



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE LA PTAP DEL LABORATORIO DE LA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**CESAR CAMILO CORREGIDOR CUEVAS  
MIGUEL ÁNGEL TORRES MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
20 DE NOVIEMBRE  
2018**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE LA PTAP DEL LABORATORIO DE LA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**PRESENTADO POR:**

**CESAR CAMILO CORREGIDOR CUEVAS    CÓDIGO: 506010**  
**MIGUEL ÁNGEL TORRES MARTÍNEZ    CÓDIGO: 506391**

**TRABAJO DE GRADO**

**DIRECTOR:**

**JESUS ERNESTO TORRES QUINTERO**  
**INGENIERO CIVIL MAGISTER EN RECURSOS HIDRÁULICOS**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**BOGOTÁ D.C.**  
**20 DE NOVIEMBRE**  
**2018**



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

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

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

### Usted es libre de:

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



### Bajo las condiciones siguientes:



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



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

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del director de tesis

Bogotá, D.C., Noviembre de 2018

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. GENERALIDADES</b> .....	<b>11</b>
1.1. ALTERNATIVA: .....	11
1.1.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y EJE TEMÁTICO. ....	12
1.2. INTRODUCCIÓN.....	13
1.3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	15
1.4. DIMENSIONAMIENTO. ....	18
1.5. PLANEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.6. MARCO DE REFERENCIA. ....	20
1.6.1. NORMAS DE AGUA POTABLE.....	20
1.6.1. GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 1988.....	22
1.6.2. MARCO TEÓRICO.....	23
1.6.3. PARAMETRO DE CALIDAD DE LAS AGUAS.....	24
1.6.4. MEZCLA RÁPIDA.....	27
1.6.5. CÁMARA DE AQUIETAMIENTO.....	28
1.6.6. CANALETA PARSHALL.....	28
1.6.7. FLOCULACIÓN.....	33
1.6.8. FLOCULACIÓN ALABAMA.....	34
1.6.9. SEDIMENTADOR.....	35
1.6.10. SEDIMENTADOR ALTA TASA.....	35
1.6.11. FILTRACIÓN RÁPIDA.....	36
1.6.12. TANQUE DE CONTACTO (CLORACIÓN).....	38
1.6.13. BOMBA HIDRÁULICA.....	39
1.6.14. TEST DE JARRAS.....	44
1.6.15. SELECCIÓN DEL MATERIAL ADECUADO, PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE LA PTAP.....	46
1.7. MARCO CONCEPTUAL.....	52
1.8. OBJETIVOS.....	55
1.8.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	55
1.9. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	56
1.10. ESTADO DEL ARTE.....	57
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	<b>59</b>



2.1.	DIAGNÓSTICO DEL MODELO DE LA PTAP. ....	59
2.2.	DISEÑO DE ALTERNATIVA DE MEJORA. ....	59
2.3.	CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA.....	60
2.4.	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA PTAP MEJORADA. ....	60
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA DE DISEÑO. ....</b>	<b>61</b>
3.1.	DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DEL MODELO DE LA PTAP. ....	61
<b>4.</b>	<b>DISEÑO ALTERNATIVA DE MEJORA. ....</b>	<b>64</b>
4.1.	CONTROL SOBRE LAS FUGAS Y REHABILITACIÓN DE LAS FASES DEL MODELO DE LA PTAP. ....	64
4.2.	DISEÑO DE CANALETA PARSHALL.....	64
4.3.	DISEÑO DE CÁMARA DE AQUIETAMIENTO.....	69
4.4.	BOMBA SUMERGIBLE. ....	72
<b>5.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA. ....</b>	<b>77</b>
5.1.	CONTROL SOBRE LAS FUGAS Y REHABILITACIÓN DE LAS FASES DEL MODELO DE LA PTAP. ....	77
5.2.	CANALETA PARSHALL. ....	83
5.3.	CÁMARA DE AQUIETAMIENTO.....	86
5.4.	BOMBA SUMERGIBLE. ....	87
<b>6.</b>	<b>EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA MEJORA PROPUESTA. ....</b>	<b>89</b>
6.1.	TOMA DE PARÁMETROS INICIALES DE AGUA CRUDA A TRATAR.....	89
6.1.1.	ALCALINIDAD TOTAL.....	90
6.1.2.	DOSIS COAGULANTE.....	91
6.1.3.	COAGULANTE.....	91
6.2.	TEST DE JARRAS. ....	94
6.3.	PUNTO DE VISTA HIDRÁULICO. ....	98
6.4.	TOMA DE PARÁMETROS FINALES DEL AGUA TRATADA.....	99
<b>7.</b>	<b>RESUMEN METODOLOGÍA DE DISEÑO.....</b>	<b>109</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>110</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>111</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>112</b>



## INDICE DE FIGURA.

Figura 1. Entrada de Caudal .....	15
Figura 2. Fugas.....	16
Figura 3. Entrada del coagulante .....	16
Figura 4. Acumulación de lodos.....	17
Figura 5. Modelo mudo .....	17
Figura 6. Características físicas del agua .....	21
Figura 7. Características del agua potable.....	21
Figura 8. Características del agua potable.....	22
Figura 9. Calidad del agua .....	22
Figura 10. Planta de coagulación y filtración convencional .....	23
Figura 11. Scale of pH .....	24
Figura 12. Conductivity, salinity & total dissolved solids.....	25
Figura 13. Turbidity.....	26
Figura 14. Canaleta Parshall.....	29
Figura 15. Nomenclatura Canaleta Parshall.....	30
Figura 16. Medidas estándar de la Canaleta Parshall .....	31
Figura 17. Caudal y altura laminar del agua.....	31
Figura 18. Alabama type Flocculator.....	33
Figura 19. Floculador Alabama .....	34
Figura 20. Teoría Sedimentador Alta Tasa .....	36
Figura 21. Submersible pump .....	40
Figura 22. Test de jarras.....	45
Figura 23. Accesorios en PVC .....	51
Figura 24. Matriz evaluación elección PTAP.....	57
Figura 25. Esquema del modelo construido por los estudiantes Edwin Hernández y Carlos Corredor .....	58
Figura 26. Ingreso del caudal al modelo .....	61
Figura 27. Llenado del sistema .....	61
Figura 28. Llenado del sistema .....	62
Figura 29. Fugas.....	62
Figura 30. Desagües ineficientes.....	63
Figura 31. Canaleta Parshall.....	68
Figura 32. Diseño Cámara de Aquietamiento .....	71
Figura 33. Curva bomba sumergible .....	76
Figura 34. Información bomba sumergible .....	76
Figura 35. Limpieza de cada fase de la PTAP .....	77
Figura 36. Limpieza de cada fase de la PTAP .....	77
Figura 37. Adaptadores con rosca .....	78
Figura 38. Refuerzo de pegante en vidrios y tuberías .....	78
Figura 39. Incorporación de válvulas de Globo y Compuerta .....	79
Figura 40. Incorporación de Válvula de Compuerta .....	79
Figura 41. Incorporación de Válvula de Globo .....	79
Figura 42. Calibración de caudal con Válvula de Compuerta .....	80

Figura 43. Rehabilitación del Filtro.....	81
Figura 44. Rehabilitación del Filtro.....	81
Figura 45. Rehabilitación del Sedimentador.....	82
Figura 46. Rehabilitación del Sedimentador.....	82
Figura 47. Rehabilitación del Flocculador .....	83
Figura 48. Rehabilitación del Flocculador .....	83
Figura 49. Construcción Canaleta Parshall .....	84
Figura 50. Construcción Canal de Transición .....	84
Figura 51. Construcción Canaleta Parshall .....	85
Figura 52. Construcción Canala de Transición.....	85
Figura 53. Cámara de Aquietamiento .....	86
Figura 54. Cámara de Aquietamiento .....	86
Figura 55. Cámara de Aquietamiento .....	87
Figura 56. Tanque de almacenamiento con Bomba sumergible dentro.....	88
Figura 57. Tanque de almacenamiento con Bomba sumergible dentro.....	88
Figura 58. Toma de parámetros iniciales agua cruda.....	89
Figura 59. Alcalinidad .....	90
Figura 60. Preparación Coagulante tipo B .....	92
Figura 61. Preparación Coagulante tipo B .....	92
Figura 62. Calibración Bomba Peristáltica .....	93
Figura 63. Test de Jarras.....	94
Figura 64. Test de Jarras.....	95
Figura 65. Floc Test de Jarras .....	95
Figura 66. Preparación Test de Jarras.....	96
Figura 67. Jarra 1 sin bentonita .....	96
Figura 68. Comparación dosis coagulantes .....	97
Figura 69. Flocculador con caudal y azul de metileno .....	98
Figura 70. Sedimentador con caudal y azul de metileno .....	98
Figura 71. Prueba de estancamiento de lodos en Sedimentador .....	99
Figura 72. Aplicación de la bentonita .....	100
Figura 73. Entrada del Coagulante tipo B .....	100
Figura 74. Bomba Peristáltica.....	100
Figura 75. Floc en Sedimentador.....	101
Figura 76. Floc en Sedimentador.....	101
Figura 77. Muestra inicial vs Muestra final.....	108
Figura 78. PTAP COAN .....	108

## INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Valores de Conductividad .....	26
Tabla 2. Tabla codo r.m. 90° .....	42
Tabla 3. Válvula de compuerta abierta.....	43
Tabla 4. Diseño Canaleta Parshall.....	65
Tabla 5. Dimensiones Canaleta Parshall .....	66
Tabla 6. Dimensiones Canaleta Parshall .....	67
Tabla 7. Diseño Cámara de Aquietamiento.....	69
Tabla 8. Cálculo succión Bomba sumergible .....	72
Tabla 9. Total Accesorios .....	74
Tabla 10. Potencia Bomba Sumergible .....	75
Tabla 11. Calibración del Caudal con válvula compuerta.....	80
Tabla 12. Parámetros Muestra Inicial.....	89
Tabla 13. Calibración Bomba peristáltica .....	93
Tabla 14. Calibración Bomba peristáltica .....	94
Tabla 15. Ensayo 1 muestra final.....	102
Tabla 16. Ensayo 2 muestra final.....	102
Tabla 17. Ensayo 3 muestra final.....	102
Tabla 18. Ensayo 4 muestra final.....	103
Tabla 19. Comparación parámetro inicial agua cruda (agua lluvia) con parámetros finales agua tratada .....	104
Tabla 20. Turbidez muestras finales .....	104
Tabla 21. Comparación parámetro inicial agua cruda (agua lluvia) con parámetros finales agua tratada del filtro rápido .....	105
Tabla 22. Eficiencia PTAP COAN .....	105
Tabla 23. Comparación parámetro valores máximos aceptables del agua potable con parámetros finales agua tratada en la PTAP COAN .....	106
Tabla 24. Comparación parámetro valores máximos aceptables del agua potable con parámetros finales agua tratada del filtro rápido .....	106
Tabla 25 Relación de Caudal respecto al coagulante y a las RPM .....	111

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO 1: CÁLCULOS BOMBA SUMERGIBLE.

ANEXO 2: CÁLCULOS CAMARA DE AQUIETAMIENTO.

ANEXO 3: CÁLCULOS CANALETA PARSHALL.

ANEXO 4: CÁLCULO RPM BOMBA PERSTÁLTICA.

ANEXO 5: DETALLE CANALETA PARSHALL.

ANEXO 6: DETALLE CÁRAMA DE AQUIETAMIENTO Y TRANSICIÓN A LA CANALETA PARSHALL.

ANEXO 7: VIDEO TEST DE JARRAS, 22 ml COAGULANTE TIPO B, SIN BENTONITA.

ANEXO 8: VIDEO TEST DE JARRAS, DIFERENTES DOSIS COAGULANTE TIPO B, CON BENTONITA.

ANEXO 9: VIDEO MODELO PTAP OPTIMIZADO.

ANEXO 10: GUÍA DE LABORATORIO DEL MODELO DE LA PTAP COAN.

ANEXO 11: MANUAL DE USO DEL MODELO DE LA PTAP COAN.

ANEXO 12: DETALLE MODELO PTAP COAN.

ANEXO 13: DETALLE FLOCULADOR ALÁBAMA, SEDIMENTADOR ALTA TASA Y FILTRO RÁPIDO

ANEXO 14: DETALLE MODELO PTAP INICIAL SIN MEJORA.

## DEDICATORIA.

*Agradezco a Dios por brindarme la paciencia necesaria, para así, alcanzar todos los objetivos propuestos durante mi formación profesional. Los grandes retos nos hacen más fuertes y solo se logran cuando se cuenta con apoyo continuo y honesto, como es lo que me ha brindado mi familia; mis padres, mis hermanos y mi abuelita. Sin ustedes no habría sido posible este logro. Solo me queda decir gracias a todas aquellas personas que hacen parte de este sueño hecho realidad, siempre los llevaré en mi corazón y estaré eternamente agradecido.*

*Doy gracias a los ingenieros, Jesús Ernesto Torres tutor de este trabajo de grado, Luz Doris Vivas evaluadora de este trabajo de grado, Juan Nicolas Meneses Monroy, Juan Sebastián de Plaza y Diego Alejandro Pulgarin, que por su paciencia y aporte con su conocimiento, nos guiaron y dieron de su tiempo, para llevar a cabo este proyecto.*

*Con gratitud llevaré el nombre de la Universidad Católica de Colombia ejerciendo mi profesión con transparencia, afecto y entusiasmo.*

*Miguel Ángel Torres Martínez.*

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. ALTERNATIVA:

**Trabajo de Investigación Tecnológica.** Consiste en la participación del estudiante en la identificación de una necesidad tecnológica, la formulación de un proyecto que responda a la misma y a los avances en el desarrollo de un prototipo, simulación o diseño.

En esta investigación tecnológica se realiza procesos de implementación como una cámara de quietamiento, canaleta Parshall, tanque de almacenamiento bomba sumergible, correcciones de caudales y sellamiento por imprecisiones constructivas los cuales deben ser consultados y estudiados en diferentes fuentes de información ya sean libros, artículos, trabajos de grado, apoyo audiovisual, visitas técnicas y sitios web, ya que, esta información es importante para la implementación tecnológica de esta investigación. Del mismo modo la información recolectada permitirá analizar el mejoramiento de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), buscando ampliar estructuralmente y ejecutar procesos que aumenten la efectividad y el fácil uso del modelo presentado.

El origen y la razón para que este modelo presentado sea tomado es un complemento de procesos para su ejecución, ya que, el modelo anterior carecía de procesos, a tal punto que la presentación y ejecución de este modelo era manual; pero lo que se quiere realizar es una implementación tecnológica que genere la facilidad al ejecutar la práctica.

Para tener claridad y conocimiento de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) se debe conocer que es un conjunto de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano. Según la UNICEF se debe tener un objetivo claro para Colombia donde se debe reducir a la mitad la proporción de la población sin acceso sostenible a agua apta para el consumo humano, por lo tanto se debe conocer los parámetros, diagnósticos y generar el conocimiento en los procesos que hay en una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) (UNICEF, 2018).

Se requiere conocer los parámetros necesarios para que la funcionalidad de la PTAP sea precisa, con el fin de que se complementen los procesos faltantes en el modelo anterior, analizando las diferentes estructuras que componen la PTAP con el fin de corregir errores de caudal, por lo que se presenta un mejoramiento funcional y técnico.

La generación de ideas para la etapa de conceptualización busca un proceso de ingeniería que sea aceptable y eficaz, de tal manera que se encuentre en los parámetros de diseño, sean novedosas y apropiadas. Su utilización permitirá ampliar el concepto de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), se busca extender la información y el concepto tanto de diseño como de un aumento en las ideas de calidad y efectividad.

Al hablar de efectividad se debe plantear un ejercicio que sea evaluado mediante la ejecución o la definición del modelo de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP); ya que se debe enseñar los conceptos que se requieren en una (PTAP) y las dosificaciones necesarias para la purificación del agua.

Dado los argumentos anteriores se considera que el trabajo de grado presentado debe estar incluido en la modalidad de trabajo investigativo tecnológico.

### **1.1.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y EJE TEMÁTICO.**

#### **1.1.1.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.**

Saneamiento de comunidades

#### **1.1.1.2. EJE TEMÁTICO.**

Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua (PTAP) a escala para uso y aprovechamiento de los estudiantes y docentes.

## **1.2. INTRODUCCIÓN.**

El agua es la sustancia más importante para los seres vivos, después del oxígeno y es una de las sustancias más importantes y abundantes en el planeta Tierra. Está presente en gran parte de los animales, vegetales y también está presente en muchos minerales. Pero cabe resaltar que tan solo el 0,26 % del agua existente en el planeta se puede consumir el cuerpo humano está compuesto de agua, en promedio una persona adulta está compuesto entre un 50 % y un 65 % por agua, el de un niño de aproximadamente un 75 %; nuestro cerebro contiene un 75 % de agua. Para que podamos tener una relación de lo importante que es el agua para nuestro organismo podemos decir que si se pierde el 10 % del peso corporal en agua estamos en situación de riesgo, y si llegamos a perder el 20 % morimos; el cuerpo humano puede vivir varias semanas sin alimentos, pero puede sobrevivir unos cuantos días sin agua (Sanchez Díaz).

El Tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales (Aguasistec solución en tratamientos de agua, 2016).

El tratamiento de aguas y las plantas de tratamiento de agua son un conjunto de sistemas y operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es que a través de los equipamientos elimina o reduce la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales (Aguasistec solución en tratamientos de agua, 2016).

El agua de calidad que es demandada para el consumo humano y animal, debe pasar por tratamientos de potabilización y tratamientos de depuración de aguas residuales, cuyo fin es obtener agua con las características adecuadas (Aguasistec solución en tratamientos de agua, 2016).

La elaboración de este documento parte de la consulta de las diferentes partes y funciones que componen una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), así mismo del diagnóstico o el estado del modelo de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) que se encuentra en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia.

Una vez obtenido el diagnóstico, se procederá a hacer la optimización o rehabilitación de este modelo de PTAP, se realizarán prácticas propias para ver que el modelo cumpla con una eficiencia adecuada en la potabilización del agua. Además, se creará una guía del modelo de la PTAP que sirva como practica de laboratorio y que tenga como función mostrar a los estudiantes de la Universidad Católica de Colombia los procesos que se llevan a cabo en el tratamiento de agua cruda.

### 1.3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

La primera planta de tratamiento que se creó en Colombia, fue en la capital del país, Bogotá D.C. en el año 1933, a causa de que no se tenía un suministro de agua potable confiable, se presentaba escasez de agua y varias enfermedades (Scribd, 2017).

Con la construcción de la planta de tratamiento mejoro la calidad de vida de los habitantes, ya que dejaron de usar el agua contaminado de los diferentes ríos que atravesaban la ciudad. Hoy en día Colombia cuenta con varias plantas de tratamiento que luchan para superar la problemática ambiental que se tiene debido a cantidad de aguas residuales que se generan en el país.

La Universidad Católica de Colombia cuenta con dos modelos de Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), los cuales no se encuentran funcionando debido al deterioro y mala manipulación de los mismos. El modelo de la PTAP con el que se desea trabajar es el más reciente, fue un trabajo de grado de los estudiantes (ya ingenieros) Edwin Javier Hernández Triana y Carlos Augusto Corredor Briceño y fue dirigido por el Ingeniero Jesús Ernesto Torres Quintero en el año 2017, se realizó un diagnóstico para saber la causa por la que este modelo de Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), no se encuentra en uso y se encontró que:

- a) Al analizar la entrada del caudal, se evidencio que el caudal no está a flujo constante, ya que la entrada del caudal se hace a mano mediante un balde y es muy difícil mantener el nivel de caudal que se necesita para cumplir el proceso de la PTAP.

*Figura 1. Entrada de Caudal*



Fuente: (Autores del Documento)

- b) Se encontraron fugas en el modelo, probablemente con la manipulación o movimiento del mismo.

*Figura 2. Fugas*



Fuente: (Autores del Documento)

- c) No se encontró donde se hace la entrada del coagulante en el modelo, pues no hay una fase de mezcla rápida que permita este proceso.

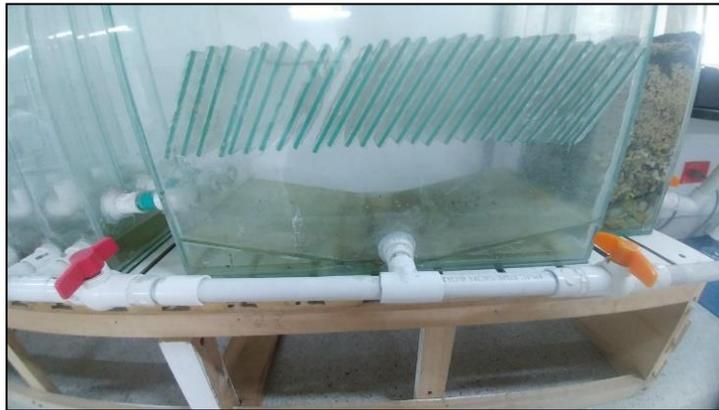
*Figura 3. Entrada del coagulante*



Fuente: (Autores del Documento)

- d) Se encontró un problema con la extracción de lodos que se acumulan en el floculador y sedimentador, se presenta estancamiento de los sólidos suspendidos, porque no salen por el desagüe correspondiente a cada fase.

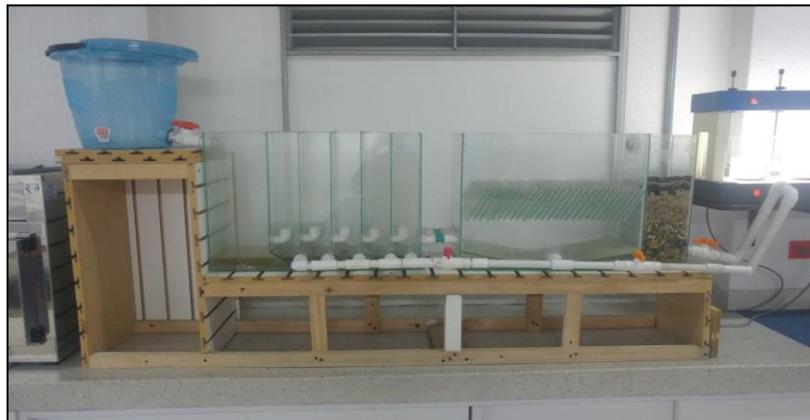
*Figura 4. Acumulación de lodos*



Fuente: (Autores del Documento)

- e) No cuenta con un manual o guía metodológica con el cual se pueda apoyar tanto el encargado de la práctica del laboratorio como los estudiantes.
- f) No cuenta con información, ni nombres que especifiquen las diferentes partes del modelo de la PTAP, es decir, el modelo se encuentra mudo, esto complicó la revisión en la última visita de los pares

*Figura 5. Modelo mudo*



Fuente: (Autores del Documento)

Se quiere optimizar el modelo de la PTAP, ya que no se encuentra en uso, con el fin de mostrar la eliminación de los agentes contaminantes que trae el agua lluvia proveniente de factores fisicoquímicos e microbiológicos y devolverla libre de estos organismos, todo este proceso sujeto de la normatividad vigente.

