 0.6 m/s para floculadores hidráulicos de flujo horizontal y al estar por debajo de estos valores se produce sedimentación del floc, lo que implica mayor acumulación de sedimentos (lodos) en el fondo del floculador y por consiguiente se debe realizar la remoción de estos sedimentos con mayor frecuencia.

6. RECOMENDACIONES

1. La evaluación pertinente proyecta que la Canaleta parshall existente en la PTAP, cumple en la mayoría de las condiciones de diseño pero su dimensionamiento no es apto para una carga de 25 l/s, para ello se recomienda una optimización de la misma estructura; con fines de que la estructura prevalezca y evite deterioro estructural.
2. De la evaluación realizada a la estación de bombeo, se interpreta que se debe desarrollar como optimización, la implementación de otra bomba, para efectos de que a la existente se le pueda realizar mantenimiento y para evitar futuros inconvenientes con la actividad de bombeo. Esta implementación también se hace con el fin de cumplir con lo establecido en la norma colombiana (Resolución 0330), donde se establece que como mínimo debe a ver dos unidades de bombeo.
3. Actualmente en la planta de tratamiento no hay manejo de lodos, ya que su descarga se hace directamente al río, se propone el manejo de estos para utilizarlo como abono para la tierra, beneficiando así la población y favoreciendo la zona agrícola del mismo, asimismo colaborando con la economía del pueblo.
4. Por el momento se encuentra un sedimentador fuera de servicio, lo cual se recomienda como alternativa, habilitarlo y adicionarle una unidad de sedimentador alta tasa, con el fin de que la planta posea dos estructuras con la misma funcionalidad y que a la hora de hacer mantenimiento, no se paralice la operación de potabilización, debido a que estará el otro componente disponible para su funcionamiento.
5. Hoy por hoy existen dos tipos de sistemas de tratamiento de agua potable, el convencional, que es el que maneja actualmente la PTAP de Apulo y el modular, que posee más etapas que el convencional, lo que lo hace más eficiente frente a cualquier tipo de agua a tratar, ya que incorpora procesos de aireación y oxidación, arenas especiales para eliminar hierro y manganeso o post tratamiento con carbón activado cuando hay elementos orgánicos. Este sistema se puede trabajar por gravedad o por operación virtualmente autónoma. Las ventajas de este sistema son: que la clarificación no requiere de cal o soda para elevar el PH. Funciona bien a pH bajo. También elimina los tanques de sedimentación, lo cual da plantas de menor tamaño y peso, además no requiere de un gran costo de mano de obra para su operación y supervisión, es rápido de instalar, posee mayor calidad y larga vida. Con base a lo primeramente comentado, se recomienda que sea estudiado y analizado este sistema, con el fin de ahorrar costos y suministrar agua potable por más tiempo, debido a su larga vida de operación.

Bibliografía

1. MUNICIPIO DE APULO. Plan de desarrollo Apulo [en línea]. Apulo: La Alcaldía del Municipio [citado 6 septiembre, 2017]. Disponible en internet: < URL: http://apulo-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/36333638346431303066306537383166/Plan_de_Desarrollo_Apulo_2012_2015_1.pdf >
2. CONTRALORIA DE CUNDINAMARCA. Auditoria gubernamental con enfoque integral [en línea]. Apulo: Entidad gubernamental [citado 10 octubre, 2017]. Disponible en internet: < URL: http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/attachment/002%20informes/008%20informe_anual_del_estado_de_los_recurso_naturales_y_del_ambiente_del_departamento_de_cundinamarca/2016/assets/informe-final-apulo.pdf >
3. Romero Rojas, Jairo Alberto. Potabilización del agua. 3ed.bogota: editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. Pág. 15.
4. SALAZAR LEON, Juan camilo. Estructuras de Captación [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:<http://es.scribd.com/doc/62506469/ESTRUCTURAS-DE-CAPTACION>>. [Citado el 15 de Agosto de 2017].
5. Amirtharajah, A. y Mills, K. M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. Journal of the American Water Works Association. Vol. 74, abril, 1982, pp. 210-216.
6. Básico, D. d. (2000). Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico, RAS2000. Bogotá: Ministerio de desarrollo.
7. GLOBAL HEALTH AND EDUCATION FOUNDATION. Sistemas de Filtración [En Línea]. Disponible en Internet: < <http://www.drinking-water.org/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html>>. [Citado el 10 de octubre de 2017]
8. ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogotá D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.60.
9. ALCALDIA DE APULO. Información general [en línea], Apulo: Alcaldía [citado 10 marzo, 2018]. Disponible en internet: < URL: <http://www.apulo-cundinamarca.gov.co.pdf> >
10. MENDEZ, Lady. Alternativas del recurso hídrico en la cuenca del rio Calandaima en Cundinamarca-Colombia. Bogotá: Universidad Militar nueva Granada, 2014, p. 4
11. MINISTERIO DE HACIENDA. Sistemas de potabilización. RAS 2000.Bogota: ICONTEC, 2000.270.
12. INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. Riesgo calidad del agua [en línea], Apulo: Alcaldía [citado 22 abril, 2017]. Disponible en internet: <URL: <https://www.ins.gov.co/Paginas/Inicio.aspx.pdf> >
13. MINISTERIO DE HACIENDA. Sistemas de acueducto. RAS 2000.Bogota: ICONTEC, 2000.p 27

14. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA. Resolución 0330. (08, junio 2017) por el cual se establecen los reglamentos técnicos para el sector de agua potable. Bogotá: El ministerio, 2017. 162 p.
15. LOPEZ, Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, 2 ed. Bogotá: Editorial escuela Colombia de ingeniería, 2003. 546 p.
16. UNAD. (2013). Diseño de plantas potabilizadoras. Bogota.
17. CHOW, Ven te. Hidráulica de canales abiertos.1 ed. Bogotá: Martha Edna, 2004. 667p.
18. VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3 Ed. Bogotá: Mc Graw Hill, 1992.793p.
19. ROMERO, Jairo. Tratamiento de aguas residuales. 1 Ed. Bogotá: Editorial escuela colombiana de ingeniería, 2001. 690p.
20. QUIMICA INTEGRAL, Sulfato de aluminio tipo B [en línea]. Neiva: La empresa [citado 1 abril, 2018], Disponible en internet: < URL: http://quinsa.com.co/archivos/productos/23/ficha_tecnicab44f64ff558dd1e27400f8f35b7a5ae518092013094955.pdf>
21. QUIMICA INTEGRAL, Sulfato de aluminio granulado Tipo A [en línea]. Neiva: La empresa [citado 1 abril, 2018], Disponible en internet: < URL: http://quinsa.com.co/archivos/productos/8/ficha_tecnica5b56c46f1d40abb9b9969d2f1072bb6a18092013094930.pdf>
22. AGUASSISTEC. Estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano [en línea]. Lima: La empresa [citado 19 mayo, 2018]. Disponible en internet:< URL: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>>

Anexos

Anexo 1. Laboratorio elaborado por la empresa EMPOAPULO

Anexo 2. Plano, planta de tratamiento existente y detalle canaleta parshall.

Anexo 3. Plano, optimización planta de tratamiento, floculador y canaleta parshall.

Anexo 4. Hojas de cálculo del presente proyecto.