#### **1.4. DIMENSIONAMIENTO.**

Las dimensiones trabajadas en la mejora del presente modelo son tomadas de ejemplos pedagógicos en la construcción de obras hidráulicas descritos en textos como Purificación del agua, del autor Jairo Alberto Romero Rojas desde la página 49 hasta la pagina 75 (Mezcla Rápida) (Romero Rojas, 1999 pág. 49), Instalaciones Hidrosanitarias, de gas y aprovechamiento de aguas lluvias en edificios, del autor Rafael Pérez Carmona, ejemplo 4.13 desde la página 139 (Bombas) (Pérez Carmona, 2010 pág. 139), y páginas web como Dimensionamiento de Canaleta Parshall, del autor Edmundo Pedroza Gonzales (Pedroza González , 2016).Las dimensiones fueron trabajadas y verificadas mediante cálculos en Excel, lo cual generó tablas para el diseño de las mejoras del modelo para cualquier caso.

## **1.5. PLANEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

Las aguas no tratadas es un problema evidente en el país, se necesitan PTAP en óptimas condiciones para tener buenos resultados en los beneficios de la descontaminación de las aguas, ya que en muchos casos estas aguas provenientes de los ríos se utilizan para cultivos y el uso humano.

El laboratorio de ingeniería Civil es espacio de la Universidad Católica de Colombia encargada de apoyar labores académicas y de investigación del Departamento, en sus respectivas áreas como lo son la Geotecnia, Materiales, Estructuras, Suelos, Pavimentos, Calidad de agua, e Hidráulica.

El laboratorio de plantas - hidráulica de la Universidad Católica de Colombia cuenta con una escasa vanguardia de equipos y tecnologías acerca del tema de las PTAP, lo cual retrasa la ejecución de ensayos experimentales. El modelo de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) que se encuentra en el laboratorio no está funcionando, no posee una guía de manejo con la que se pueda basar el laboratorista para su correcto uso, se ha deteriorado con el tiempo, y posee algunas fugas. Se necesita optimizar o rehabilitar este modelo el cual tenga a disponibilidad una guía de uso muy bien estructurada, para que tanto los estudiantes como el laboratorista pueda apreciar de una manera correcta las partes que componen la PTAP y el proceso por el cual es sometida el agua cruda desde el ingreso hasta el final de la planta pasando por sus diferentes compartimientos.

Es un gran beneficio para la universidad y estudiantes tener modelos de PTAP en buen estado ya que ayuda a contribuir al desarrollo de los conocimientos durante la formación académica, además evita el problema de papeleo, gastos y tiempo que genera la salida técnica hacia una PTAP.

## **1.6. MARCO DE REFERENCIA.**

Las fuentes de agua potable están expuestas a la contaminación, a raíz de este problema se ve la necesidad de hacer un tratamiento que elimine los agentes causantes de esta contaminación, la cual, genera enfermedades. Hoy en día, se recurre a los procesos de tratamiento de agua más comunes y eficientes, los cuales contemplan una coagulación, una floculación, una sedimentación y una filtración (Centers for Disease Control and Prevention, 2015).

### **1.6.1. NORMAS DE AGUA POTABLE.**

Las normas de agua potable indican o fijan límites generales aceptables para las impurezas de las aguas que están destinadas al abastecimiento público (condiciones mínimas de calidad física, química y bacteriológica). Las normas de agua potable no se deben considerar como un criterio para evaluar o controlar la operación de las plantas de tratamiento de agua sino como especificaciones generales para la aceptación del producto. Cuando el tratamiento de las aguas está bien controlado, se pueden obtener mejores resultados que los establecidos en las normas (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002)

En Colombia los decretos que tienen como objeto la protección y control de la calidad del agua, son el decreto 1594 del año 1984 (Ministerio de Agricultura de Colombia., 1984), decreto 1575 del año 2007 (Ministerio de la Protección Social de Colombia., 2007), y la resolución 2115 del año 2007 (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia., 2007). Estos decretos y resoluciones tienen como fin monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, ya sea agua cruda o tratada en todo el territorio nacional.

En las siguientes tablas se relacionan los parámetros de mayor relevancia y control en el monitoreo de la calidad de agua, según la resolución 2115 de 2007 (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia., 2007):

Figura 6. Características físicas del agua

**ARTÍCULO 2º.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.** El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación:

**Cuadro N°. 1 Características Físicas**

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente: (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia., 2007)

Figura 7. Características del agua potable

Resolución 2115 de 2007	
Características Físicas	Valor Máximo Aceptable
Color aparente	15
Olor y Sabor	Aceptable
Turbiedad	2
Características Químicas	Valor Máximo Aceptable
Cloro residual	0.3 a 2.0
pH	6.5 a 9.0
Carbono Orgánico Total	5.0
Nitritos	0.1
Nitratos	10
Alcalinidad Total	200
Cloruros	250
Aluminio	0.2
Dureza Total	300
Hierro Total	0.3
Manganeso	0.1
Sulfatos	250
Características microbiológicas	Valor Máximo Aceptable
Coliformes totales	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Coliformes fecales	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Mercurio	0,001
Cianuro libre y disociable	0,05
Coliformes Totales	0
Escherichia coli	0
Mesófilos	≤ 100

Fuente: (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia., 2007)

En la siguiente tabla se relacionan los parámetros de mayor relevancia y control en el monitoreo de la calidad de agua, según el idean, en el índice de calidad de agua (ICA) (IDEAM, 2013):

Figura 8. Características del agua potable

Parámetro	Límite Máximo permisible
pH	6.5 – 9.5
Temperatura	CN+3 TM=32
Salinidad	-----
Sólidos Suspendidos	-----
Oxígeno disuelto	No menor al 60% y no menor a 5mgO <sub>2</sub> /l
DBO <sub>5</sub>	-----
DQO	-----
TPH	0.5
Cobre	0.05
Cinc	0.17
Plomo	0.01
Cadmio	0.005
Cromo	0.05
Hierro	0.3
Níquel	0.10
Mercurio	0.0001

Fuente: (IDEAM, 2013)

### 1.6.1. GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 1988

Figura 9. Calidad del agua

TIPO DE AGUA	ORGANISMO	VALOR GUÍA
Todo tipo de agua de bebida, así como la que se use para la preparación de hielo	E. coli o bacterias coliformes termotolerantes <sup>(b, c)</sup>	No debe ser detectado en ninguna muestra de 100 mL.
Agua que entra al sistema de distribución	E. coli o bacterias coliformes termotolerantes <sup>(b)</sup>	No debe ser detectado en ninguna muestra de 100 mL.
Agua en el sistema de distribución	E. coli o bacterias Coliformes termotolerantes <sup>(b)</sup>	No debe ser detectado en ninguna muestra de 100 mL.

a) Se debe proceder inmediatamente a una acción de investigación en caso de que E. coli sea detectada.

b) Sin embargo, E. coli es el indicador de contaminación fecal más preciso. El conteo de bacterias coliformes termotolerantes es una alternativa aceptable. Si es necesario, se debe realizar una prueba confirmatoria. Las bacterias coliformes totales no son un indicador aceptable de la calidad sanitaria de agua para consumo, particularmente en áreas tropicales, donde muchas bacterias que no tienen significado sanitario están en casi todos los acueductos sin tratamiento.

c) Se ha reconocido que la gran mayoría de acueductos de áreas rurales, especialmente de países en desarrollo, la contaminación fecal es ampliamente dispersa. Bajo estas condiciones, se deben enfocar objetivos a mediano plazo para lograr un mejoramiento progresivo.

Fuente: Vol. I. Guidelines for Drinking Water Quality. 2004.

Fuente: (Evolución de las guías microbiológicas de la OMS para evaluar la calidad del agua para consumo humano, 1984-2004)

## 1.6.2. MARCO TEÓRICO.

### PLANTA DE COAGULACIÓN Y FILTRACIÓN CONVENCIONAL PARA REMOCION DE COLOR, TURBIDEZ Y MICROORGANISMOS:

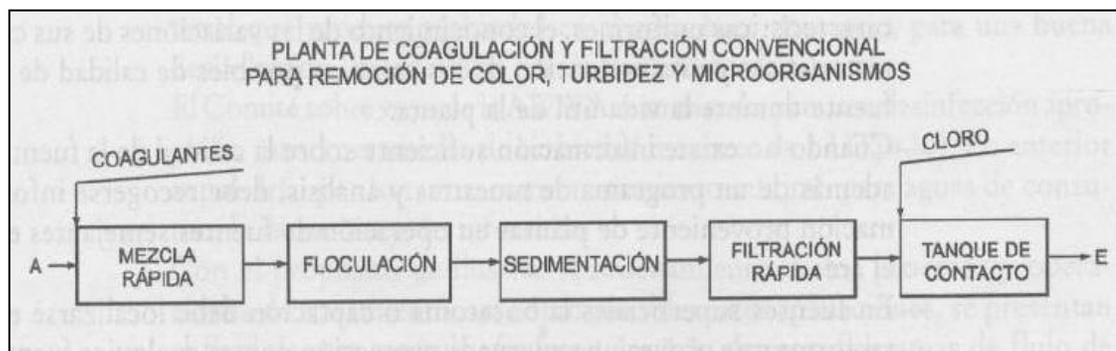
Una planta de tratamiento de agua es un conjunto de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano y otras actividades de importancia (Aguasistec solución en tratamientos de agua, 2016).

Existen diferentes tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir ciertos criterios:

- Combinación de barreras múltiples (diferentes etapas del proceso de potabilización) para alcanzar bajas condiciones de riesgo.
- Tratamiento integrado para producir el efecto esperado.
- Tratamiento por objetivo (cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante).

Si no se cuenta con un volumen de almacenamiento de agua potabilizada, la capacidad de la planta debe ser mayor que la demanda máxima diaria en el periodo de diseño. además, una planta de tratamiento debe operar continuamente, aún con alguno de sus componentes en mantenimiento; por eso es necesario como mínimo dos unidades para cada proceso de la planta (Aguasistec solución en tratamientos de agua, 2016).

Figura 10. Planta de coagulación y filtración convencional



Fuente: (Romero Rojas, 1999)

El tipo de planta convencional maneja:

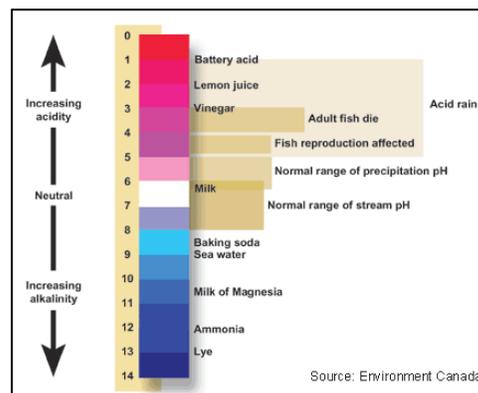
1. Mezcla rapida.
2. Floculacion.
3. Sedimentador.
4. Filtracion rapida.
5. Tanque de contacto.

### 1.6.3. PARAMETRO DE CALDIAD DE LAS AGUAS.

#### 1.6.3.1. POTENCIA DE HIDROGENIONES (PH).

Se define como la medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia. Es una escala numérica utilizada para medir la acidez y basicidad de una sustancia. Generalmente el agua potable tiene un pH entre 6 y 9 (Experimentos Científicos, 2018).

Figura 11. Scale of pH



Fuente: (USGS Science for a changing world, 2018)

#### 1.6.3.2. ALCALINIDAD.

Es una medida de neutralizar ácidos. Contribuyen, principalmente, a la alcalinidad de una solución acuosa los iones bicarbonato ( $\text{CO}_3\text{H}^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3=$ ), y oxidrilo ( $\text{OH}^-$ ). Su presencia en el agua puede producir  $\text{CO}_2$  en el vapor de calderas que es muy corrosivo y también puede producir espumas, arrastre de sólidos con el vapor de calderas, etc. (Bonsai Menorca, 2018). Se le conoce comúnmente a esta medida como “la capacidad de almacenamiento en búfer”, porque, el pH de una solución obstruida (concentración de alcalinidad en una muestra) cambiara cuando su capacidad se sobrecargue (Water Research Center, 2018).

### 1.6.3.3. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.

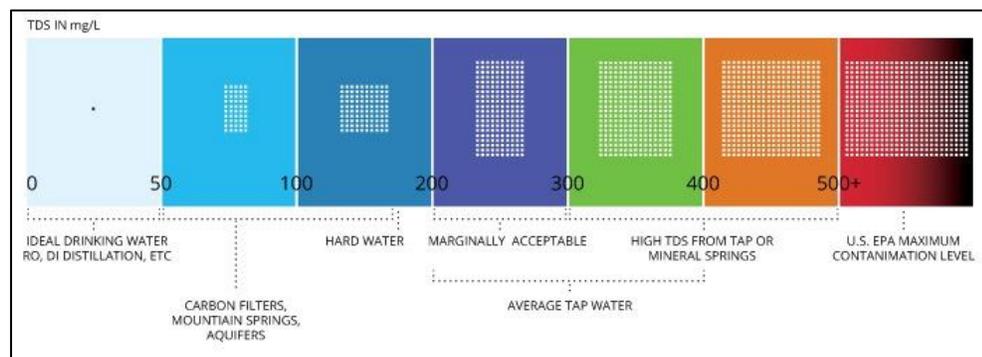
Se suelen separar por filtración y decantación. Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación (Bonsai Menorca, 2018).

### 1.6.3.4. CONDUCTIVIDAD Y RESISTIVIDAD.

Se define como la capacidad del agua para conducir la electricidad y la resistividad. Son indicativas de la materia ionizable presente en el agua. El agua pura prácticamente no conduce la electricidad; por lo tanto, la conductividad que podemos medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua. Es por lo tanto, un parámetro físico bastante bueno para medir la calidad de un agua, pero deben darse tres condiciones fundamentales para que sea representativa (Bonsai Menorca, 2018).

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
- Las mediciones se realicen a la misma temperatura.
- La composición del agua se mantenga relativamente constante.

*Figura 12. Conductivity, salinity & total dissolved solids*



Fuente: (Fundamentals of environmental measurements, 2014)

Tabla 1. Valores de Conductividad

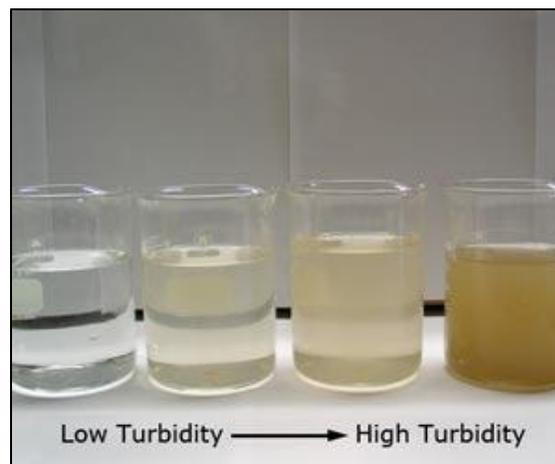
CONDUCTIVIDAD MÁXIMA	
Temperatura muestra a 25°C	Conductividad (µS/cm)
Agua ultra pura	0,05
Agua alimentación calderas	1 a 5
Agua potable	50 a 400
Agua de mar	53000
5% de NaOH	223000
10% de ClH	700000
32% de ClH	700000
31% de NO3H	865000

Fuente: (Bonsai Menorca, 2018)

### 1.6.3.5. TURBIDEZ

Generalmente es causada por partículas suspendidas o disueltas en el agua que dispersan la luz y hacen que el agua se vea turbia. La materia puede incluir sedimentos, especialmente arcilla y limo, materia orgánica e inorgánica fina, compuestos orgánicos solubles de color, algas y otros organismos microscópicos (Minnesota Pollution Control Agency, 2008).

Figura 13. Turbidity



Fuente: (NYU Hudson, 2012)

Es el grado de transparencia que pierde el agua debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos y que se presentan principalmente en aguas superficiales, en general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones. La manera con la cual se suele eliminar la turbidez es mediante procesos de coagulación, decantación y filtración (Bonsai Menorca, 2018).

El agua para consumo humano no podrá sobrepasar el valor máximo aceptable para la característica física de la turbiedad que es de 5 UNT (Unidades Nefelométricas de turbiedad) (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia., 2007).

#### **1.6.4. MEZCLA RÁPIDA.**

La mezcla rápida es una operación que se emplea en el tratamiento de agua para esparcir o desvanecer las diferentes sustancias químicas y gases en plantas de purificación de agua, el mezclador rápido tiene como propósito dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La mezcla rápida generalmente se efectúa mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resaltos hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida (Romero Rojas, 1999 pág. 49).

Según (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002 pág. 434). Los reactivos químicos se deben distribuir de manera rápida y uniforme por toda la masa líquida. Para lograr este objetivo se deben aplicar en puntos de mucha turbulencia, originados por resaltos hidráulicos, cámaras con deflectores, mezcladores mecánicos, etcétera.

Los mezcladores mecánicos se componen de tanques provistos de agitadores mecánicos; con entrada de agua por la parte inferior o por el fondo y la salida por la parte superior. En los mezcladores no mecanizados o hidráulicos se aprovecha la energía del agua para realizar la mezcla.

Los tipos más comunes son los siguientes:

a) Cámaras con deflectores:

- Deflectores para introducir movimiento horizontal al agua;
- Deflectores con movimiento vertical del agua (son más comunes).

b) Resalto hidráulico: medidores Parshall, vertederos rectangulares, rampas, etcétera.

c) Difusores en canales o en tuberías (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002 pág. 434).

### **1.6.5. CÁMARA DE AQUIETAMIENTO.**

La teoría de la cámara de quietamiento cobra especial importancia en este documento porque el modelo de la PTAP carece de esta fase importante, la cámara de quietamiento debe dar lugar a una siguiente fase correspondiente a la mezcla rápida.

Es una unidad que permite mejorar las condiciones hidráulicas, generalmente se localiza al inicio de la planta de tratamiento, además, disipa el exceso de energía de velocidad que trae el agua y también permite aforar el caudal (Solarte Delgado, 2014).

### **1.6.6. CANALETA PARSHALL.**

La teoría de la Canaleta Parshall cobra especial importancia en este documento porque el modelo de la PTAP no contempla donde efectuar la dosificación del coagulante, que se realiza en una unidad de mezcla rápida, es decir, no está presente en el modelo la agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante.

Es un elemento primario de caudal, con una amplia gama de aplicaciones para la medición de caudal en canales abiertos. Pueden ser utilizados para la medición de flujo en los ríos, irrigación y/o canales de drenaje, salida de desagües, plantas de tratamiento de aguas residuales, etc. Son de polipropileno y resistentes a temperaturas de hasta 80°C al aire libre (sin embargo, el agua en el interior del canal no debe estar congelada) (DOS 20 Ventas y Servicios Tecnológicos, 2018).

Según (Arkon flow systems, 2018), las ventajas de la canaleta parshall son:

- Pérdida de energía relativamente baja (3–4 veces inferior que en crestas pronunciadas).
- Poca sensibilidad a la distribución de velocidad en el canal de acercamiento.
- Medición de caudal incluso en condiciones de inundado.



Donde:

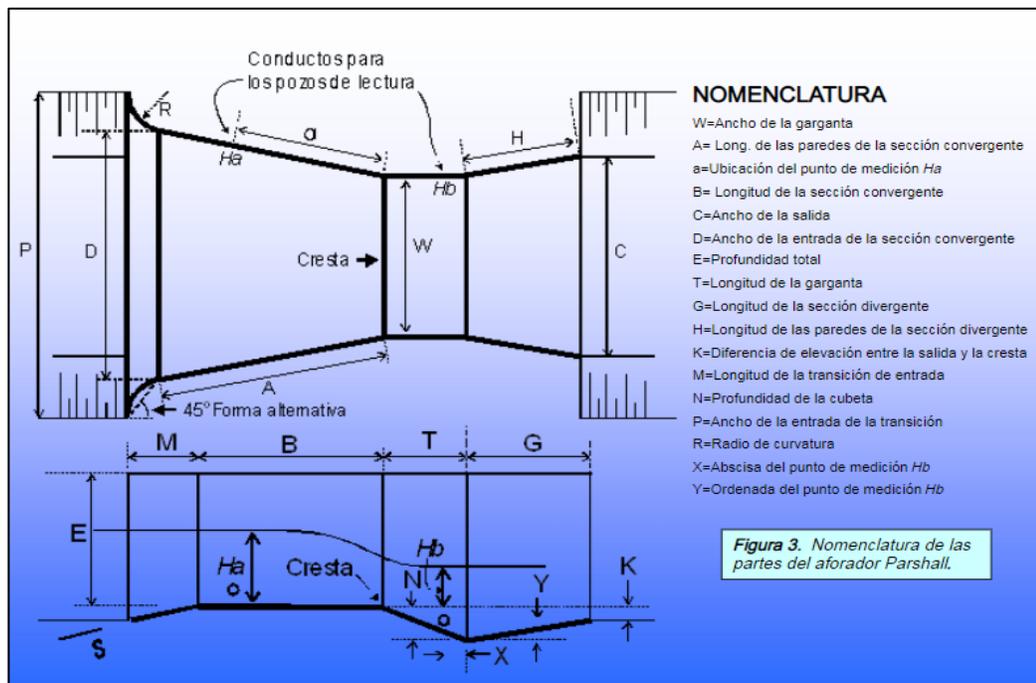
(Q): es el gasto o el caudal, para condiciones de descarga libre.

( $H_a$ ): Altura laminar de agua en una ubicación determinada del aforador ver la Figura 15.

Nomenclatura Canaleta Parshall.

(C) y (n): Son valores diferentes para cada tamaño de aforador. En función del tamaño del aforador las unidades de la ecuación pueden ser en L/s o  $m^3/s$  para el gasto y en mm o m Altura laminar  $H_a$ .

Figura 15. Nomenclatura Canaleta Parshall



Fuente: (Pedroza Gonzáles , 2016)

Figura 16. Medidas estándar de la Canaleta Parshall

**Tabla 1. Medidas estándar de los aforadores Parshall.**

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
Dimensiones en mm															
25.4	363	242	356	93	167	229	76	203	19	--	29	--	--	8	13
50.8	414	276	406	135	214	254	114	254	22	--	43	--	--	16	25
76.2	467	311	457	178	259	457	152	305	25	--	57	--	--	25	38
152.4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
228.6	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76
Dimensiones en m															
0.3048	1.372	0.914	1.343	0.610	0.845	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.492	0.508	0.051	0.076
0.4572	1.448	0.965	1.419	0.762	1.026	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.676	0.508	0.051	0.076
0.6096	1.524	1.016	1.495	0.914	1.206	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.854	0.508	0.051	0.076
0.9144	1.676	1.118	1.645	1.219	1.572	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	2.222	0.508	0.051	0.076
1.2192	1.829	1.219	1.794	1.524	1.937	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	2.711	0.610	0.051	0.076
1.5240	1.981	1.321	1.943	1.829	2.302	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.080	0.610	0.051	0.076
1.8288	2.134	1.422	2.092	2.134	2.667	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.442	0.610	0.051	0.076
2.1336	2.286	1.524	2.242	2.438	3.032	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.810	0.610	0.051	0.076
2.4384	2.438	1.626	2.391	2.743	3.397	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	4.172	0.610	0.051	0.076
3.0480	2.7432	1.829	4.267	3.658	4.756	1.219	0.914	1.829	0.152	--	0.343	--	--	0.305	0.229
3.6580	3.0480	2.032	4.877	4.470	5.607	1.524	0.914	2.438	0.152	--	0.343	--	--	0.305	0.229
4.5720	3.5052	2.337	7.620	5.588	7.620	1.829	1.219	3.048	0.229	--	0.457	--	--	0.305	0.229
6.0960	4.2672	2.845	7.620	7.315	9.144	2.134	1.829	3.658	0.305	--	0.686	--	--	0.305	0.229
7.6200	5.0292	3.353	7.620	8.941	10.668	2.134	1.829	3.962	0.305	--	0.686	--	--	0.305	0.229
9.1440	5.7912	3.861	7.925	10.566	12.313	2.134	1.829	4.267	0.305	--	0.686	--	--	0.305	0.229
12.1920	7.3152	4.877	8.230	13.818	15.481	2.134	1.829	4.877	0.305	--	0.686	--	--	0.305	0.229
15.2400	8.8392	5.893	8.230	17.272	18.529	2.134	1.829	6.096	0.305	--	0.686	--	--	0.305	0.229

Fuente: (Pedroza Gonzáles , 2016)

Figura 17. Caudal y altura laminar del agua

**2.1. ESTIMACIÓN DEL GASTO PARA DESCARGA LIBRE**

En función del ancho de garganta W, la ecuación (1) adopta los siguientes valores.

Ancho de la garganta, W	Ecuación del gasto
mm	Ha entra en mm y el gasto sale l/s
25.4	$Q = 0.001352 Ha^{1.55}$
50.8	$Q = 0.002702 Ha^{1.55}$
76.2	$Q = 0.003965 Ha^{1.55}$
152.4	$Q = 0.006937 Ha^{1.55}$
228.6	$Q = 0.013762 Ha^{1.55}$

Ancho de la garganta, W	Ecuación del gasto
m	Ha entra en m y el gasto sale m <sup>3</sup> /s
0.3048	$Q = 0.6909 Ha^{1.52}$
0.4572	$Q = 1.056 Ha^{1.538}$
0.6096	$Q = 1.428 Ha^{1.55}$
0.9144	$Q = 2.184 Ha^{1.566}$
1.2192	$Q = 2.953 Ha^{1.578}$
1.5240	$Q = 3.732 Ha^{1.587}$
1.8288	$Q = 4.519 Ha^{1.595}$
2.1336	$Q = 5.312 Ha^{1.601}$
2.4384	$Q = 6.112 Ha^{1.607}$
3.0480	$Q = 7.463 Ha^{1.6}$
3.6580	$Q = 8.859 Ha^{1.6}$
4.5720	$Q = 10.96 Ha^{1.6}$
6.0960	$Q = 14.45 Ha^{1.6}$
7.6200	$Q = 17.94 Ha^{1.6}$
9.1440	$Q = 21.44 Ha^{1.6}$
12.1920	$Q = 28.43 Ha^{1.6}$
15.2400	$Q = 35.41 Ha^{1.6}$

Fuente: (Pedroza Gonzáles , 2016)

Donde:

Las dimensiones o los valores de la Figura 15. Nomenclatura Canaleta Parshall, son tomados según la Figura 16. Medidas estándar de la Canaleta Parshall.

Las dimensiones resumen de la Canaleta Parshall son:

(L): Longitud.

$$L = B + T + G + M \quad (2)$$

Los valores de B, T, G, M, para hallar la longitud (L) se toman de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

(h): Altura.

$$A = E + K + Y \quad (3)$$

Los valores de E, K, Y, para hallar la altura (h) se toman de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

(Pr): Profundidad.

$$Pr = D + 2 * p \quad (4)$$

Los valores de D, p, para hallar la profundidad (Pr) se toman de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

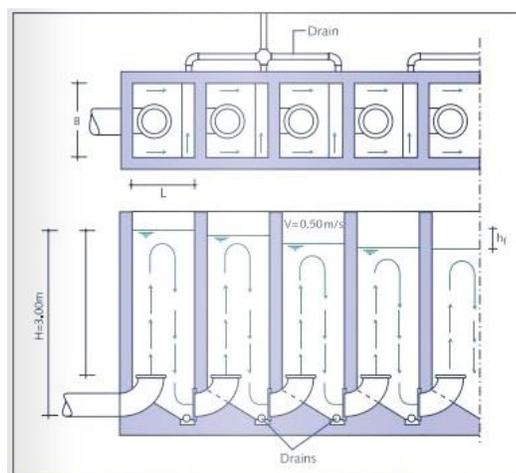
### 1.6.7. FLOCULACIÓN.

El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados (Romero Rojas, 1999).

En la floculación se interviene por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del floculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos. En partículas muy pequeñas el movimiento browniano (movimiento aleatorio) provee cierto grado de transporte de ellas creando la floculación pericinética, pero en partículas grandes el movimiento browniano (movimiento aleatorio) es muy lento y se requiere algún mecanismo de transporte que induzca la colisión de las partículas creando la floculación ortocinética (Romero Rojas, 1999).

Teniendo en cuenta que la influencia y magnitud del efecto de cada uno de los factores que participan en la floculación no están aún definidas exactamente, es importante conocer el comportamiento del agua mediante ensayos de jarras o experiencias previas en plantas de tratamiento (Romero Rojas, 1999). En la floculación, una vez se introduce y mezcla el coagulante, las partículas diminutas son puestas en contacto, una con otra y con las demás partículas presentes (Romero Rojas, 1999).

Figura 18. Alabama type Flocculator



Fuente: (Ives, 2015)

### 1.6.8. FLOCULACIÓN ALABAMA.

La teoría del Floculador Alabama cobra especial importancia en este documento porque en el modelo de la PTAP, se encuentra esta fase.

En estas unidades el agua hace un movimiento ascendente - descendente dentro de cada compartimiento, por lo que es muy importante mantener la velocidad del agua constante, esto para que en los comportamientos se dé la velocidad ascensional constante, mientras el caudal sea constante; Por esta razón, estas unidades son muy vulnerables a las variaciones de caudal.

Si el caudal de operación baja, el agua ya no hace su recorrido ascensional y solamente pasará por el fondo de la unidad de una boquilla a la otra, lo que generará un cortocircuito en esta zona y un gran espacio muerto en toda la parte superior.

El gradiente de velocidad se produce casi exclusivamente en los puntos de paso (miples, codos, boquillas, etcétera), los cuales están localizados en el fondo de la unidad y distribuidos alternadamente en uno y otro extremo (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002).

Figura 19. Floculador Alabama

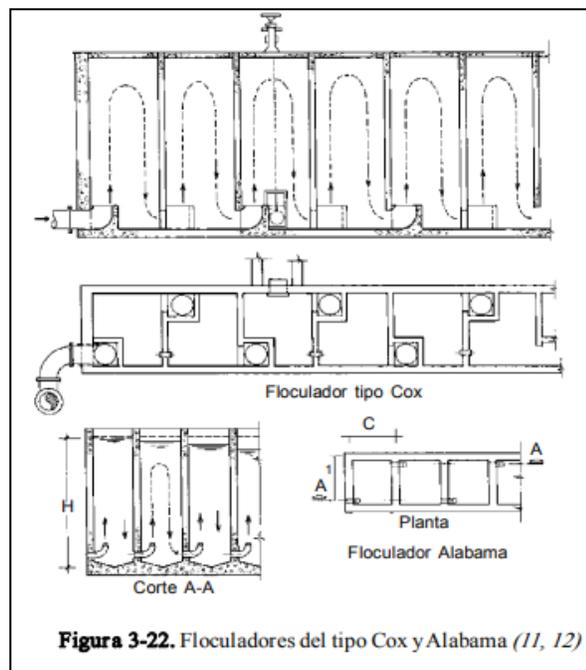


Figura 3-22. Floculadores del tipo Cox y Alabama (11, 12)

Fuente: (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002)

### **1.6.9. SEDIMENTADOR.**

Según (Romero Rojas, 1999), Se denomina sedimentación a la operación por la cual se remueven las partículas sólidas en suspensión, mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento. La sedimentación tiene dos formas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación.

La sedimentación simple es un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación. La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación, se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal.

La sedimentación puede ser remplazada por la presedimentación y aireación; generalmente va seguida de la filtración. En el tratamiento de aguas residuales, la sedimentación se usa principalmente para remover sólidos suspendidos sedimentables, tratamiento primario, remoción de material orgánico y biomasa, y para separar lodos (Romero Rojas, 1999).

### **1.6.10. SEDIMENTADOR ALTA TASA.**

La teoría del Sedimentador Alta Tasa cobra especial importancia en este documento porque en el modelo de la PTAP, se encuentra esta fase.

Según (ENEXIO 2H Water technologies, 2018). El concepto detrás de los sedimentadores alta tasa, sigue la teoría de los sedimentadores de placas paralelas, y se muestra a continuación:

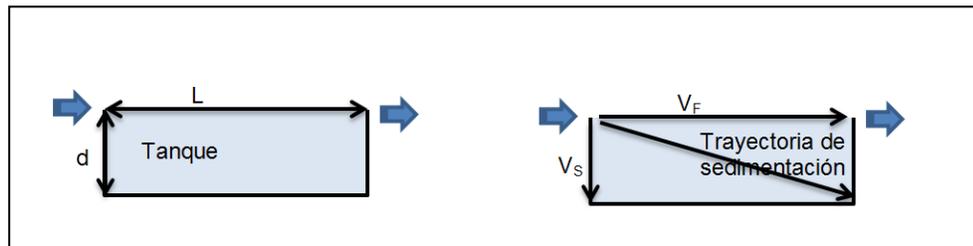
Hay una gran variedad de productos en el mercado, que se conocen como sedimentadores alta tasa tubulares. La mayoría de los productos en el Mercado, no tienen planos de sedimentación equidistantes (paralelos), que es una condición previa fundamental para la expresión matemática del comportamiento de sedimentación.

En la siguiente sección se repite la teoría de los sedimentadores de placas paralelas y muestra cómo se aplica en sedimentadores equidistantes y no equidistantes.

- **Teoría de sedimentadores alta tasa**

El patrón de sedimentación de una partícula discreta en un tanque rectangular es, que a medida que la partícula a sedimentar se desliza hacia abajo, también es llevada hacia adelante por la velocidad del flujo de líquido a través de la cuenca. Por lo tanto, si  $V_f$  es la velocidad del fluido, y  $V_s$  la velocidad de sedimentación de la partícula,  $L$  la longitud del tanque y  $d$  su profundidad (ENEXIO 2H Water technologies, 2018).

Figura 20. Teoría Sedimentador Alta Tasa



Fuente: (ENEXIO 2H Water technologies, 2018)

### 1.6.11. FILTRACIÓN RÁPIDA.

La teoría de la Filtración Rápida cobra especial importancia en este documento porque en el modelo de la PTAP, se encuentra esta fase, en la cual está presente un proceso físico fundamentado de hacer pasar el agua a través de uno o varios materiales porosos a diferentes granulometrías como lo es la arena, la antracita, la grava fina y la grava gruesa.

Según (Romero Rojas, 1999 pág. 193). El primer filtro de arena se inventó en Escocia en 1804. En 1829 la Compañía del río Timesis, en Londres, emprendió la construcción de filtros lentos de arena y, en 1892, se demostró su eficiencia para control biológico en contra de la epidemia de cólera ocurrida en Hamburgo.

La producción de agua clara y cristalina es muy importante para el suministro de agua segura y se requiere de la filtración. Aunque, cerca del 90% de la turbiedad y el color son removidos por la coagulación y la sedimentación una cierta cantidad pasa al tanque de sedimentación y requiere su remoción. Por ello, para lograr la clarificación final se usa la filtración a través de medios porosos: como lo son la arena y la antracita.

En la planta de purificación y tratamiento de agua, la filtración remueve el material suspendido medido en la práctica como turbiedad, compuesto de floculo, metales oxidados y microorganismos. La remoción de microorganismos es de gran importancia ya que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y, sin embargo, son removibles mediante filtración.

Lo anterior indica porque se considera que el propósito principal de la filtración es remover turbiedad e impedir la interferencia de la turbiedad con la desinfección, al proveer protección a los microorganismos de la acción del desinfectante (Romero Rojas, 1999 pág. 193).

Según (Academia Nacional de Ciencias). La filtración es un proceso físico fundamentado en el paso de una mezcla sólido - fluido (líquido o gas) a través de un medio más o menos poroso a diferentes granulometrías, el cual retiene los sólidos permitiendo, por el contrario, el paso del fluido. Los sistemas de filtración tratan el agua pasándola a través de lechos de materiales granulares (p.ej., arena) que retiran y retienen los contaminantes. Los sistemas de filtrado convencionales, directos, lentos de arena y de tierra diatomácea hacen todos un buen trabajo al eliminar la mayoría de protozoos, bacterias y virus (si se usa la coagulación). Usualmente, los filtros de bolsa y cartucho no eliminan los virus y muy pocas bacterias.

Las aplicaciones de los procesos de filtración son muy extensas, encontrándose en muchos ámbitos de la actividad humana, tanto en la vida doméstica como de la industria general. La filtración convencional es una operación de varias etapas. Primero, se agrega un coagulante químico como sales de hierro o de aluminio al agua fuente. Después, se agita la mezcla para inducir la unión de las partículas pequeñas en suspensión para formar grumos más grandes o "flóculos" más fáciles de retirar. Estas masas coaguladas, o "flóculos", se dejan asentar fuera del agua, para que se lleven consigo muchos contaminantes. Al terminar estos procesos, el agua se pasa a través de filtros de manera que las partículas restantes se adhieran por sí mismas al material de filtro (Academia Nacional de Ciencias).

### **1.6.12. TANQUE DE CONTACTO (CLORACIÓN).**

La teoría del tanque de contacto (cloración), cobra especial importancia en este documento porque en el modelo de la PTAP, no se encuentra esta fase, será importante para posible optimización en un futuro, ya que, es una fase importante dentro de una PTAP convencional.

La desinfección del agua en las plantas de tratamiento de agua se realiza con cloro y, por ello, el término desinfección comúnmente se substituye por cloración.

La desinfección es una medida que se debe adoptar en todos los sistemas de abastecimiento, bien con carácter correctivo, bien preventivo. Esto se debe a que toda agua pura o purificada en una estación de tratamiento puede tener un largo recorrido hasta el momento en que es consumida. Del mismo modo, los reservorios pueden ocasionar su contaminación (NSF, 2018).

La cloración se puede realizar con los siguientes elementos:

- a) Cloro líquido.
- b) Cal clorada
- c) Hipocloritos.

Se suministra en cilindros especiales, bajo presión, con una pureza de hasta 99,99%, con pesos de 40, 68 y 900 kilogramos. Cuando se retira el gas del recipiente, la presión interior disminuye y se pierde calor. Para conservar el calor y la presión, se necesita una fuente de calor externa que puede ser agua o un irradiador en el caso de temperaturas bajas (frío). La cantidad de cloro que se puede retirar de los cilindros a una temperatura de 25 oC sin congelación será:

8 kg/día por cilindro de 40 kg;

16 kg/día por cilindro de 68 kg;

180 kg/día por cilindro de 900 kg.

En caso de que se necesiten cantidades mayores, se utilizan baterías de cilindros, pero cada cilindro debe proporcionar solo la cantidad indicada anteriormente (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002 págs. 485-487).

### **Precauciones sobre el uso del cloro líquido**

Cuando el cloro se utiliza sin cuidado, es peligroso para las personas y puede destruir materiales. Por ello, se necesitan cuidados constantes de parte de los operadores de las plantas de tratamiento de agua, así como un mantenimiento eficaz en el equipo de cloración:

Los cloradores se deben mantener en temperatura ambiente entre 10 y 30 oC. En ningún caso se deben mantener sobre 65 oC. Cuando el cloro es altamente tóxico, es indispensable usar una máscara. El gas seco no es corrosivo; las tuberías que conectan los cilindros a los aparatos dosificadores pueden ser de cobre, pero la solución concentrada de cloro es altamente corrosiva, por lo cual sus tuberías deben ser de material adecuado (caucho, tuberías de plástico PVC, etcétera). Para verificar y localizar pequeñas fugas de cloro, se utiliza amoniaco en los cilindros o en los dosificadores. La combinación de amonio con cloro produce un humo blanco visible. Nunca se debe aplicar agua en la fuga de cloro, porque se formará ácido clorhídrico (cloro húmedo), que es muy corrosivo y con lo cual aumentará la fuga (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002 págs. 485-497).

La buena calidad del agua potable es algo que muchos de nosotros damos por sentado. Debido a que la calidad del agua puede variar según el lugar donde viva, es importante saber de dónde proviene el suministro de agua potable y si contiene impurezas que puedan representar un riesgo para la salud (NSF, 2018).

### **1.6.13. BOMBA HIDRÁULICA.**

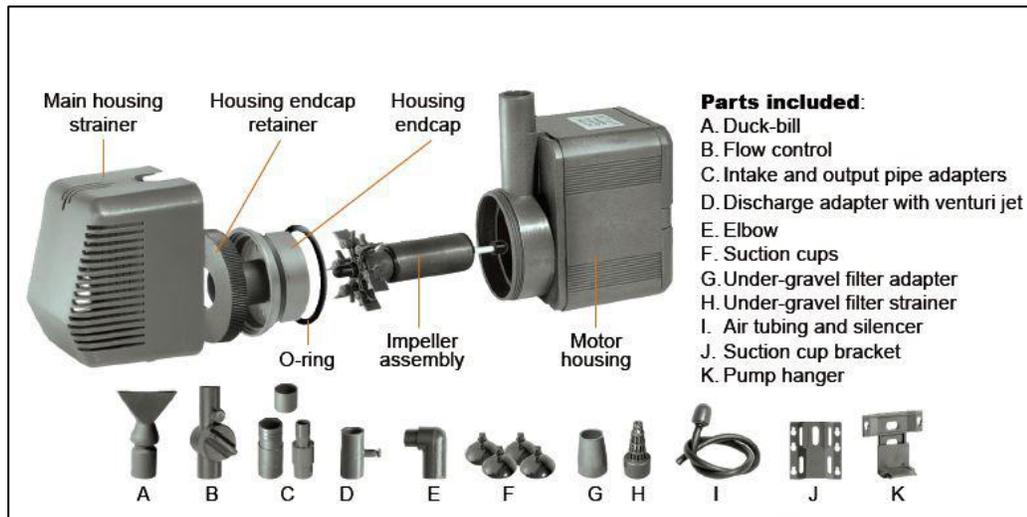
Se llama bomba hidráulica, por lo tanto, a la máquina que se encarga de transformar la energía mecánica que permite su accionar en energía de un fluido incompresible que ella misma desplaza (energía dinámica). Al aumentar la energía de este fluido, también incrementa su altura, su velocidad o su presión. Por eso las bombas hidráulicas se emplean para desplazar el fluido desde un lugar de menor altitud o presión hacia otro con mayor altitud o presión (Pérez Porto, y otros, 2018).

### 1.6.13.1. BOMBA SUMERGIBLE.

La teoría de la Bomba Sumergible cobra especial importancia en este documento porque en el modelo de la PTAP, no posee un sistema en el que ingrese el caudal de una forma constante, es decir, no hay como desplazar el agua lluvia de un lugar a otro de una manera constante.

Las bombas sumergibles contienen un impulsor sellado a su carcasa que permite bombear el líquido en el que se encuentran sumergidas hacia el exterior. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de bombeo significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido (BombaSumergible, 2016).

*Figura 21. Submersible pump*



Fuente: (American Aquarium, 2018)

### 1.6.13.2. CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA.

La curva característica de una bomba representa la altura a la que la bomba puede impulsar distintos caudales. Normalmente la curva característica crea para una misma velocidad de giro y en ella también podemos observar la potencia consumida. La altura que se representa en las curvas características de las bombas es la altura dinámica total (Bragado Acaraz, 2018).

Para el diseño de la bomba sumergible más adecuada al modelo de la PTAP los cálculos fueron con base en el libro de Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones del autor Rafael Pérez Carmona (Pérez Carmona, 2010). Las formulas necesarias para escoger la bomba sumergible más adecuada son:

- Área (A):

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (5)$$

- Caudal (Q): Este caudal debe pasarse a m<sup>3</sup>/s (metros cúbicos por segundo) para realizar los cálculos, también se debe tener ese caudal en L/h (litros por hora), L/s (litros por segundo) o GPM (galones por minuto), para comparar el caudal con la curva característica con que viene la bomba de fábrica.

- Velocidad (v):

$$v = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Donde:

(Q): Caudal en m<sup>3</sup>/s

(A): Área en m<sup>2</sup>.

- Cabeza de velocidad (hv):

$$hv = \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Donde:

(v): Velocidad en m/s

(g): Gravedad del lugar donde va a estar ubicada en m/s<sup>2</sup>.

- Longitud Total (Lt):

$$Lt = Lh + Lv + La \quad (8)$$

Donde:

(Lh): Longitud horizontal en m.

(Lv): Longitud vertical en m.

(La): Longitud de accesorios en m.

Para obtener la longitud de accesorios (La) en metros (m), se revisan las tablas del libro de Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones del autor Rafael Pérez Carmona. En las cuales se ingresa por el tipo de accesorio, el diámetro (en pulgadas) y el tipo de material que se tiene (Pérez Carmona, 2010 págs. 60-69).

*Tabla 2. Tabla codo r.m. 90°*

<b>Codo radio medio 90° (longitudes equivalentes en m)</b>	
<b>Diámetro (pulgadas)</b>	<b>Coeficiente PVC (m)</b>
1/2	0,28
3/4	0,39
1	0,50
1 1/4	0,61
1 1/2	0,72
2	0,95
2 1/2	1,17
3	1,39
4	1,83
6	2,72
8	3,61
10	4,49
12	5,38
14	6,27

Fuente: (Pérez Carmona, 2010)

Tabla 3. Válvula de compuerta abierta

Válvula de compuerta abierta (longitudes equivalentes en m)	
Diámetro (pulgadas)	Coefficiente Bronce o Cobre (m)
1/2	0,09
3/4	0,12
1	0,15
1 1/4	0,18
1 1/2	0,21
2	0,28
2 1/2	0,34
3	0,41
4	0,53

Fuente: (Pérez Carmona, 2010)

- Perdida J (J):

$$J = j * Lt \quad (9)$$

Donde:

(Lt): Longitud total en m.

(j): Perdida en m/m.

- Altura dinámica total (hd):

$$hd = J + Lv + hv \quad (10)$$

Donde:

(J): Perdida en m.

(Lv): Longitud vertical en m.

(hv): Cabeza de velocidad en m.

- Potencia de la Bomba (PHP):

$$PHP = \frac{\gamma * hd * Q}{76 * n} \quad (11)$$

Donde:

( $\gamma$ ): Peso específico del fluido en kg/l.

(hd): Altura dinámica total en m.

(Q): Caudal en l/s.

(n): Eficiencia de la bomba (entre 0,50 y 0,70).

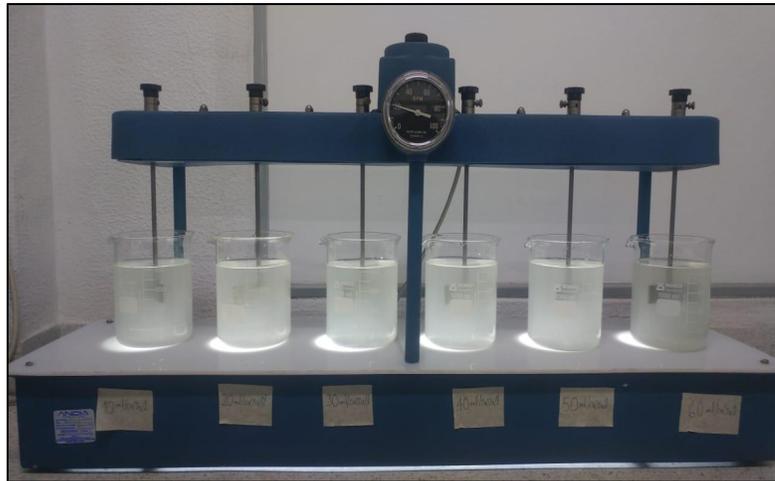
Generalmente para buscar la bomba sumergible adecuada a los cálculos realizados, se deberá hacer la conversión de la potencia que está calculada en unidades horsepower (HP) a unidades watts (w).

#### 1.6.14. TEST DE JARRAS.

La teoría del Test de Jarras cobra especial importancia en este documento porque en el modelo de la PTAP, se necesita saber la dosis óptima del coagulante a trabajar.

Consiste en una simulación que se hace en vasos de precipitado, recreando el proceso de coagulación-floculación que se producirá en la planta de tratamiento y así evaluar distintos parámetros durante o al final de los ensayos para caracterizar su funcionamiento. El proceso de coagulación se aplica extensivamente en la potabilización de agua, en la depuración de aguas tanto urbanas como industriales y el acondicionamiento de aguas para su utilización y reutilización en procesos industriales. Los coagulantes más utilizados en la purificación de agua son sales de hierro ( $\text{FeCl}_3$ ) y Aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

Figura 22. Test de jarras



Fuente: (Autores del Documento)

#### 1.6.14.1. COAGULACIÓN:

Se denomina a la desestabilización de las partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas. La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma

#### 1.6.14.2. SISTEMAS DE SIMULACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN.

Estos sistemas consisten en simular en unos vasos de precipitado o jarras el proceso de coagulación que se produce en la planta de tratamiento y evaluar distintos parámetros durante o al final de los ensayos para caracterizar su funcionamiento. Las pruebas de jarras pueden utilizarse tanto para controlar la coagulación-floculación de una planta de tratamiento existente como para obtener los datos de diseño para el proyecto de nuevas unidades. Con los sistemas de simulación se pueden determinar los siguientes parámetros:

- Determinación de dosis óptima mediante la evaluación de:

- Evaluaciones cualitativas:
  - a. Tamaño del floc producido
  - b. Tiempo inicial de formación del floc
- Evaluaciones cuantitativas:
  - a. Determinaciones físicas: turbiedad y color residual
  - b. Determinaciones químicas: pH, alcalinidad, hierro, aluminio residual
- Determinación de la velocidad de sedimentación.
- Determinación de la dosis óptima de coagulante. El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de partículas coloidales en la planta y hace que se forme un floc pesado y compacto que quede fácilmente retenido en los sedimentadores y no se rompa al pasar por el filtro. Debe observarse que no necesariamente el floc que sedimenta rápidamente es el que queda retenido en el filtro con más facilidad. El floc que se busca, por tanto, es aquel que da el mayor rendimiento en el conjunto de los procesos de clarificación (Calí, 2016).

#### **1.6.15. SELECCIÓN DEL MATERIAL ADECUADO, PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE LA PTAP.**

Se busca dar continuidad a los tipos de materiales con los que se construyó el modelo de la PTAP (vidrio y PVC). Ya que son materiales que contribuyen a la protección del medio ambiente. Además, de que el propósito es visualizar cada uno de los procesos que se presentan en el modelo, tienen beneficios como la fácil instalación y la alta la resistencia.

##### **1.6.15.1. VIDRIO.**

Los vidrios forman un grupo familiar de cerámicas. La nobleza del vidrio reside en un conjunto de cualidades que son la transparencia óptica, la resistencia, el aislamiento y la facilidad con que puede fabricarse. El vidrio es un material resistente, pero también es frágil y peligroso cuando sufre roturas. Y por este motivo debería evitarse su uso intuitivo o irresponsable, que es utilizar un tipo de vidrio que no sea adecuado para el uso que se le da (Hernández Triana, y otros, 2017 pág. 17).

- Características y propiedades:
  - a) Ópticas: Transparencia, color, reflexión.
  - b) Mecánicas: Indeformable, Resistente a la abrasión.
  - c) Térmicas: Aislamiento, resistente al fuego.
  - d) Acústicas: Atenuación acústica.
  - e) Eléctricas: Resistividad, aislamiento.
  - f) Químicas: Estabilidad, resistencia al medio ambiente.

Estas características y propiedades se pueden clasificar en exigencias muy claras que se les hacen a los vidrios cuando de construir se trata.

Cada día se realizan más construcciones en todo el mundo en las cuales uno de los principales elementos de trabajo es el vidrio y es que le da un toque de elegancia a la estructura el cual la vuelve atractiva ante los ojos de los espectadores (Hernández Triana, y otros, 2017).

Ventajas del vidrio:

- El Vidrio tiene infinitas posibilidades de utilización
- El Vidrio es un material higiénico y aséptico
- El Vidrio es un óptimo aislante térmico
- El Vidrio es un material resistente hasta tal punto
- El Vidrio es maleable durante su conformación (Hernández Triana, y otros, 2017)
- El Vidrio o es un material resistente
- El Vidrio o es durable y fiable
- El Vidrio o es reutilizable

- El Vidrio o es reciclable

Vidrio y medio ambiente: Material ecológico por excelencia, el vidrio es el único material de embalaje reciclable al 100%. Contribuye así a la protección del Medio Ambiente. Utilizando la tecnología apropiada, la producción de vidrio es totalmente eficiente, pues no hay desperdicios. Los restos de vidrio regresan nuevamente al proceso productivo (Hernández Triana, y otros, 2017).

#### **1.6.15.2. TUBERÍA Y ACCESORIOS EN PVC.**

El PVC para tuberías y accesorios es el material ideal a usar, ya que, por su superficie prácticamente lisa, se pueden hacer circular los fluidos de una manera más eficiente, además, se encuentran muchos beneficios al utilizar el PVC como lo es la fácil instalación, la resistencia química, la resistencia mecánica, la resistencia al fuego, la resistencia a la Corrosión interior, la resistencia a la corrosión externa, la inmunidad al Ataque Galvánico o Electrolítico, que es libre de toxicidad, olores y sabores, que es libre de corrosión, las pérdidas por fricción son bajas, los costos de la instalación son bajos, es libre de Mantenimientos (Tuberics pvc, 2010).

- **Fácil instalación**

Las tuberías en PVC y CPVC son ligeras en peso (aproximadamente la mitad del peso del aluminio y una sexta parte del peso del Acero). Las paredes interiores son lisas y sin costura. No se requieren herramientas especiales por cortar. Las tuberías pueden ser instaladas utilizando uno de los siguientes métodos: 1. Soldada 2. Roscada 3. Bridada 4. Junta Ranurada (Roll Grooved) 5. Espigo-Campana (Push-On) (Tuberics pvc, 2010).

- **Resistencia química**

El PVC y el CPVC son materiales inertes y se caracterizan por su alta resistencia a la corrosión, a los ataques químicos debido a soluciones salinas, ácidos, alcoholes, y muchos otros químicos.

Estas tuberías son confiables en aplicaciones corrosivas y no transmiten ningún sabor u olor ni reaccionan con los fluidos que conduce ni actúa como un catalizador. No existe ninguna posibilidad de contaminación, enturbiamiento, enlodamiento, decoloramiento o alteración de los procesos químicos (Tuberics pvc, 2010).

- **Resistencia mecánica**

Las tuberías de PVC y CPVC son muy elásticas (resilientes), duras y durables. Poseen una aceptable resistencia a la tracción y al impacto. Estas tuberías están capacitadas para soportar presiones altas por períodos largos. Su temperatura Máxima de servicio es 140 °f (60 °c) con un esfuerzo de diseño de 2000 psi (Tuberics pvc, 2010).

- **Resistencia al fuego**

El PVC y CPVC son productos auto- extingüibles y no son combustibles. Ellos cumplen con la Norma ASTM E-84 (Tuberics pvc, 2010).

- **Resistencia a la Corrosión interior**

El PVC y CPVC resiste el ataque químico de la mayoría de los ácidos, sales y medios orgánicos tales como los alcoholes e hidrocarburos alifáticos, dentro de ciertos límites de temperatura y presión. Estos materiales proveen la resistencia química necesaria, eliminando las desventajas que tienen ciertos materiales metálicos, la fibra de vidrio, la madera, la cerámica u otros materiales especiales resistentes a la corrosión que anteriormente tenían que ser usados (Tuberics pvc, 2010).

- **Resistencia a la corrosión externa**

Los humos industriales, la humedad, las aguas salinas, la intemperie, o las condiciones subterráneas respecto al tipo de suelo o humedad encontradas, no afectan para nada el PVC ni el CPVC. Los arañazos o abrasiones externas de la superficie no son puntos vulnerables a los ataques corrosivos (Tuberics pvc, 2010).

- **Inmunidad al Ataque Galvánico o Electrolítico**

El PVC y el CPVC son inherentemente inmunes a la acción galvánica o electrolítica. Estas tuberías pueden usarse enterradas, bajo el agua, en presencia de metales y pueden ser conectadas a metales (Tuberics pvc, 2010).

- **Libre de toxicidad, olores y sabores**

El PVC y el CPVC no son tóxicos, son inodoros e insaboros. Ellos han sido listados por la NSF (National Sanitation Foundation) para el uso con agua potable (Tuberics pvc, 2010).

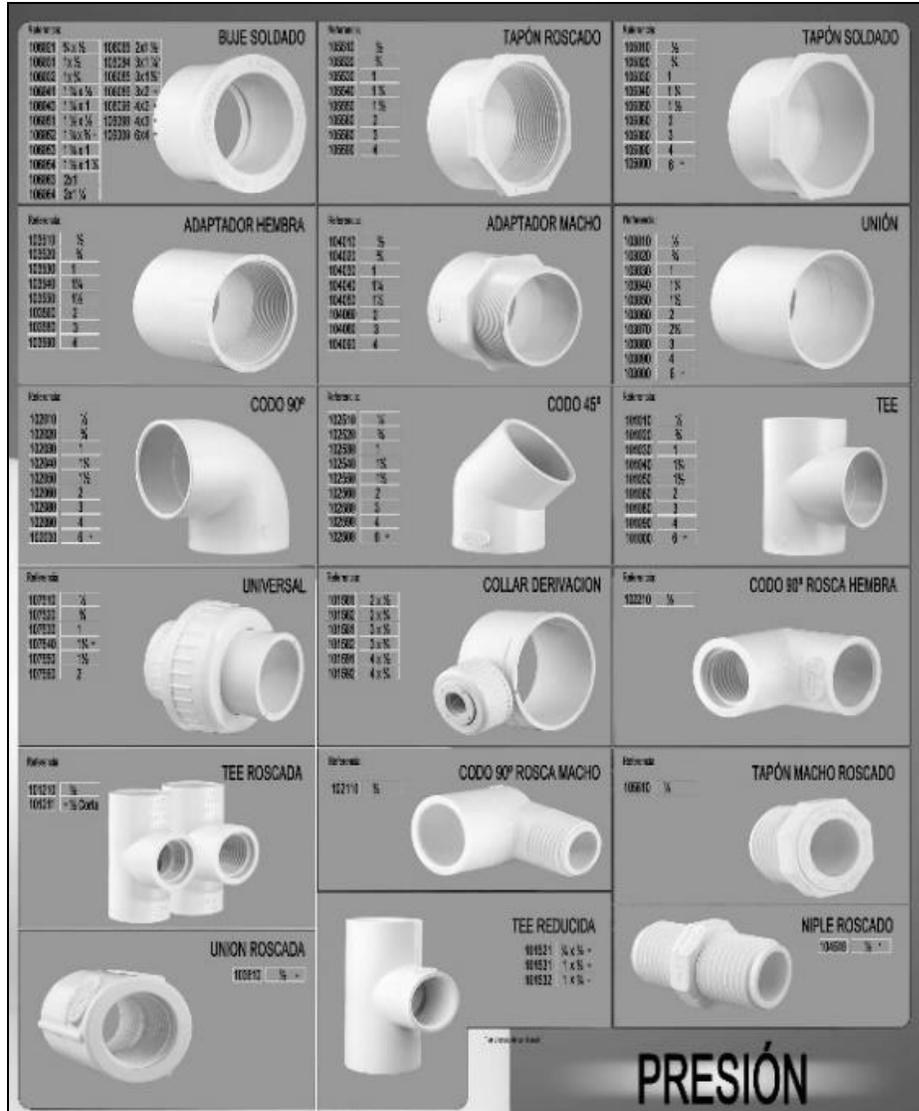
- **Libre de corrosión**

Con muchos materiales para tubería, la corrosión ligera puede ocurrir. Las partículas corroídas pueden contaminar el fluido conducido por tuberías, complicando el proceso más allá, o causando mal sabor o descoloramiento (Tuberics pvc, 2010).

- **Pérdidas por fricción son bajas**

Las suaves superficies interiores de las tuberías de PVC y CPVC comparadas con las tuberías metálicas u otros materiales, aseguran bajas pérdidas por fricción y proporcionan movimiento de flujos altos. Además, como las tuberías de PVC y CPVC no se oxidan con el tiempo, se puede garantizar que se mantendrá el caudal inicial por toda la vida útil del sistema de tubería (Tuberics pvc, 2010).

Figura 23. Accesorios en PVC



Fuente: (Compañía General de Plásticos LTDA., 2014)

## 1.7. MARCO CONCEPTUAL.

El agua que se consume de manera habitual cuenta con diversos procesos que permiten que esta sea potable, sin embargo, ésta puede llegar a contaminarse por sustancias o microorganismos que pueden afectar a la salud; cuando hablamos de agua potable o agua residual hay que tener en cuenta los siguientes conceptos, que son usados en la purificación y limpieza del agua.

**Aguas residuales:** Aguas resultantes de actividades industriales que se vierten como efluentes.

**Control (ambiental):** Vigilancia y seguimiento (monitoreo externo) periódico y sistemático sobre el desarrollo y la calidad de procesos, comprobando que se ajustan a un modelo preestablecido, sinónimo de fiscalización ambiental.

**Cuerpo de agua:** Acumulación de agua corriente o quieta, que en su conjunto forma la hidrósfera; son los charcos temporales, esteros, manantiales, marismas, lagunas, lagos, mares, océanos, ríos, arroyos, reservas subterráneas, pantanos y cualquier otra acumulación de agua.

**Descarga:** Vertido de agua residual o de líquidos contaminantes al ambiente durante un periodo determinado o permanente.

**Desecho:** Denominación genérica de cualquier tipo de productos residuales o basuras procedentes de las actividades humanas o bien producto que no cumple especificaciones. Sinónimo de residuo.

**Monitoreo ambiental:** Seguimiento permanente y sistemático mediante registros continuos, observaciones y/o mediciones, así como por evaluación de los datos que tengan incidencia sobre la salud y el medio ambiente, efectuado por la propia empresa.

**Fuente de contaminación:** Fuente única identificable y localizada de contaminación del aire, agua o térmica, acústica, lumínica, etc.

Los conceptos territoriales y de organización son importantes para entender bien como está ubicada geográficamente el proyecto que se va a realizar o el terreno que se utilizara para los procesos constructivos.

**Área de influencia:** Comprende el ámbito espacial en donde se manifiestan los posibles impactos ambientales y socioculturales ocasionados por las actividades hidrocarburíferas.

**Ciudad:** Se define como “ciudad” a los asentamientos humanos de más de 5.000 personas

**Disposición final:** Forma y/o sitio de almacenamiento definitivo o bien forma de destrucción de desechos.

**Geomorfología:** Estudia las formas superficiales de la tierra, describiéndolas (morfología), ordenándolas e investigando su origen y desarrollo (morfogénesis).

Los sistemas biológicos son redes complejas de entidades biológicas relevantes. Por lo general, se usa para referirse a sistema de órganos y tejidos en el humano los procesos que pueden ser perjudiciales para el habitad o el ambiente, estos conceptos deben estar claro para evitar daños humanos o en el medio ambiente.

**Ambiente:** Conjunto de elementos bióticos y abióticos, y fenómenos físicos, químicos y biológicos que condicionan la vida, el crecimiento y la actividad de los organismos vivos. Generalmente se le llama medio ambiente.

**Antropogénico:** Material o contaminante que resulta de la actividad humana. Los contaminantes antropogénicos son el resultado de vertidos o derrames, más que de sucesos naturales tales como el fuego en los bosques.

**Área de influencia directa:** Comprende el ámbito espacial en donde se manifiesta de manera evidente, durante la realización de los trabajos, los impactos socio-ambientales.

**Emisión:** Descarga de contaminantes hacia la atmósfera.

**Sustrato:** Compuesto que puede ser empleado como fuente de carbono, energía o nutrientes para el metabolismo microbiano.

**Caudal:** Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente.

**Efluente:** Que fluye al exterior, descargado como desecho con o sin tratamiento previo; por lo general se refiere a descargas líquidas hacia cuerpos de aguas superficiales.

**Eficiencia de tratamiento:** Evaluación de las condiciones de operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que utilizan en las PTAP O PTAR.

**Tratamiento avanzado:** método utilizado para procesos de tratamiento de agua no convencionales, utilizados para el mejoramiento del agua.

**Tratamiento convencional:** Es un sistema de tratamiento integrado que incluye todos los procesos para la obtención de agua potable.

Para los procesos de legalidad se debe tener en cuenta leyes y artículos que se deben acatar en los procesos de legalidad y de realización en este tipo de proyectos.

**Límite permisible:** Valor máximo de concentración de elemento(s) o sustancia(s) en los diferentes componentes del ambiente, determinado a través de métodos estandarizados, y reglamentado a través de instrumentos legales.

**Saneamiento ambiental:** ES el conjunto de acciones, técnicas y socioeconómicas de salud pública que tienen por objetivo alcanzar niveles crecientes de salubridad ambiental. Comprende el manejo sanitario del agua potable, las aguas residuales, los residuos orgánicos.

*Toda la información, conceptos o definiciones del marco conceptual fue obtenida de (Estudio de Impacto Ambiental por la contratación y operación de las nuevas instalaciones del Diario, 2010).*

## **1.8. OBJETIVOS.**

Optimización del modelo de la PTAP que se encuentra en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, de acuerdo a las normas y estándares nacionales

### **1.8.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Diagnosticar por un análisis técnico, las operaciones unitarias que se presentan en la fase de una P.T.A.P., incluyendo calidad de agua y eficiencia.
- Recolectar información existente sobre las partes que componen una planta de Tratamiento de agua potable (PTAP).
- Aplicar herramientas y estrategias de docentes y textos guía, para analizar y optimizar el modelo de la PTAP en Universidad Católica de Colombia.
- Rehabilitar el modelo de la PTAP del laboratorio de la Universidad Católica de Colombia
- Realizar una guía de laboratorio, para la práctica de tratamiento de aguas crudas, con el fin de garantizar un buen uso del modelo de la PTAP y contribuir al desarrollo de conocimientos de los estudiantes.

## **1.9. ALCANCES Y LIMITACIONES.**

En el presente trabajo se llevó a cabo un estudio sobre las fases que conforman una PTAP, para poder optimizar el modelo que se encuentra en el laboratorio de plantas – hidráulica de la Universidad Católica de Colombia, cuyo fin sea de labor académica e investigación para fortalecer los conocimientos acerca de la potabilización del agua. Se mostró la metodología que se empleó teniendo en cuenta herramientas y estrategias de docentes y textos guía, recomendaciones y normatividad vigente para la elaboración y presentación de este modelo.

El presente trabajo cuenta con varias limitaciones, como es la capacidad y disponibilidad de tiempo requerido en el laboratorio, los fondos necesarios para la ejecución del proyecto.

## 1.10. ESTADO DEL ARTE.

El modelo de la PTAP desarrollado como trabajo de grado de los estudiantes (ya ingenieros) Edwin Javier Hernández Triana y Carlos Augusto Corredor Briceño en el año 2017, consta de tres sistemas: un Floculador Alabama, un Sedimentador Alta Tasa y un Filtro rápido por gravedad. El modelo de la PTAP fue diseñado con un caudal de diseño  $Q=0,2$  L/s (litros por segundo), el cual deberá permanecer constante en el sistema.

Los sistemas de Floculador tipo Alabama, Sedimentador Alta Tasa y Filtro Rápido fueron seleccionados dentro de los sistemas más comunes de una planta de tratamiento potable, como lo son: los Floculadores tipo flujo horizontal, vertical y Alabama; de la misma manera los Sedimentadores tipo flujo horizontal, flujo vertical y tasa alta. Los estudiantes Hernández y Corredor realizarán esta selección mediante una comparación y análisis del diagnóstico de los sistemas más comunes de Floculadores y Sedimentadores como se observa en la Figura 24. Matriz evaluación elección PTAP, donde realizaron una escala de evaluación de eficiencia con valores de 1 a 5:

Donde:

- 1 a 2 Baja eficiencia.
- 3 a 4 Mediana eficiencia,
- 5 Alta eficiencia.

*Figura 24. Matriz evaluación elección PTAP*

Floculadores Hidraulicos	Eficiencia Tiempo de	Velocidad del flujo	Gradiente de Velocidad	Costos	Total
Floculador Horizontal	4	2	4	2	12
Floculador Vertical	4	2	4	2	12
Flujo Tipo Alabama	5	4	4	2	15
Sedimentadores	Eficiencia Tiempo de	Velocidad del flujo	Gradiente de Velocidad	Costos	Total
Flujo Horizontal	5	2	5	2	14
Flujo Vertical	4	3	3	4	14
Tasa Alta	4	2	4	4	14

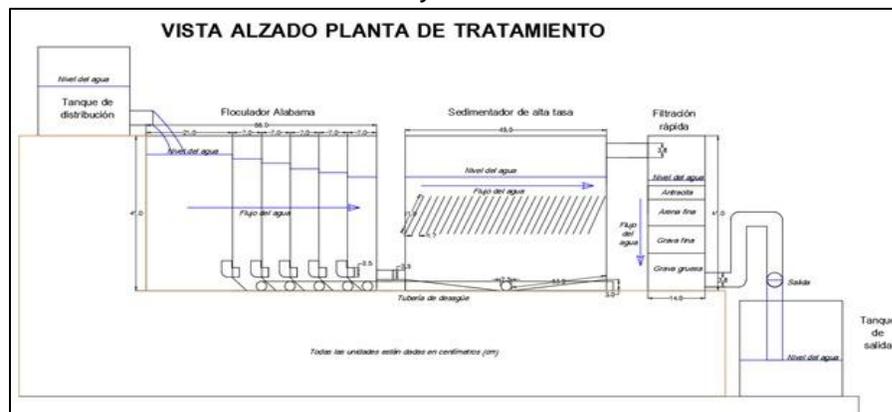
Fuente: (Hernández Triana, y otros, 2017)

Además de los estudios de eficiencia realizaron estudios de pre factibilidad, y estudios económicos de los diseños hidráulicos empleados en una planta de tratamiento de agua potable convencional.

Las dimensiones trabajadas en el modelo de la PTAP fueron la aplicación de ejemplos pedagógicos descritos en textos de trabajo de construcción de obras hidráulicas; texto guía potabilización del agua, Romero Rojas Jairo Alberto, ejemplo 4.15 (Romero Rojas, 1999 pág. 115) (Floculador Alabama) y ejemplo 5.13 (Romero Rojas, 1999 págs. 173-175) (Sedimentador Tasa Alta). Realizados sobre plantas de tratamiento de agua potable reales, manejadas actualmente en los municipios de Cundinamarca (Hernández Triana, y otros, 2017).

Los estudiantes Hernández y Corredor realizaron el modelo de la PTAP reduciendo 10 veces la medida de los ejemplos descritos anteriormente, originando un modelo de Escala 10:1, las dimensiones definitivas se modificaron para facilidad de construcción del modelo. Se realizó el esquema del modelo construido por los estudiantes en el programa AutoCAD, como se puede ver en la Figura 25. Esquema del modelo construido por los estudiantes Edwin Hernández y Carlos Corredor, así mismo, se adjuntó el anexo en AutoCAD del modelo inicial estudiantes Edwin Javier Hernández y Carlos Augusto Corredor. El modelo de la PTAP no cuenta con un manual o guía metodológica con el cual se pueda apoyar tanto el encargado de la práctica del laboratorio como los estudiantes. Además, no cuenta con información, ni nombres que especifiquen las diferentes partes del modelo de la PTAP, es decir, el modelo se encuentra mudo.

*Figura 25. Esquema del modelo construido por los estudiantes Edwin Hernández y Carlos Corredor*



Fuente: (Autores del Documento)

## **2. METODOLOGÍA.**

Para el desarrollo del proyecto se determinaron cuatro fases principales; en primer lugar, un diagnóstico en el cual nos muestre el estado de la PTAP; en segundo lugar, el diseño de la alternativa de mejora; en tercer lugar, la construcción de la alternativa de mejora; y, por último, una evaluación de desempeño de la PTAP mejorada la cual nos muestre un aumento en su eficiencia y eficacia. Cada una de estas fases está constituida por actividades a seguir para el progreso de la optimización. A continuación, se especificará la metodología a seguir con sus fases y actividades.

### **2.1. DIAGNÓSTICO DEL MODELO DE LA PTAP.**

- **REVISIÓN.**

Se reconocerán los elementos de diseño y operación en los que se pueda aplicar un control y que sea esencial para el óptimo funcionamiento de este, como fallos en la operación, estructuras, bajos tiempos de retención, entre otros.

- **DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO.**

Se realizará una evaluación hidráulica de las unidades que componen el modelo de la planta de tratamiento.

### **2.2. DISEÑO DE ALTERNATIVA DE MEJORA.**

En esta etapa se desarrollará una alternativa de optimización que comprende los distintos ajustes o implementación en términos de diseño, operación y mantenimiento requeridos en el modelo de la planta de tratamiento del laboratorio para garantizar la compatibilidad entre los componentes del sistema, empleando al máximo todos los recursos disponibles, para mejorar la capacidad, eficiencia y eficacia de la infraestructura que compone el sistema de tratamiento.

### **2.3. CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA.**

Una vez realizada y verificada la alternativa de mejora, se proseguirá a realizar la construcción, ajustes y mantenimiento correspondientes del modelo de la PTAP, con el fin de rehabilitar y mejorar este modelo.

### **2.4. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA PTAP MEJORADA.**

El modelo será sometido a pruebas de funcionamiento, para ello se tomaran los parámetros iniciales del agua cruda a tratar (agua lluvia), con el fin de determinar la alcalinidad total, la dosis de coagulante y el coagulante a usar. Luego se prosigue a realizar el test de jarras para confirma la dosis del coagulante seleccionado. Así mismo, serán comparados los parámetros iniciales del agua cruda (agua lluvia) con los parámetros finales del agua tratada, y por último se realizará una revisión de los parámetros finales del agua tratada con los estándares mínimos de los parámetros del agua potable y agua de riego.

Teniendo los resultados esperados del modelo, se procederá a la estructuración de la Guía de Laboratorio y el Manual de uso del modelo, para que el estudiante de la Universidad Católica de Colombia tenga una herramienta para la ejecución de sus prácticas sobre el modelo planta de tratamiento para la potabilización de agua.

### 3. METODOLOGÍA DE DISEÑO.

#### 3.1. DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DEL MODELO DE LA PTAP.

El diagnóstico hidráulico consistió en que al modelo de la PTAP se le aplicó un caudal inicial, para observar que no se presenten fallos en la operación, estructuras, cortocircuitos, estancamientos, fugas en el sistema, entre otros. Se encontró que:

- El caudal que se ingresa no logra estar a flujo constante como lo necesita el modelo de la PTAP, ya que, toca ingresar el caudal de forma manual mediante un balde al sistema.

*Figura 26. Ingreso del caudal al modelo*



Fuente: (Autores del Documento)

- Se inundó el sistema y se vertió gotas de azul de metileno, con el fin de observar las líneas de flujo en el sistema, esto nos permitió observar que se presentan fugas y estancamientos en el modelo de la PTAP.

*Figura 27. Llenado del sistema*



Fuente: (Autores del Documento)

*Figura 28. Llenado del sistema*



Fuente: (Autores del Documento)

El modelo de la PTAP no presenta cortocircuito hidráulico, pero presenta muchas fugas, probablemente, por el movimiento del modelo o la mala manipulación del mismo.

*Figura 29. Fugas*



Fuente: (Autores del Documento)

Se encontró un problema con la extracción de lodos de las fases floculador y sedimentador del modelo de la PTAP; el problema consiste en que se presenta estancamiento de los sólidos suspendidos que ingresan con el agua cruda (agua lluvia), ya que, no salen por los desagües correspondiente a cada fase.

*Figura 30. Desagües ineficientes*



Fuente: (Autores del Documento)

De acuerdo a este diagnóstico hidráulico realizado, se logró determinar que el modelo de la PTAP presenta fugas en las tres fases, Floculador Alabama, Sedimentador Alta Tasa y Filtro rápido. Así mismo, se observó que el sistema tiene un problema con la extracción de lodos de las fases Floculador y Sedimentador.

Un sistema convencional siempre requiere de un proceso de coagulación – floculación – sedimentación (Andía Cárdenas, 2000). El modelo de la PTAP no cuenta con una mezcla rápida donde se introduzca el coagulante y se agite para producir la agrupación de partículas entre sí, para formar en las fases siguientes los “flóculos”. El modelo de la PTAP no mantiene el caudal constante y es un sistema hidráulico que no funciona a gravedad. De esta manera surge la necesidad de implementar en el modelo de la PTAP un sistema de mezcla rápida, así mismo, de implementar un sistema de presión, con el fin de mantener el caudal constante y transportar el agua cruda (agua lluvia) de un tanque a la PTAP.

## **4. DISEÑO ALTERNATIVA DE MEJORA.**

### **4.1. CONTROL SOBRE LAS FUGAS Y REHABILITACIÓN DE LAS FASES DEL MODELO DE LA PTAP.**

A partir del diagnóstico realizado, se desea implementar nuevas tuberías y mecanismos para controlar y poner fin a las fugas que el sistema tiene, como la limpieza y rehabilitación de cada una de las fases que componen el modelo de la PTAP, la implementación de adaptadores con rosca, el refuerzo cada fase con suficiente soldadura, entre otros. También se desea solucionar el problema de la extracción de lodos en las fases del floculador y sedimentación, bajando los desagües correspondientes de estas fases. En el Filtro rápido se desea poner un material que no deje mezclar los diferentes materiales granulares, permitiendo el paso del caudal; así mismo, la mejora en la salida del caudal en el filtro.

### **4.2. DISEÑO DE CANALETA PARSHALL.**

Al no tener presente un mezclador rápido en el sistema, se desea implementar una Canaleta Parshall al modelo de la PTAP, con el fin de facilitar la dispersión de los coagulantes en el agua, durante el proceso de coagulación. Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, cálculos correspondientes y normatividad vigente para la elaboración de la Canaleta Parshall. El diseño de la Canaleta Parshall se puede ver en la Tabla 4. Diseño Canaleta Parshall, en la Tabla 5. Dimensiones Canaleta Parshall, en la Tabla 6. Dimensiones Canaleta Parshall, así mismo, se adjuntó el anexo 3 en Excel del diseño de la Canaleta Parshall.

Como requisito general se encontró que se debe presentar antes de la canaleta una sección recta igual por lo menos a 10 veces el ancho de la garganta (Ingenieros Asociados de Control, 2008 pág. 6).

Para el diseño de la Canaleta Parshall los tamaños y las proporciones, ya se encuentran definidas a través de las tablas mencionadas anteriormente en este documento, Figura 15. Nomenclatura Canaleta Parshall, Figura 16. Medidas estándar de la Canaleta Parshall, Figura 17. Caudal y altura laminar del agua.

Teniendo ya el caudal del sistema ( $Q=0,2$  l/s), se tuvo en cuenta las medidas estándar de la Canaleta Parshall que proporcionan estas tablas. El dimensionamiento del modelo es de 1:5.

Se observa en la imagen Figura 17. Caudal y altura laminar del agua, la altura laminar del agua ( $H_a$ ) y el caudal que circula ( $Q$ ), con su respectiva expresión matemática (Ecuación ( 1 )). Como ya se tiene el caudal ( $Q$ ) que circula en el sistema, se despeja la altura laminar del agua ( $H_a$ ).

Tabla 4. Diseño Canaleta Parshall

Datos entrada				
<b>Q</b>	0,20	l/s	0,0002	m <sup>3</sup> /s
<b>Ha (Figura)</b>	12,55	mm	1,25	cm
<b>Ha (Figura)</b>	41,41	mm	4,14	cm

Fuente: (Autores del Documento)

Donde:

Caudal ( $Q$ ):

$$Q = 0,2 \frac{l}{s} * \frac{1m^3}{1000l} = 0,0002 m^3/s$$

$$Q = 0,001352 * H_a^{1,55}$$

Altura laminar de agua ( $H_a$ ):

$$H_a = \left( \frac{Q}{0,001352} \right)^{\frac{1}{1,55}}$$

$$H_a = \left( \frac{0,2 \frac{l}{s}}{0,001352} \right)^{\frac{1}{1,55}}$$

$$H_a = 12,55 \text{ mm (sin escalar)}$$

$$H_a = 12,55 \text{ mm} * 3,3$$

$$H_a = 41,41 \text{ mm}$$

Las dimensiones de la Canaleta Parshall fueron diseñadas con base en la Figura 16. Medidas estándar de la Canaleta Parshall y ajustándolas a una escala de 1:5. Como se observa en la Tabla 5. Dimensiones Canaleta Parshall y en la Tabla 6. Dimensiones Canaleta Parshall, los valores de M, P, R no se reportan en la tabla, ya que, se realiza una transición entre el canal y la Canaleta con una pared vertical a 45° respecto al eje horizontal de la Canaleta, tal como se observa en la Figura 15. Nomenclatura Canaleta Parshall.

*Tabla 5. Dimensiones Canaleta Parshall*

<b>Dimensiones Canaleta Parshall</b>					
<b>Ancho garganta</b>	W	15,24	mm	1,52	cm
<b>Long. Paredes sección convergente</b>	A	93,4	mm	9,34	cm
<b>Ubicación punto de medición</b>	a	62,2	mm	6,22	cm
<b>Long. Sección convergente</b>	B	91,4	mm	9,14	cm
<b>Ancho de la salida</b>	C	35,6	mm	3,56	cm
<b>Ancho entrada sección convergente</b>	D	51,8	mm	5,18	cm
<b>Profundidad total</b>	E	91,4	mm	9,14	cm
<b>Long. De la garganta</b>	T	30,4	mm	3,04	cm
<b>Long transición de entrada</b>	G	61	mm	6,10	cm
<b>Diferencia entre la cresta y la salida</b>	K	5	mm	0,50	cm
<b>Long. Transición de entrada</b>	M	0	mm	0,00	cm
<b>Profundidad de la cubeta</b>	N	9,4	mm	0,94	cm
<b>Ancho de la entrada de la transición</b>	p	0	mm	0,00	cm
<b>Radio de la curva</b>	R	0	mm	0,00	cm
<b>abscisa punto medición (Hb)</b>	X	5	mm	0,50	cm
<b>Ordenada punto medición</b>	Y	15,2	mm	1,52	cm

Fuente: (Autores del Documento)

Tabla 6. Dimensiones Canaleta Parshall

Dimensiones Canaleta Parshall					
<b>Longitud (L)</b>	L	182,8	mm	19	cm
<b>Altura (h)</b>	A	111,6	mm	12	cm
<b>Profundidad (Pr)</b>	P	51,8	mm	6	cm

Fuente: (Autores del Documento)

Donde:

Longitud (L):

Según la ecuación ( 2 ):

$$L = 91,4mm + 30,4mm + 61mm + 0mm$$

$$L = 182,8mm = 18,28 \text{ cm}$$

La longitud (L) se ha dejado en 19 cm, por factor de seguridad.

Altura (h):

Según la ecuación ( 3 ):

$$A = 91,4mm + 5mm + 15,2mm$$

$$A = 111,6mm = 11,16 \text{ cm}$$

La altura (h) se ha dejado en 12 cm, por factor de seguridad.

Profundidad (Pr):

Según la ecuación ( 4 ):

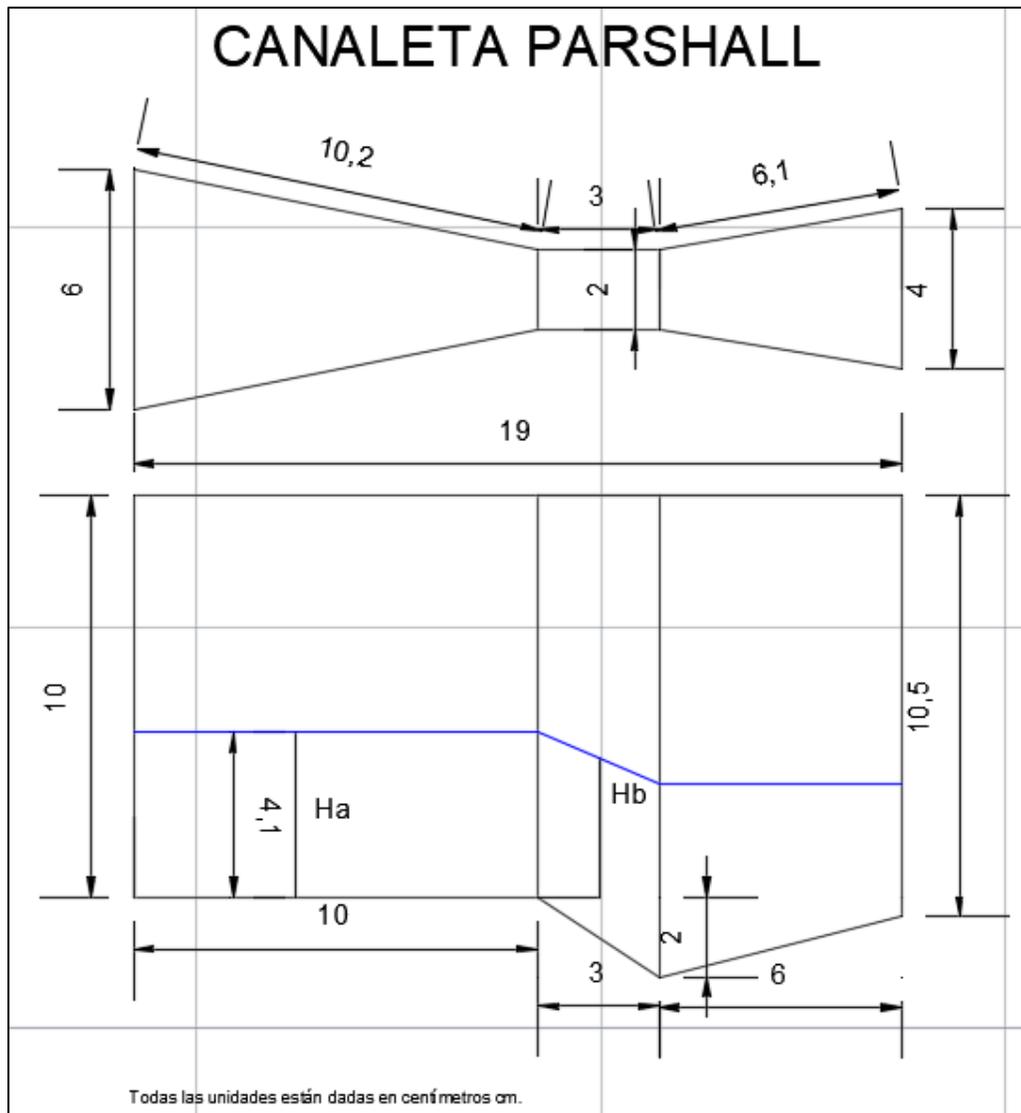
$$Pr = 51,8mm + 2 * 0mm$$

$$Pr = 51,8mm = 5,18 \text{ cm}$$

La profundidad (Pr) se ha dejado en 6 cm, por factor de seguridad.

Se realizó el esquema del diseño de la Canaleta Parshall en el programa AutoCAD, como se puede ver en la Figura 31. Canaleta Parshall, así mismo, se adjuntó el anexo en AutoCAD del diseño de la Canaleta Parshall.

Figura 31. Canaleta Parshall



Fuente: (Autores del Documento)

### 4.3. DISEÑO DE CÁMARA DE AQUIETAMIENTO.

Se realizó el diseño de una cámara de aquietamiento, con el fin de mejorar las condiciones hidráulicas al inicio del modelo de la PTAP, ya que, se necesita disipar el exceso de velocidad con el que entra a la Canaleta Parshall, se tuvo en cuenta el caudal de entrada que es de 0,2 l/s, y el tiempo de retención de 10s (Se tiene como parámetro principal que el tiempo de retención se encuentre entre 30 y 60 segundos (Lozano, 2017), pero como el dimensionamiento del modelo es de 1:5, la escala de este tiempo de retención nos da entre 6 y 12 segundos). El diseño de la Cámara de Aquietamiento se puede ver en la Tabla 7. Diseño Cámara de Aquietamiento , así mismo, se adjuntó el anexo 2 en Excel del diseño de la Cámara de Aquietamiento.

*Tabla 7. Diseño Cámara de Aquietamiento*

Cámara de Aquietamiento		
ITEM	DATO	UNIDADES
Caudal (Q)	0,2	l/s
Caudal (Q)	720	l/h
Caudal (Q)	0,0002	m <sup>3</sup> /s
Tiempo de retención (t)	10	s
Volumen (V)	0,002	m <sup>3</sup>
Volumen (V)	2000	cm <sup>3</sup>
Longitud (L)	15	cm
Área (A)	133	cm <sup>2</sup>
Ancho (a)	15	cm
Altura (h)	8,9	cm

Fuente: (Autores del Documento)

Donde:

Caudal (Q):

$$Q = 0,2 \frac{l}{s} * \frac{1m^3}{1000l} = 0,0002 m^3/s$$

Volumen (V):

$$V = Q * t \quad (12)$$

$$V = \frac{0,0002m^3}{s} * 10s$$

$$V = 0,002 m^3$$

$$V = 0,0002m^3 * \left(\frac{100 cm}{1m}\right)^3 = 2000 cm^3$$

Longitud (L): Fue asumida por los autores del documento.

Área (A):

$$V = A * L \quad (13)$$

$$A = \frac{V}{L} \quad (14)$$

$$A = \frac{2000 cm^3}{15cm}$$

$$A = 133 cm^2$$

Ancho (a): Fue asumida por los autores del documento.

Altura (h):

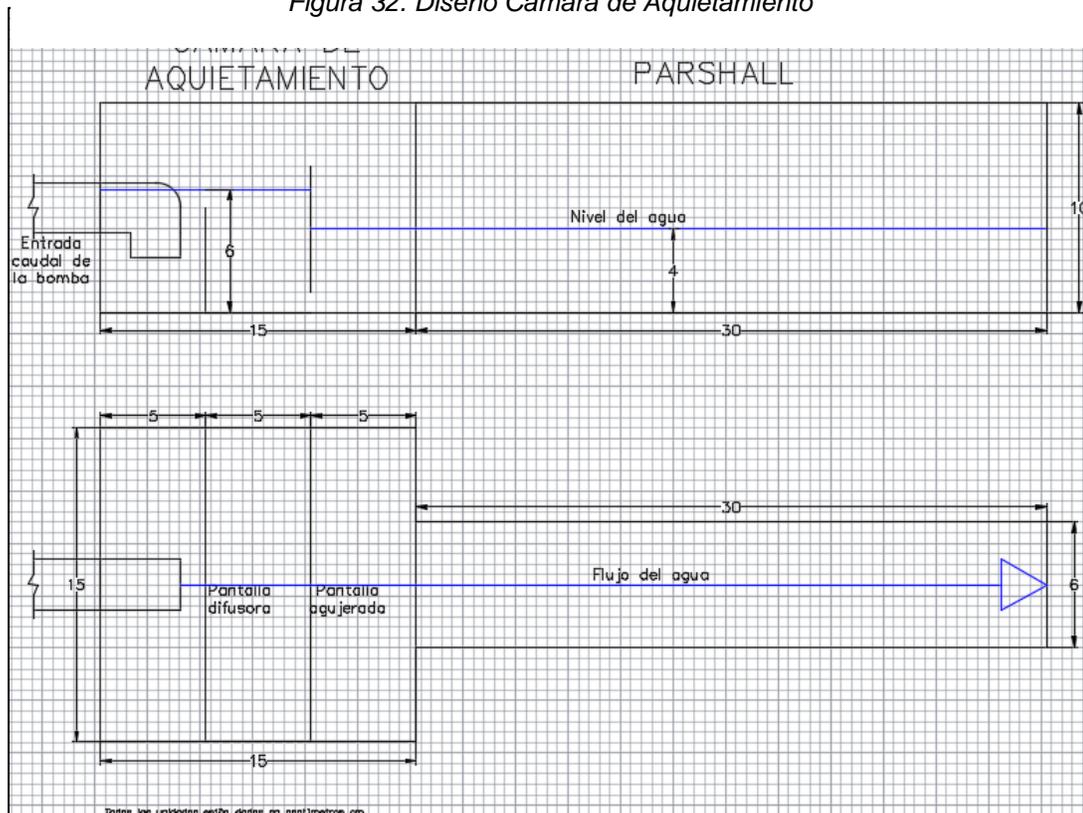
$$h = \frac{A}{a} \quad (15)$$

$$h = \frac{133 cm^2}{15 cm}$$

$$h = 8,9 cm$$

Se realizó el esquema del diseño de la Cámara de Aquietamiento en el programa AutoCAD, como se puede ver en la Figura 32. Diseño Cámara de Aquietamiento, así mismo, se adjuntó el anexo en AutoCAD del diseño de la Cámara de Aquietamiento.

Figura 32. Diseño Cámara de Aquietamiento



Fuente: (Autores del Documento)

#### 4.4. BOMBA SUMERGIBLE.

Para facilitar y mantener el nivel de caudal constante que necesita la PTAP, se vio la necesidad de hacer cálculos correspondientes para el diseño de una bomba sumergible, así mismo, se vio la necesidad de optar por un tanque para el almacenamiento del agua cruda y la bomba sumergible. El diseño o cálculos para escoger la bomba sumergible adecuada para el modelo de la PTAP se puede ver en la Tabla 8. Cálculo succión Bomba sumergible, la Tabla 9. Total Accesorios, la Tabla 10. Potencia Bomba Sumergible, así mismo, se adjuntó el anexo 1 en Excel del diseño o cálculos de la bomba sumergible más adecuada para el sistema – modelo de la PTAP.

Los cálculos realizados para escoger la bomba sumergible más adecuada para el modelo de la PTAP, fueron con base en el libro de Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones del autor Rafael Pérez Carmona (Pérez Carmona, 2010).

*Tabla 8. Cálculo succión Bomba sumergible*

<b>Cálculo de la succión</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DATO</b>	<b>UNIDADES</b>
Altura estática de succión	0	m
Área (A)	0,000127	m <sup>2</sup>
Caudal (Q)	0,2	l/s
Caudal (Q)	720	l/h
Caudal (Q)	3	GPM
Caudal (Q)	0,0002	m <sup>3</sup> /s
Velocidad (v)	1,58	m/s
Perdida (hv)	0,13	m
Coefficiente (C)	0,0001	-
Pérdida j	0,191	m/m
Diámetro	1/2"	in
Longitud Horizontal (Lh)	1	m
Longitud Vertical (Lv)	0,6	m
Longitud Accesorios (La)	1,53	m
Longitud total (Lt)	3,13	m
Pérdida J	0,598	m
Altura dinámica de impulsión (hd)	<b>1,3</b>	m.c.a

Fuente: (Autores del Documento)

Donde:

Área (A):

Según la ecuación ( 5 ):

$$A = \frac{\pi 0,0254^2}{4}$$

$$A = 0,000127 \text{ m}^2$$

Caudal (Q):

$$Q = 0,2 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{1\text{m}^3}{1000\text{l}} = 0,0002 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,2 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{\text{h}} = 720 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Velocidad (v):

Según la ecuación ( 6 ):

$$v = \frac{0,0002 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000127 \text{ m}^2}$$

$$v = 1,58 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cabeza de velocidad (hv):

Según la ecuación ( 7 ):

$$hv = \frac{(1,58 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

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

Longitud Total (Lt):

Para hallar la Longitud de accesorios en m (La), en el diseño se contempló la utilización de:

- Cuatro (4) Codos radio medio 90° de 1/2 de diámetro en PVC cuyo coeficiente correspondiente en m se tomó de la Tabla 2. Tabla codo r.m. 90°.
- Una (1) Válvula de compuerta abierta de 1/2 de bronce o cobre cuyo coeficiente correspondiente en m se tomó de la Tabla 3. Válvula de compuerta abierta.

Se sumaron los coeficientes de todos los accesorios a utilizar y se halló la Longitud de accesorios en m (La=1,53 m), como se observa con la Tabla 9. Total Accesorios.

Tabla 9. Total Accesorios

ACCESORIOS	Cantidad	Coeficiente en m	La (m)
Codo r.m. 1/2" 90° PVC	4	0,28	1,12
Válvula comp. Abi. 1/2" Hg	1	0,09	0,09
Salida tubería 1/2"	1	0,32	0,32
<b>Total accesorios</b>			<b>1,53</b>

Fuente: (Autores del Documento)

Según la ecuación ( 8 ):

$$Lt = 1m + 0,6m + 1,53m$$

$$Lt = 3,13 m$$

Perdida J (J):

Según la ecuación ( 9 ):

$$J = 3,13m * 0,191$$

$$J = 0,598 m$$

Altura dinámica de impulsión (hd):

Según la ecuación ( 10 ):

$$hd = 0,598m + 0,6m + 0,13m$$

$$hd = 1,3 m$$

Tabla 10. Potencia Bomba Sumergible

Potencia de las bombas		
ITEM	DATO	UNIDADES
Peso específico del agua ( $\gamma$ )	1	kg/l
Altura dinámica total (hd)	1,3	m
Caudal (Q)	0,2	l/s
Eficiencia bomba (n)	0,5	-
Potencia bomba (PHP)	<b>0,0070</b>	HP
Potencia bomba (PHP)	<b>5</b>	w

Fuente: (Autores del Documento)

Donde:

Potencia bomba (PHP):

Según la ecuación ( 11 ):

$$PHP = \frac{1 \frac{kg}{l} * 1,3m * 0,2 \frac{l}{s}}{76 * 0,5}$$

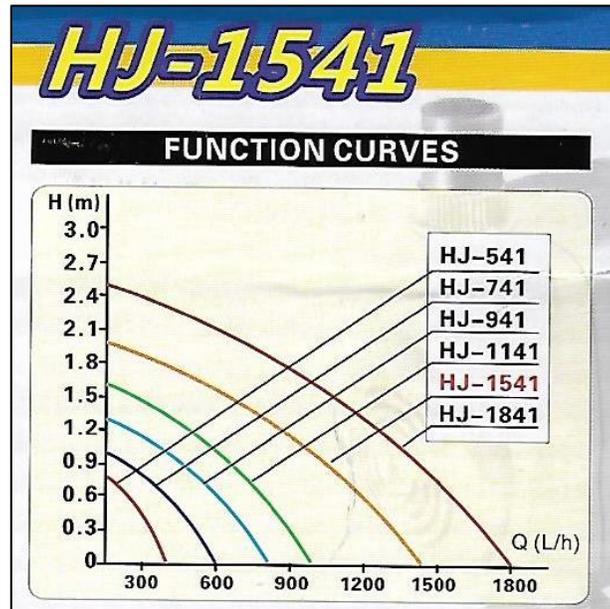
$$PHP = 0,0070 HP$$

$$PHP = 0,0070 HP * 745,7 \frac{w}{HP} = 5w$$

Con base en los cálculos realizados, se buscó la bomba sumergible más adecuada para el modelo de la PTAP. La bomba sumergible más adecuada fue el modelo HJ – 1541, como se ve en la Figura 34. Información bomba sumergible, debido a que en su curva, se observa que maneja un caudal en litros por hora de Q= 1400 L/h y una altura dinámica total de hd= 2,0 m, lo que es suficiente para los cálculos mostrados anteriormente en la Tabla 8. Cálculo succión Bomba sumergible, donde muestra un caudal en litros por hora de Q= 720 L/h y una altura dinámica total de hd= 1,3 m.

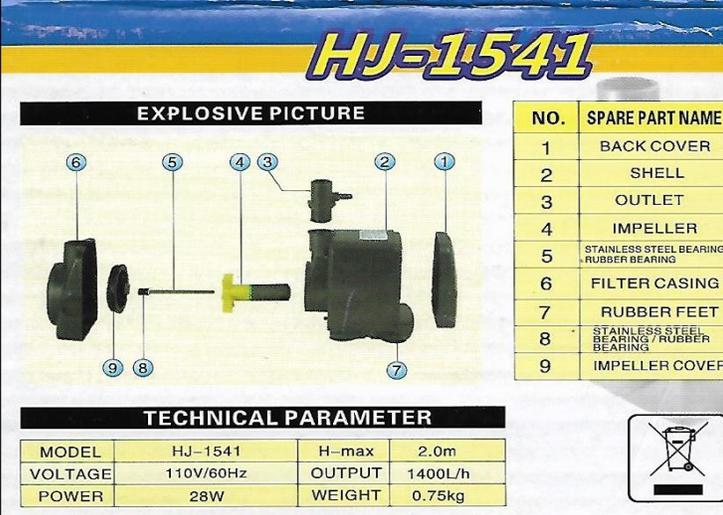
También se puede observar en la Figura 33. Curva bomba sumergible, que la bomba posee una potencia de bomba de PHP= 28 w, lo que es suficiente respecto a los cálculos mostrados en la Tabla 10. Potencia Bomba Sumergible, donde muestra una potencia de PHP= 5w.

Figura 33. Curva bomba sumergible



Fuente: (Fabricantes de la bomba)

Figura 34. Información bomba sumergible



NO.	SPARE PART NAME
1	BACK COVER
2	SHELL
3	OUTLET
4	IMPELLER
5	STAINLESS STEEL BEARING / RUBBER BEARING
6	FILTER CASING
7	RUBBER FEET
8	STAINLESS STEEL BEARING / RUBBER BEARING
9	IMPELLER COVER

TECHNICAL PARAMETER			
MODEL	HJ-1541	H-max	2.0m
VOLTAGE	110V/60Hz	OUTPUT	1400L/h
POWER	28W	WEIGHT	0.75kg

Fuente: (Fabricantes de la bomba)

## 5. CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA.

### 5.1. CONTROL SOBRE LAS FUGAS Y REHABILITACIÓN DE LAS FASES DEL MODELO DE LA PTAP.

Para empezar con la implementación de tuberías y mecanismos para controlar las fugas, se realizó la rehabilitación y limpieza adecuada a cada fase del sistema como se puede ver en la Figura 35. Limpieza de cada fase de la PTAP y la Figura 36. Limpieza de cada fase de la PTAP.

*Figura 35. Limpieza de cada fase de la PTAP*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 36. Limpieza de cada fase de la PTAP*



Fuente: (Autores del documento)

Una vez realizada la limpieza, se comenzó con la implementación de tuberías y mecanismos para contrarrestar las fugas, por ejemplo:

- Poner adaptadores con rosca para evitar que se presenten fugas, como se ve en la Figura 37. Adaptadores con rosca.

*Figura 37. Adaptadores con rosca*



Fuente: (Autores del documento)

- Reforzar las fases de la PTAP con suficiente sellador anti hongos para agua (No contaminante, especial para vidrios), para que no se presenten fugas del fluido, como se ve en la Figura 38. Refuerzo de pegante en vidrios y tuberías.

*Figura 38. Refuerzo de pegante en vidrios y tuberías*



Fuente: (Autores del documento)

Así mismo, también empezar con la rehabilitación de varias fases de la PTAP, como:

- Poner tuberías con suficientes válvulas de compuerta y globo, para controlar el flujo del sistema, como se puede ver en la Figura 39. Incorporación de válvulas de Globo y Compuerta, en la Figura 41. Incorporación de Válvula de Globo y en la Figura 40. Incorporación de Válvula de Compuerta.

*Figura 39. Incorporación de válvulas de Globo y Compuerta*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 41. Incorporación de Válvula de Globo*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 40. Incorporación de Válvula de Compuerta*



Fuente: (Autores del documento)

El sistema fue calculado con un caudal  $Q = 0,2$  L/s, que se halló previamente por los estudiantes Hernández y Corredor. Pero si se quiere cambiar este caudal por uno menor o uno mayor se puede hacer gracias a la válvula de compuerta que se colocó antes del ingreso del caudal al sistema, para controlar este caudal se hicieron varias pruebas con diferentes giros de esta válvula de compuerta, tomando el tiempo de llenado de muestras de 10 litros, como se puede ver en la Figura 42. Calibración de caudal con Válvula de Compuerta y en la Tabla 11. Calibración del Caudal con válvula compuerta.

Figura 42. Calibración de caudal con Válvula de Compuerta



Fuente: (Autores del documento)

Tabla 11. Calibración del Caudal con válvula compuerta

# Giros válvula	Volumen Muestra (L)	Tiempo de llenado muestra (S)	Caudal Q (L/s)
3,0	10	41,0	0,24
2,5	10	49,0	0,20
2,0	10	58,0	0,17
1,0	10	74,4	0,13

Fuente: (Autores del documento)

Donde:

Caudal Q (L/s):

$$Q = \frac{\text{volumen (L)}}{\text{tiempo (s)}} \quad (16)$$

$$Q = \frac{10 (L)}{41 (s)} = 0,24 \frac{L}{s}$$

- Cambio de la tubería que se tenía, ya que estaba muy desgastada.
- En la rehabilitación del filtro rápido se ha colocado mallas para que no se mezcle el material. También se mejoró la parte de salida del caudal, ya que el caudal salía del filtro con arena; esta rehabilitación se puede apreciar en la Figura 43. Rehabilitación del Filtro y en la Figura 44. Rehabilitación del Filtro.

*Figura 44. Rehabilitación del Filtro*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 43. Rehabilitación del Filtro*



Fuente: (Autores del documento)

- En la rehabilitación del sedimentador alta tasa se cambió el vidrio frontal, bajando la salida de los lodos, con el fin de que no se acumulen, como se puede ver en la Figura 45. Rehabilitación del Sedimentador y en la Figura 46. Rehabilitación del Sedimentador.

*Figura 45. Rehabilitación del Sedimentador*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 46. Rehabilitación del Sedimentador*



Fuente: (Autores del documento)

- En la rehabilitación del floculador alábama se cambiaron las salidas y los codos que tenía, y también se ajustó la entrada del caudal, para conectar con la Canaleta Parshall, como se puede apreciar en la Figura 47. Rehabilitación del Floculador y en la Figura 48. Rehabilitación del Floculador.

*Figura 48. Rehabilitación del Floculador*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 47. Rehabilitación del Floculador*

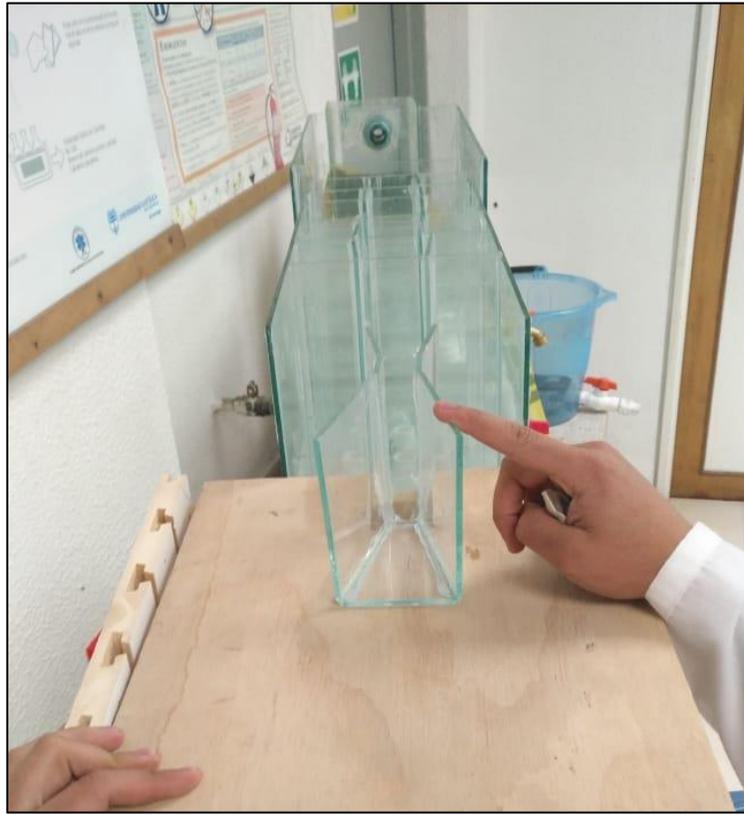


Fuente: (Autores del documento)

## **5.2. CANALETA PARSHALL.**

De acuerdo al diseño realizado anteriormente en la alternativa de mejora se construyó el Canal de Transición y la Canaleta Parshall, ya que, el proyecto requiere estas estructuras para un buen rendimiento del modelo de la PTAP. El Canal de Transición y la Canaleta Parshall se construyeron como se muestra en la Figura 49. Construcción Canaleta Parshall, en la Figura 50. Construcción Canal de Transición, en la Figura 51. Construcción Canaleta Parshallly en la Figura 52. Construcción Canala de Transición. Las dos fases construidas cuentan con su correspondiente nombre para que tanto estudiantes como docentes las identifiquen durante el proceso.

*Figura 49. Construcción Canaleta Parshall*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 50. Construcción Canal de Transición*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 51. Construcción Canaleta Parshall*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 52. Construcción Canala de Transición*



Fuente: (Autores del documento)

### 5.3. CÁMARA DE AQUIETAMIENTO.

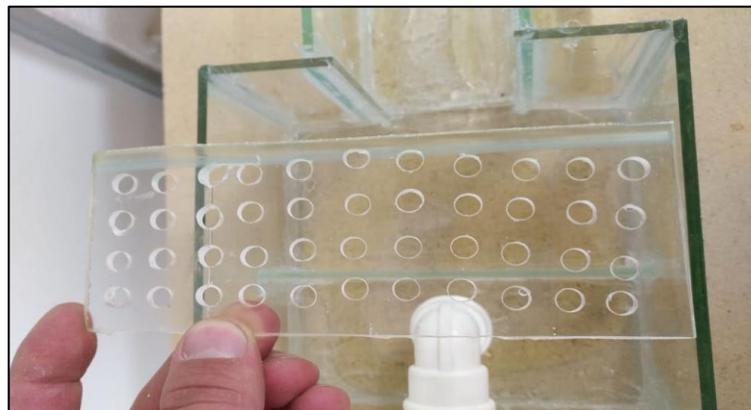
De acuerdo al diseño realizado anteriormente en la alternativa de mejora se construyó la Cámara de Aquietamiento, ya que, el proyecto requiere esta estructura para un buen rendimiento del modelo de la PTAP. La Cámara de Aquietamiento se construyó como se muestra en la Figura 53. Cámara de Aquietamiento, en la Figura 54. Cámara de Aquietamiento y en la Figura 55. Cámara de Aquietamiento. Esta fase construida cuenta con su correspondiente nombre para que tanto estudiantes como docentes las identifiquen durante el proceso.

*Figura 53. Cámara de Aquietamiento*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 54. Cámara de Aquietamiento*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 55. Cámara de Aquietamiento*



Fuente: (Autores del documento)

#### **5.4. BOMBA SUMERGIBLE.**

De acuerdo al diseño y calculos realizados anteriormente en la alternativa de mejora se compró la bomba sumergible adecuada que se había seleccionado (modelo HJ-1541), también se implementó un tanque de almacenamiento, donde va a almacenar tanto el agua cruda a tratar (agua lluvia) como la bomba sumergible, ya que, el proyecto requiere tanto de la bomba sumergible como del tanque de almacenamiento para un buen rendimiento del modelo de la PTAP. La bomba sumergible y el Tanque de almacenamiento se adecuaron en el modelo de la PTAP como se muestra en la Figura 56. Tanque de almacenamiento con Bomba sumergible dentro y en la Figura 57. Tanque de almacenamiento con Bomba sumergible dentro. Esta fase implementada cuenta con su correspondiente nombre para que tanto estudiantes como docentes las identifiquen durante el proceso.

*Figura 56. Tanque de almacenamiento con Bomba sumergible dentro*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 57. Tanque de almacenamiento con Bomba sumergible dentro*



Fuente: (Autores del documento)

## 6. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA MEJORA PROPUESTA.

El agua cruda a tratar que se selecciono fue agua lluvia, ya que, la Universidad Católica de Colombia posee un tanque que recoge este tipo de agua y la almacena, y la utiliza en diferentes procesos que se presentan dentro del laboratorio de plantas – hidráulica de la universidad.

### 6.1. TOMA DE PARÁMETROS INICIALES DE AGUA CRUDA A TRATAR.

Se han tomado los parámetros iniciales del agua cruda a tratar (agua lluvia) como se muestra en la Figura 58. Toma de parámetros iniciales agua cruday en la Tabla 12. Parámetros Muestra Inicial. Para determinar la alcalinidad total, la dosis de coagulante y el coagulante a usar.

*Figura 58. Toma de parámetros iniciales agua*



Fuente: (Autores del documento)

*Tabla 12. Parámetros Muestra Inicial*

<b>Muestra Inicial Agua Cruda (agua lluvia)</b>	
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).	129,2
Resistividad ( $\text{K}\Omega/\text{cm}$ ).	7,85
Sólidos en Suspensión ( $\text{mg}/\text{L}/\text{TDS}$ ).	72,8
Salinidad (Sal).	0,1
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).	17,3
PH. (pH).	5,95
Oxigeno ( $\text{mg}/\text{L}/\text{O}_2$ ).	3,1
% Oxigeno (%).	47
Turbidez inicial agua cruda (agua lluvia) (NTU)	44,0

### 6.1.1. ALCALINIDAD TOTAL.

En dos recipientes Erlenmeyer se vertió 100 ml de la muestra de agua cruda (100 ml a cada recipiente), a uno se le aplica naranja metilo y a otro se le aplica fenolftaleína.

A la muestra que se tornó de color naranja se le aplico ácido nítrico por medio de una pipeta hasta que tornara de un color rosado, 0,6 ml de ácido nítrico fueron suficiente para esto.

A la muestra que se tornó transparente se le aplico hidróxido de sodio por medio de una pipeta hasta que tornara de un color rosado, 0,5 ml de hidróxido de sodio fueron suficiente para esto.

*Figura 59. Alcalinidad*



Fuente: (Autores del documento)

Para hallar la alcalinidad total, se sumó los ml que se usaron para que tornara de color rosado en cada muestra de 100 ml, y se multiplico por 10, dando como resultado un alcalinidad total de 11 ml CaCO<sub>3</sub>/l.

$$\text{Alcalinidad Total} = [\text{muestra acido nitrico (ml)} + \text{muestra hidroxido de sodio(ml)}] * 10 \quad (17)$$

$$\text{Alcalinidad Total} = [0,6 \text{ ml} + 0,5\text{ml}] * 10$$

$$\text{Alcalinidad Total} = 11 \frac{\text{ml CaCO}_3}{\text{l}}$$

### 6.1.2. DOSIS COAGULANTE.

$$Dosis = \left[ 11 \frac{ml \text{ CaCO}_3}{l} \right] * 2$$

$$Dosis = 22 \frac{ml \text{ CaCO}_3}{l}$$

Para hallar la dosis que se necesita durante el suministro y caudal constante del sistema, se realizó lo siguiente:

$$Dosis \text{ por Segundo} = Q_{cir} * Dosis \quad (18)$$

$$Dosis \text{ por Segundo} = 0,2 \frac{l}{seg} * 22 \frac{ml}{l}$$

$$Dosis \text{ por Segundo} = 4,4 \text{ ml/s}$$

Donde:

Dosis por Segundo: Es la dosis que se desea aplicar por segundo.

Qcir: Es el Caudal que circula en el sistema, hallado previamente.

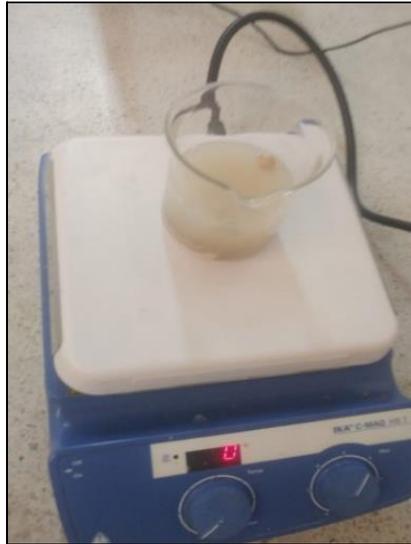
Dosis: Es la cantidad de dosis hallada.

### 6.1.3. COAGULANTE.

En un recipiente Erlenmeyer se vertió 11 gramos de Bentonita, que luego se le agregó agua destilada, y se procedió a disolver en la plancha agitadora con calor, esto con el fin de agregarla en el tanque con el agua cruda.

En un recipiente Erlenmeyer se vertió 2 gramos de sulfato de Al (Coagulante tipo B), que luego se le agrego agua destilada, y se procedió a disolver en la plancha agitadora con calor como se ve en la Figura 60. Preparación Coagulante tipo B y en la Figura 61. Preparación Coagulante tipo B, luego se le agrego agua destilada hasta completar 2 litros, esto con el fin de agregar el coagulante en la Canaleta Parshall mediante la bomba peristáltica.

*Figura 60. Preparación  
Coagulante tipo B*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 61. Preparación  
Coagulante tipo B*



Fuente: (Autores del documento)

Para hallar las revoluciones por minuto (RPM) que debe realizar la bomba peristáltica para agregar los 4,4 ml/s que se tienen de la mezcla del coagulante, se procedió a calcular las RPM, se realizaron pruebas experimentales, cambiando las RPM, registrando el tiempo de llenado de una muestra de 10 ml como se puede ver en la Tabla 14. Calibración Bomba peristáltica .

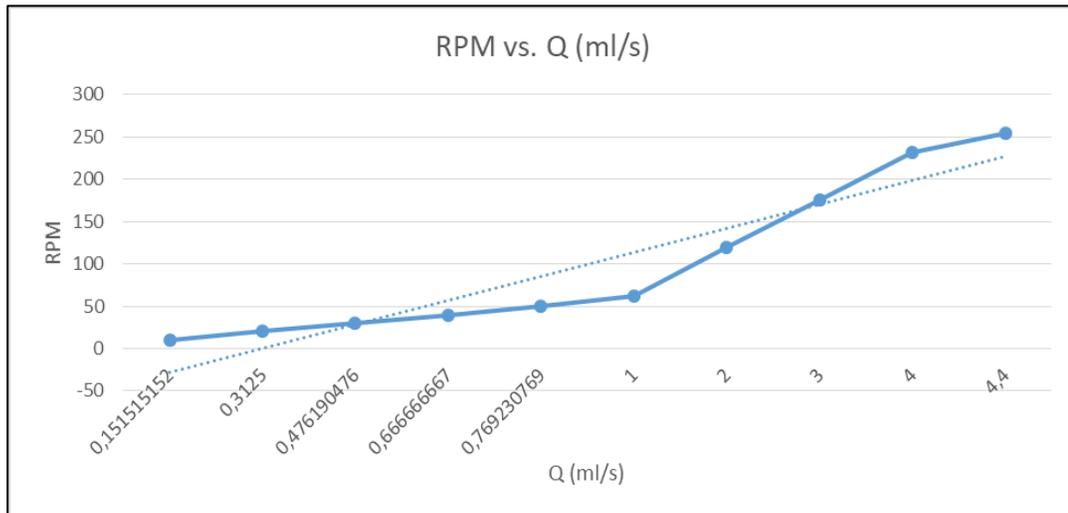
Después se graficaron los datos obtenidos como se observa en la Figura 62. Calibración Bomba Peristáltica, de esta forma se obtuvo una función de la manera  $Y = KX^n$  con la cual se logró hallar las RPM que son necesarias para agregar los 4,4 ml/s del coagulante al sistema, como se puede observar en la Tabla 14. Calibración Bomba peristáltica, así mismo, se adjuntó el anexo 4 en Excel del cálculo de las RPM de la bomba peristáltica.

Tabla 13. Calibración Bomba peristáltica

RPM	Muestra (ml)	Tiempo (s)	Caudal Q. (ml/s)
10	10	66	0,15
20	10	32	0,31
30	10	21	0,48
40	10	15	0,67
50	10	13	0,77

Fuente: (Autores del documento)

Figura 62. Calibración Bomba Peristáltica



Fuente: (Autores del documento)

Con las revoluciones por minuto (RPM) necesarias para los 4,4 ml/s, se procedió a seguir en la obtención del coagulante óptimo para el sistema.

Tabla 14. Calibración Bomba peristáltica

RPM	Caudal Q. (ml/s)
62	1,00
120	2,00
176	3,00
232	4,00
255	4,40

Fuente: (Autores del documento)

## 6.2. TEST DE JARRAS.

Con la Canaleta Parshall debidamente instalada, el coagulante seleccionado y la bomba peristáltica calibrada con las revoluciones por minuto (RPM) que se necesitan, se realiza el correcto procedimiento para corroborar la dosis coagulante óptimo para el agua cruda a trabajar (agua lluvia), para eso se realizó Test de Jarras.

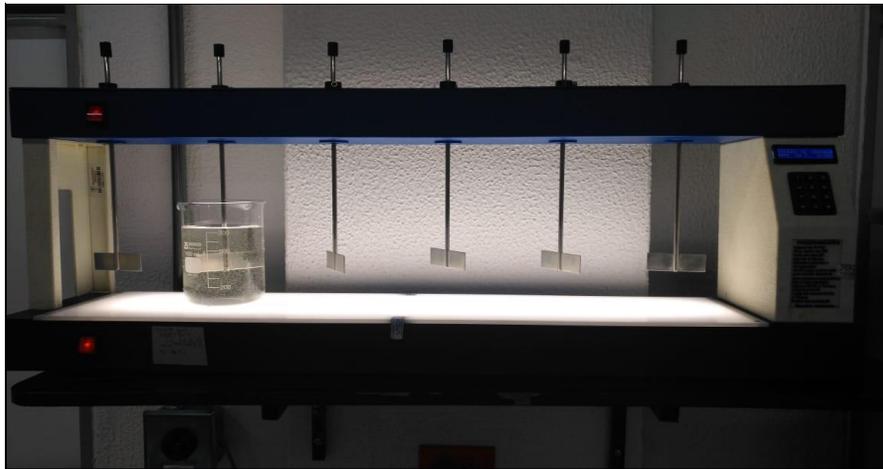
Se realizó la simulación en 7 vasos de precipitado el proceso de coagulación-floculación que se producirá en el modelo de la planta de tratamiento, también se evaluó los distintos comportamientos del agua a tratar con distintas dosis de coagulante seleccionado como se puede observar en la Figura 63. Test de Jarras, en la Figura 64. Test de Jarras y en la Figura 65. Floc Test de Jarras.

Figura 63. Test de Jarras



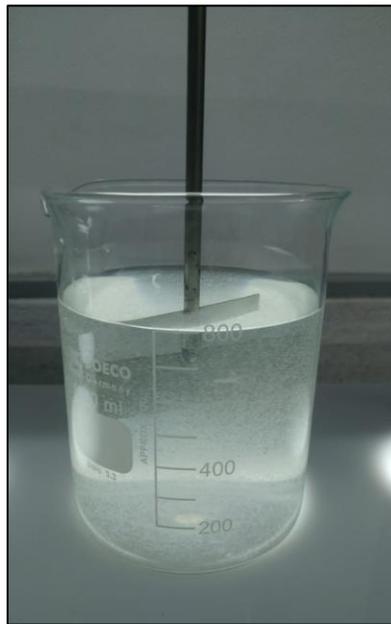
Fuente: (Autores del documento)

Figura 64. Test de Jarras



Fuente: (Autores del documento)

Figura 65. Floc Test de Jarras

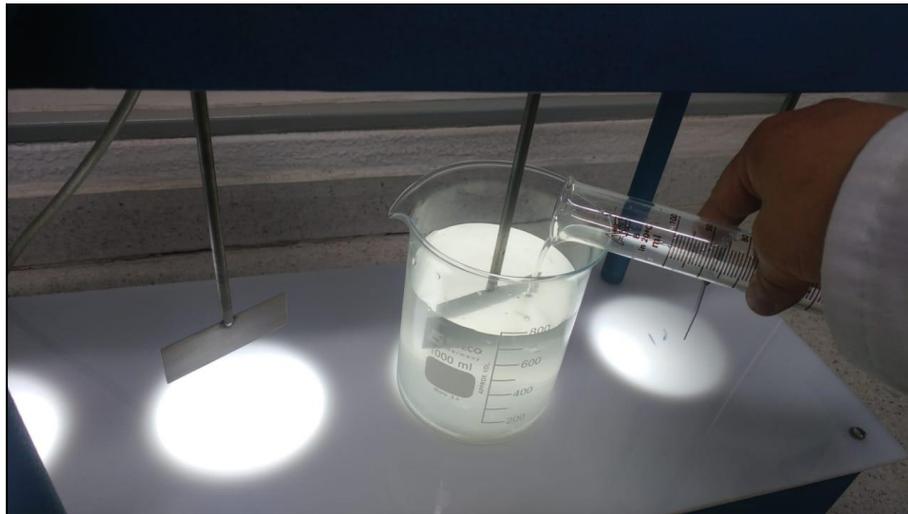


Fuente: (Autores del documento)

Se realizó el Test de Jarras con 7 vasos de precipitado en cada uno se vertió con 800 ml de agua cruda (agua lluvia), con el fin de ver el diferente comportamiento que presenta cada jarra. La jarra 1 se le agrego 22 ml del coagulante tipo B, pero no bentonita. La jarra 2 se le agrego 10 ml del coagulante tipo B y bentonita. La jarra 3 se le agrego 20 ml del coagulante tipo B y bentonita. La jarra 4 se le agrego 30 ml del coagulante tipo B y bentonita. La jarra 5 se le agrego 40 ml del coagulante tipo B y bentonita.

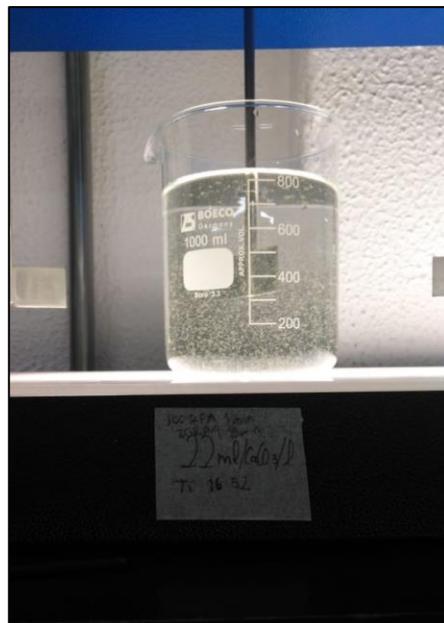
La jarra 6 se le agrego 50 ml del coagulante tipo B y bentonita. La jarra 7 se le agrego 60 ml del coagulante tipo B y bentonita. Se observó que durante el proceso la mayoría de las jarras comenzaban a hacer floc en los primeros 5 minutos. Se observó que en las jarras 1 y 3 el tamaño del floc era más grande con respecto a las otras jarras, lo cual corrobora que la dosificación del coagulante estaba entre 20 y 22 ml. Se observó que en la jarra 1 el floc no fue al fondo como las otras jarras, debido a la ausencia de la bentonita con se puede observar en la Figura 67. Jarra 1 sin bentonita.

*Figura 66. Preparación Test de Jarras*



Fuente: (Autores del documento)

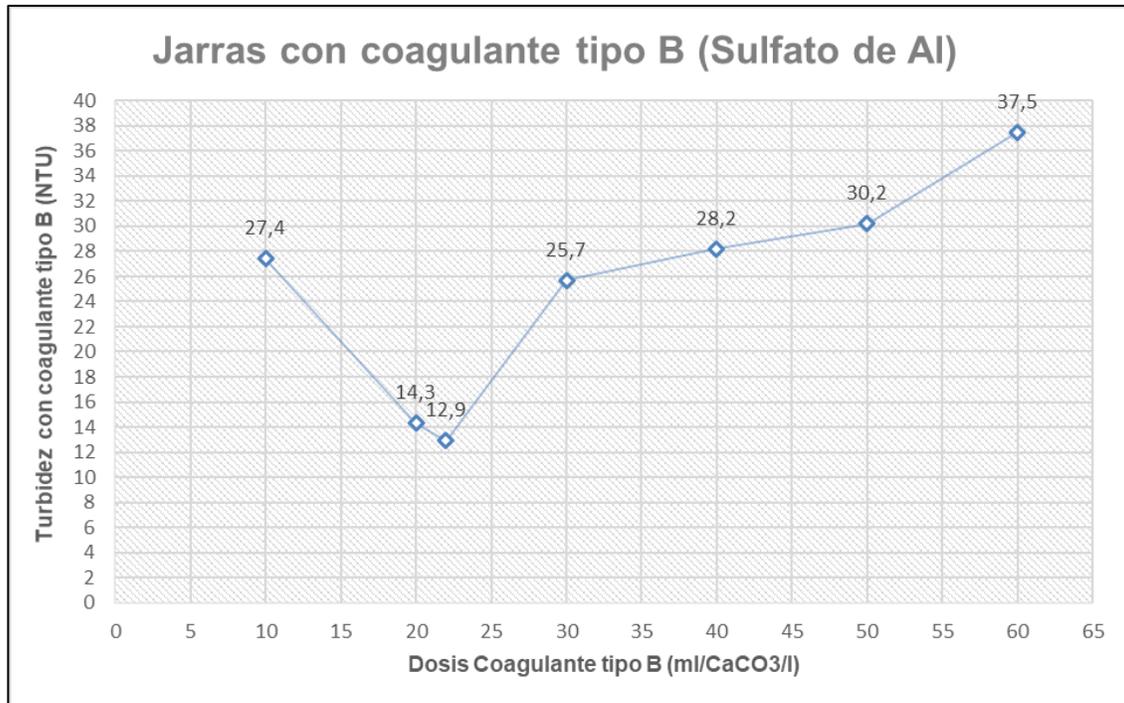
*Figura 67. Jarra 1 sin bentonita*



Fuente: (Autores del documento)

Para terminar el test de jarras se comparó la dosis del coagulante tipo B con la turbidez que generó cada jarra, como se puede ver en la, esto confirmó que la dosis del coagulante tipo B optima para el agua cruda a tratar (agua lluvia) es de 22 ml/CaCO<sub>3</sub>/l, la cual generó menor turbidez, con respecto a otra dosis tomadas en las diferentes jarras.

Figura 68. Comparación dosis coagulantes

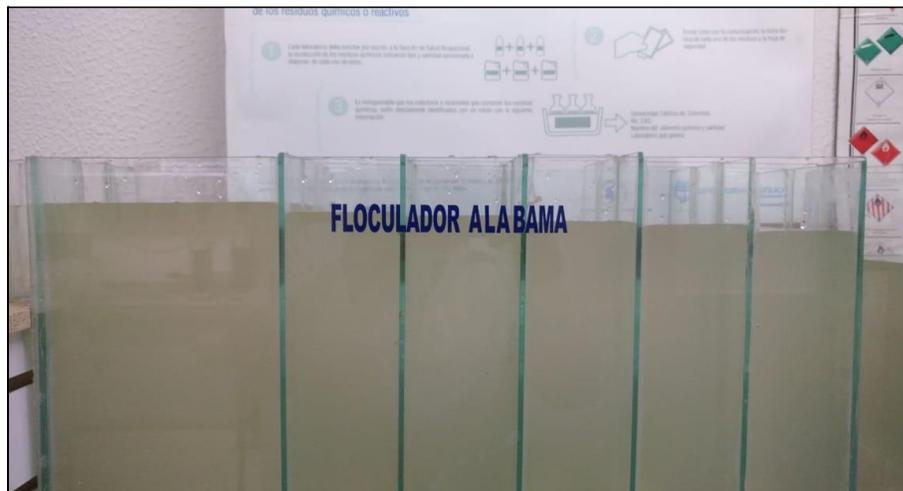


Fuente: (Autores del documento)

### 6.3. PUNTO DE VISTA HIDRÁULICO.

El modelo fue sometido a pruebas de funcionamiento con un caudal y gotas de azul de metileno, esto nos permitió observar que en el sistema no se presentan fallos en la operación o en las estructuras y que no se presentan fugas ni estancamientos en el modelo de la PTAP COAN, como se muestra en Figura 69. Floculador con caudal y azul de metileno, en la Figura 70. Sedimentador con caudal y azul de metileno y en la Figura 71. Prueba de estancamiento de lodos en Sedimentador. En el modelo de la PTAP COAN cada fase está muy bien soldada y el nuevo sistema de tubería y manguera facilita el vaciado y la evacuación del agua en el modelo.

*Figura 69. Floculador con caudal y azul de metileno*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 70. Sedimentador con caudal y azul de metileno*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 71. Prueba de estancamiento de lodos en Sedimentador*



Fuente: (Autores del documento)

#### **6.4. TOMA DE PARÁMETROS FINALES DEL AGUA TRATADA.**

Una vez terminado el Test de Jarras y seleccionado la dosis del coagulante tipo B adecuado, se procedió a probar el modelo de la PTAP COAN con un caudal de 0,2 l/s, se aplicó la bentonita en el tanque de almacenamiento de agua como se puede ver en la Figura 72. Aplicación de la bentonita. La bomba peristáltica se graduó con 255 RPM para que agregara el coagulante tipo B de la manera correcta como se puede observar en la Figura 73. Entrada del Coagulante tipo B y en la Figura 74. Bomba Peristáltica. El agua pasó por cada fase del modelo y se logró apreciar el proceso de coagulación-floculación, en el floculador y el sedimentador como muestra la Figura 75. Floc en Sedimentador y en la Figura 76. Floc en Sedimentador. Finalmente se recogieron los 10 litros de muestra que salieron de la fase de filtración.

Figura 72. Aplicación de la bentonita



Fuente: (Autores del documento)

Figura 73. Entrada del Coagulante tipo B



Fuente: (Autores del documento)

Figura 74. Bomba Peristáltica



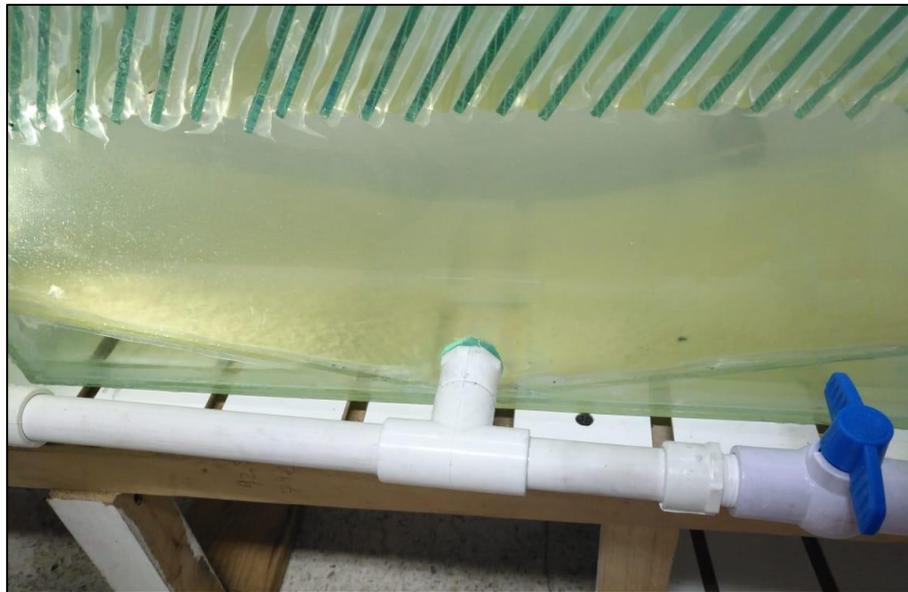
Fuente: (Autores del documento)

*Figura 75. Floc en Sedimentador*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 76. Floc en Sedimentador*



Fuente: (Autores del documento)

Se realizó 4 veces este proceso o ensayo para poder obtener 4 muestras y tomar parámetros, con el fin de comparar parámetros finales de agua tratada con parámetros iniciales que se tomaron con el agua cruda. Para cada ensayo se limpió cada fase y se preparó el coagulante correspondiente, obteniendo los siguientes resultados para cada ensayo Tabla 15. Ensayo 1 muestra final, Tabla 16. Ensayo 2 muestra final, Tabla 17. Ensayo 3 muestra final, Tabla 18. Ensayo 4 muestra final.

Tabla 15. Ensayo 1 muestra final

<b>Ensayo 1 Muestra Final Agua Tratada</b>	
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ).	122,2
Resistividad ( $\text{K}\Omega/\text{cm}$ ).	8,23
Sólidos en Suspensión ( $\text{mg/L/TDS}$ ).	64,4
Salinidad (Sal).	0,1
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).	17,0
PH. (pH).	5,68
Oxígeno ( $\text{mg/L/O}_2$ ).	3,0
% Oxígeno (%).	42

Fuente: (Autores del documento)

Tabla 16. Ensayo 2 muestra final

<b>Ensayo 2 Muestra Final Agua Tratada</b>	
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ).	122,8
Resistividad ( $\text{K}\Omega/\text{cm}$ ).	8,15
Sólidos en Suspensión ( $\text{mg/L/TDS}$ ).	65,1
Salinidad (Sal).	0,1
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).	17,2
PH. (pH).	6,02
Oxígeno ( $\text{mg/L/O}_2$ ).	3,2
% Oxígeno (%).	45

Fuente: (Autores del documento)

Tabla 17. Ensayo 3 muestra final

<b>Ensayo 3 Muestra Final Agua Tratada</b>	
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ).	120,9
Resistividad ( $\text{K}\Omega/\text{cm}$ ).	8,17
Sólidos en Suspensión ( $\text{mg/L/TDS}$ ).	62,7
Salinidad (Sal).	0,1
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).	17,1
PH. (pH).	6,02
Oxígeno ( $\text{mg/L/O}_2$ ).	3,1
% Oxígeno (%).	46

Fuente: (Autores del documento)

Tabla 18. Ensayo 4 muestra final

<b>Ensayo 4 Muestra Final Agua Tratada</b>	
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ).	119,9
Resistividad ( $\text{K}\Omega/\text{cm}$ ).	8,28
Sólidos en Suspensión ( $\text{mg/L/TDS}$ ).	63,9
Salinidad (Sal).	0,1
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).	17,2
PH. (pH).	5,95
Oxígeno ( $\text{mg/L/O}_2$ ).	3,4
% Oxígeno (%).	47

Fuente: (Autores del documento)

Se compararon los parámetros de las 4 muestras finales del agua tratada con los parámetros de la muestra inicial del agua cruda (agua lluvia) como se ve en la Tabla 19. Comparación parámetro inicial agua cruda (agua lluvia) con parámetros finales agua tratada. Se logra observar que:

- La conductividad que mide la impureza que se encuentra en el agua bajo, pues se encuentran valores por debajo de  $129,2 \mu\text{S/cm}$ .
- La resistividad que indica que entre más baja es permite fácilmente el movimiento de carga eléctrica, subió, pues se encuentran valores por encima de  $7,85 \text{K}\Omega/\text{cm}$
- Los sólidos en suspensión que son los sólidos que no se logran retener en los procesos de sedimentación y filtración bajaron, pues se encuentran valores por debajo de  $76,8 \text{mg/L/TDS}$
- La salinidad que mide el contenido de sales disuelta en el agua se mantuvo constante en todos los ensayos.
- La temperatura del agua se mantuvo en  $17^{\circ}\text{C}$ , sufriendo variaciones por decimales.
- El pH que mide la acidez y basicidad de una sustancia en tres de los cuatro ensayos subió, pues se encuentran valores por encima de  $5,95 \text{pH}$
- El oxígeno que mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en el agua se mantuvo muy cercano al valor inicial del agua cruda  $3,1 \text{mg/L/O}_2$
- El % de oxígeno que mide el oxígeno gaseoso disuelto en el agua se mantuvo muy cercano al valor inicial del agua cruda  $41\%$ , donde en tres de los cuatro ensayos bajaron, el otro fue constante.

Tabla 19. Comparación parámetro inicial agua cruda (agua lluvia) con parámetros finales agua tratada

<b>COMPARACIÓN PARÁMETRO INICIAL AGUA CRUDA (AGUA LLUVIA) CON PARÁMETROS FINALES AGUA TRATADA.</b>						
<b>PARÁMETRO</b>	<b>E. AGUA CRUDA.</b>	<b>E. AGUA TRATADA 1</b>	<b>E. AGUA TRATADA 2</b>	<b>E. AGUA TRATADA 3</b>	<b>E. AGUA TRATADA 4</b>	<b>PROMEDIO ENSAYOS 1,2,3,4</b>
Conductividad (μS/cm)	129,2	122,2	121,8	120,9	119,9	121,2
Resistividad (KΩ/cm)	7,85	8,23	8,15	8,17	8,28	8,2
S. Suspensión (mg/L/TDS)	76,8	64,4	65,1	62,7	63,9	64,0
Salinidad (Sal)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Temperatura (°C)	17,3	17,0	17,2	17,1	17,2	17,1
PH. (pH)	5,95	5,68	6,02	6,02	5,96	5,92
Oxígeno (mg/L/O <sub>2</sub> )	3,1	3,0	3,2	3,1	3,4	3,2
% Oxígeno (%)	47	42	45	46	47	45

Fuente: (Autores del documento)

También se buscó comparar la turbidez inicial del agua cruda con la turbidez durante el proceso de los 4 ensayos, para esto se tomó una muestra de agua durante el proceso de tratamiento en diferentes partes del modelo de la PTAP COAN, para medir la turbidez y observar cómo se comporta este parámetro y cada fase. Se registran los resultados que se ven a continuación en la Tabla 20. Turbidez muestras finales y la comparación de la turbidez de la muestra cruda (agua lluvia) con la turbidez del agua tratada que sale del filtro en la Tabla 21. Comparación parámetro inicial agua cruda (agua lluvia) con parámetros finales agua tratada del filtro rápido.

Tabla 20. Turbidez muestras finales

<b>FASE</b>	<b>Turbidez ensayo 1 (NTU)</b>	<b>Turbidez ensayo 2 (NTU)</b>	<b>Turbidez ensayo 3 (NTU)</b>	<b>Turbidez ensayo 4 (NTU)</b>
Floculador zona 1	21,8	25,0	21,0	21,2
Floculador zona 2	22,6	27,2	22,0	19,8
Floculador zona 3	23,8	25,4	21,5	19,3
Floculador zona 4	23,2	26,3	21,1	19,5
Floculador zona 5	23,6	26,0	21,8	18,8

Floculador zona 6	25,5	27,6	22,5	19,5
Sedimentador	23,2	21,3	29,3	20,7
Filtración	10,2	13,5	10,9	12,3

Fuente: (Autores del documento)

Tabla 21. Comparación parámetro inicial agua cruda (agua lluvia) con parámetros finales agua tratada del filtro rápido

<b>COMPARACIÓN PARÁMETRO INICIAL AGUA CRUDA (AGUA LLUVIA) CON PARÁMETROS FINALES AGUA TRATADA DEL FILTRO RÁPIDO.</b>						
<b>PARÁMETRO</b>	<b>E. AGUA CRUDA.</b>	<b>E. AGUA TRATADA 1</b>	<b>E. AGUA TRATADA 2</b>	<b>E. AGUA TRATADA 3</b>	<b>E. AGUA TRATADA 4</b>	<b>PROMEDIO ENSAYOS 1,2,3,4.</b>
Turbidez (NTU)	44,0	10,2	13,5	10,9	12,3	11,7

Fuente: (Autores del documento)

Al comparar la turbidez de la muestra inicial de agua cruda (agua lluvia) con las muestras finales de agua tratada que salen del filtro rápido, se evidenció que en las 4 muestras finales bajo el nivel de turbidez debido a los procesos de coagulación y filtración. También se realizó la efectividad de este parámetro final de la PTAP COAN, con respecto a los dato inicial del agua cruda (agua lluvia), como se ve en la Tabla 22. Eficiencia PTAP COAN. El promedio de la eficiencia de los 4 ensayos realizados es de 73,4%, este valor puede ser mayor si se contempla realizar tratamiento sencillo de cloración o cal.

Tabla 22. Eficiencia PTAP COAN

<b>EFFECTIVIDAD PTAP COAN.</b>						
<b>PARÁMETRO</b>	<b>E. AGUA CRUDA.</b>	<b>E. AGUA TRATADA 1 (%)</b>	<b>E. AGUA TRATADA 2 (%)</b>	<b>E. AGUA TRATADA 3 (%)</b>	<b>E. AGUA TRATADA 4 (%)</b>	<b>PROMEDIO ENSAYOS 1,2,3,4. (%)</b>
Turbidez	44,0	76,8	69,3	75,2	72,0	73,4

Fuente: (Autores del documento)

Además, se buscó comparar los parámetros tomados, con los valores máximos permitidos por la resolución 2115 del 22 de junio de 2007 y con el índice de calidad del agua potable (ICA) del Ideam de 2013.

Tabla 23. Comparación parámetro valores máximos aceptables del agua potable con parámetros finales agua tratada en la PTAP COAN

<b>COMPARACIÓN PARÁMETRO VALORES MÁXIMOS ACEPTABLES DEL AGUA POTABLE CON PARÁMETROS FINALES AGUA TRATADA EN LA PTAP COAN.</b>						
<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR MÁXIMO ACEPTABLE</b>	<b>E. AGUA TRATADA 1</b>	<b>E. AGUA TRATADA 2</b>	<b>E. AGUA TRATADA 3</b>	<b>E. AGUA TRATADA 4</b>	<b>PROMEDIO ENSAYOS 1,2,3,4</b>
Conductividad (μS/cm)	50 - 400	122,2	121,8	120,9	119,9	121,2
Resistividad (KΩ/cm)	-----	8,23	8,15	8,17	8,28	8,2
S. Suspensión (mg/L/TDS)	-----	64,4	65,1	62,7	63,9	64,0
Salinidad (Sal)	-----	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Temperatura (°C)	-----	17,0	17,2	17,1	17,2	17,1
PH. (pH)	6,0 – 9.5	5,68	6,02	6,02	5,96	5,92
Oxígeno (mg/L/O <sub>2</sub> )	> 4,0	3,0	3,2	3,1	3,4	3,2
% Oxígeno (%)	> 60	42	45	46	47	45

Fuente: (Autores del documento)

Tabla 24. Comparación parámetro valores máximos aceptables del agua potable con parámetros finales agua tratada del filtro rápido

<b>COMPARACIÓN PARÁMETRO VALORES MÁXIMOS ACEPTABLES DEL AGUA POTABLE CON PARÁMETROS FINALES AGUA TRATADA DEL FILTRO RÁPIDO.</b>						
<b>PARÁMETRO</b>	<b>E. AGUA CRUDA.</b>	<b>E. AGUA TRATADA 1</b>	<b>E. AGUA TRATADA 2</b>	<b>E. AGUA TRATADA 3</b>	<b>E. AGUA TRATADA 4</b>	<b>PROMEDIO ENSAYOS 1,2,3,4.</b>
Turbidez (NTU)	5	10,2	13,5	10,9	12,3	11,7

Fuente: (Autores del documento)

Los parámetros de conductividad y dos de 4 muestras finales del pH, así mismo, la alcalinidad total, son los únicos parámetros que cumplen con respecto a los valores máximos que permite el agua potable en las normas ya mencionadas anteriormente.

Sin embargo, haciendo un tratamiento sencillo de cloración o cal, podría mejorar el rango en que se encuentran los demás parámetros tomados y servir para agua potable, ya que no se contemplaron en los ensayos que se realizaron dentro de la PTAP. No obstante, los parámetros finales del agua tratada en la PTAP COAN, se encuentran dentro del rango para ser utilizados como agua de:

- **Uso agrícola.**
  - Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
  - Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
  - Cultivos de fibras celulósicas y derivados.
  - Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.
  - Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
  - Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.
  
- **Uso domiciliario.**
  - Áreas verdes en parques y en campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.
  - Jardines en áreas no domiciliarias.
  - Descarga de aparatos sanitarios.
  
- **Uso industrial.**
  - Intercambio de calor de enfriamiento y en calderas.
  - Descarga de aparatos sanitarios.
  - Limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado.
  - Sistema de redes contra-incendio.

Esto con base en la resolución 1207 del 25 de junio de 2014 (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible., 2014 págs. 5-8), donde se cumplen los parámetros de conductividad, pH, Y oxígeno disuelto (mg/L/O<sub>2</sub>).

Como se puede apreciar en la Figura 78. PTAP COAN, se puede ver la optimización y rehabilitación que alcanzó el modelo con respecto a la PTAP inicial Figura 5. Modelo mudo, dando como resultado un modelo de PTAP eficiente, práctico y tecnificado. El cual sirve como practica de laboratorio con el fin de mostrar a los estudiantes de la Universidad Católica de Colombia los procesos que se llevan a cabo en el tratamiento de agua cruda.

*Figura 77. Muestra inicial vs Muestra final*



Fuente: (Autores del documento)

*Figura 78. PTAP COAN*



Fuente: (Autores del documento)

## 7. RESUMEN METODOLOGÍA DE DISEÑO.

- Para la optimización de la PTAP se realizó la implementación de una bomba sumergible en un tanque de 120 litros, que surte el sistema; además se adicionó una Cámara de Aquietamiento, un Canal de Transición, una Canaleta Parshall. Se instaló la Cámara de Aquietamiento para disminuir la velocidad de la impulsión del agua que genera la bomba. Ya en la cámara de aquietamiento se instaló una transición a la canaleta Parshall para generar un flujo subcrítico (Numero de Froude  $< 1$ ), que a su vez entrega a la canaleta Parshall donde se agrega el coagulante de una forma constante con una bomba peristáltica generando el flujo supercrítico (Numero de Froude  $> 1$ ).
- Se efectuó el sellamiento de las fugas que se presentaban en el modelo de la PTAP; implementando un sistema de adaptadores con rosca y aplicación de un sellador anti hongos para agua. Además de un sistema de tuberías y mangueras, que facilita el vaciado y la evacuación del agua en la PTAP COAN.
- En el test de jarras se analizó las variaciones en la dosis del polímero o coagulante en cada jarra, permitiendo la reducción de los coloides en suspensión y materia orgánica a través del proceso de floculación; es decir, simulando los procesos unitarios de coagulación, floculación y sedimentación; para el caudal en uso que es de 0,2 l/s es necesario utilizar entre 20 y 22 ml de coagulante tipo B (sulfato de aluminio); en el análisis de las 7 jarras q se tomaron con diferente cantidad de coagulante se decidió tomas la jarra que contenía 20 ml de coagulante tipo B, ya que si se toma el que contiene menos coagulante no alcanza a retener los coloides y el material orgánico en suspensión y si tomamos mayor cantidad de coagulante los materiales retenidos se retienen pero por tener mayor cantidad de coagulante el material retenido se vuelve a disolver.
- En el tanque de almacenamiento (que su capacidad es de 110 l/s) se agregó 11 gramos de bentonita, esto para que en el proceso de floculación y sedimentación los sólidos en suspensión o floc bajen al fondo de cada fase en el modelo de la PTAP cuando se pone en contacto con el coagulante.
- Se realizaron las pruebas de laboratorio y se observó que en los procesos de floculación y sedimentación se presenta una gran cantidad floc retenido, lo cual indica que tanto el coagulante tipo B como la dosis aplicada es el óptimo, así mismo, el trabajo realizado por cada una de las fases del modelo de la PTAP COAN.

## 8. CONCLUSIONES.

- Se generó un diagnóstico técnico del modelo, el cual determinó las causas y falencias por las cuales el modelo de la PTAP no se encontraba en uso. Permitiendo de esta manera alcanzar la mejora y optimización de cada una de las fases que componen este modelo, dando como resultado unos notorios procesos de calidad y eficiencia del sistema durante cada una de las pruebas de laboratorio realizadas.
- Gracias a la investigación y recolección de información a partir de textos guías y documentos web acerca de las partes que componen una PTAP, se logró optimizar el modelo de la PTAP COAN, implementando fases para el aumento de la calidad y el proceso verídico en una planta de tratamiento de agua potable real.
- A partir de investigación y cálculos de laboratorio del Test de jarras, se dedujo que la dosis óptima para hacer el floc de tamaño apropiado para la PTAP COAN se encuentra entre (20-22) ml CaCO<sub>3</sub> (Tipo B).
- Aplicando las recomendaciones de los docentes y un análisis de los textos guía mencionado durante el documento, se investigó y realizó una minuciosa ejecución de la optimización de la PTAP COAN.
- El modelo diseñado para la Universidad Católica de Colombia se rehabilitó, optimizó y complementó, satisfaciendo las necesidades propuestas de eficiencia, procedimiento, calibración y satisfacción en la obtención de datos para las normas establecidas.
- El tratamiento que se le realizó al agua cruda (agua lluvia) con el modelo de la PTAP, nos mostró que parámetros como la conductividad, sólidos en suspensión y turbidez bajaron lo que indica que la finalidad del modelo de bajar las impurezas, retener sólidos en suspensión en los diferentes procesos del modelo como la coagulación y filtración, se cumple.
- Se generó una guía de laboratorio la cual cumple con el objetivo de analizar e identificar cada uno de los parámetros y cómo el agua actúa en la PTAP COAN debido a cada uno de las fases presentes en el modelo optimizado.
- Se creó un manual de uso con el fin de evitar daños en la PTAP COAN y aumentar el tiempo de uso y ejecución de la misma.

## 9. RECOMENDACIONES.

- Si se va a realizar el laboratorio o hacer algún proceso en la PTAP COAN, es importante tener en cuenta que es necesario purgar la planta primero y dejar el agua con que se purgó mínimo por media hora, para que los resultados sean los esperados.
- Antes de realizar el proceso en la PTAP se deberá purgar independientemente el filtro para sacar las impurezas en el mismo.
- Para el llenado del tanque de almacenamiento se deberá tener en cuenta que no puede superar su capacidad que es de 130 litros, por lo tanto, el volumen exacto de trabajo deberá ser de 110 litros.
- Para un buen manejo de la bomba no deberá estar conectada a un tiempo mayor de 15 minutos y como es una bomba sumergible el tanque de almacenamiento mínimo deberá estar lleno con 30 litros de agua ya que si ese volumen no está, la bomba tendrá daños irreversibles.
- La bomba peristáltica deberá estar graduada según el caudal que se encuentra la válvula de cortina, que para el caudal de 0,2 l/s es de 255 RPM.
- La dosificación de coagulante tipo B y de bentonita deberán estar bien graduado para evitar que los datos esperados no se vean afectados.
- El tiempo estimado que se demora un ensayo es de 6 minutos 30 segundos (390 segundos) hasta llenar los 10 litros de la muestra, se debe apagar la bomba y alistar el modelo si se desea hacer otro ensayo.
- Al finalizar el laboratorio de la PTAP se deberá limpiar, ya que si no se hace los floc que quedan en la transición pueden afectar los procesos siguientes; incluyendo el tanque de almacenamiento.
- Tener en cuenta la tabla de relación de caudal respecto al coagulante y a las revoluciones por minuto (RPM) que se desee tomar.

*Tabla 25 Relación de Caudal respecto al coagulante y a las RPM*

<b>Relación de caudal respecto al coagulante y a las RPM</b>				
Numero de giros en la válvula de la bomba	Caudal (l/s)	Caudal (ml/s)	Coagulante (ml)	RPM en la bomba peristáltica
3	0.24	240	5.28	303
2.5	0.2	200	4.4	255
2	0.17	170	3.74	218
1.5	0.13	130	2.86	169

Fuente: (Autores del documento)

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- **Academia Nacional de Ciencias.** Sistemas de filtración. 2007. [En línea] <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html>.
- **Aguasistec solución en tratamientos de agua. 2016.** Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP. *Agua sistec solución en tratamientos de agua.* [En línea] 2016. <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>.
- **American Acuarium. 2018.** Submersible pump. [En línea] 2018. <http://www.americanaquariumproducts.com/RioPlusPumps.html>.
- **Andía Cárdenas, Yolanda. 2000.** Tratamiento de agua, coagulación y floculación. [En línea] 04 de 2000. [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154).
- **Arkon flow systems. 2018.** Canaletas Parshall. [En línea] 2018. <http://arkon.co.uk/spa/products/parshall-flumes>.
- **Bioplast depuración. 2018.** Canal Parshall. [En línea] 2018. <http://bioplastdepuracion.com/index.php?s=noticia&n=36>.
- **BombaSumergible. 2016.** Bomba Sumergible. [En línea] 2016. [https://www.bombasumergible.com/definicion\\_bomba\\_sumergible.html](https://www.bombasumergible.com/definicion_bomba_sumergible.html).
- **Bonsai Menorca. 2018.** Parámetros de Calidad de las Aguas . *Parámetros de Calidad de las Aguas* . [En línea] 2018. <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/#Sabor%20y%20Olor>.
- **Bragado Acaraz, Raúl. 2018.** Curva característica de una bomba. [En línea] tiloom, 12 de 01 de 2018. <https://www.tiloom.com/curva-caracteristica-de-una-bomba/>.
- **Calí, Empresas municipales de. 2016.** Manual Jarras y pruebas. [En línea] 2016. <https://es.scribd.com/doc/39353489/Manual-Jarras-y-Pruebas>.
- **Canter, Larry. 1998.** *Manual de evaluación del impacto ambiental.* s.l. : MCGRAW-HILL, 1998.
- **Centers for Disease Control and Prevention. 2015.** Drinking Water. *Community Water Treatment.* [En línea] 20 de 01 de 2015. [https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/water\\_treatment.html](https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/water_treatment.html).
- **Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2002.** Tratamiento de agua para consumo humano. *Tratamiento de agua.* [En línea] 2002. <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf>.
- **Compañía General de Plásticos LTDA. 2014.** Accesorios Presión. [En línea] 2014. <http://g-plast.com/schedule40.html>.

- **DOS 20 Ventas y Servicios Tecnológicos. 2018.** Canaleta Parshall. [En línea] 2018. <http://www.dos20.cl/producto/Canaleta-parshall>.
- **ENEXIO 2H Water technologies. 2018.** Tratamiento de agua. *Sedimentadores Alta Tasa, Diseño y Eficiencia*. [En línea] 2018. <http://www.tratamientodelagua.com.mx/sedimentadores-alta-tasa/>.
- **Estudio de Impacto Ambiental por la contratación y operación de las nuevas instalaciones del Diario. 2010.** Estudio de Impacto Ambiental por la contratación y operación de las nuevas instalaciones del Diario. *El telegrafo*. [En línea] 2010. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13634/10/Glosario%20de%20Terminos.pdf>.
- *Evolución de las guías microbiológicas de la OMS para evaluar la calidad del agua para consumo humano. Mora Alvarado, Darner. 1984-2004.* 1984-2004, Revista Costarricense de Salud Pública.
- **Experimentos Científicos. 2018.** pH. [En línea] 11 de 01 de 2018. <https://www.experimentoscientificos.es/ph/>.
- **Fundamentals of environmental measurements. 2014.** Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids. *Conductivity*. [En línea] 2014. <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/>.
- **Hernández Triana, Edwin Javier y Corredor Briceño, Carlos Augusto. 2017.** DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA PLANTA MODELO DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACION DE AGUA, SE DISPONDRÁ EN EL LABORATORIO DE AGUAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. Bogotá D.C. : s.n., 2017.
- **IDEAM. 2013.** Índice de calidad del agua (ICA). [En línea] 2013. [http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21\\_HM\\_Indice\\_calidad\\_agua\\_3\\_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031).
- **Ingenieros Asociados de Control. 2008.** Canaleta Parshall. *Canaleta Parshall, Instrucciones de montaje*. [En línea] 2008. [Citado el: 13 de 10 de 2018.] <https://iac-sl.es/sites/default/files/Ccanales.PDF>.
- **Ives, Ken. 2015.** Coagulation and Flocculation. *Flocculation*. [En línea] 2015. <https://www.yumpu.com/en/document/view/52857880/coagulation-and-flocculation-samsamwater/15>.
- **Lozano, Gabriel. 2017.** Taller de Diseño Tratamiento de Agua Potable. *Tratamiento de Agua Potable*. [En línea] 2017. [https://issuu.com/diegoandreschalacan/docs/taller\\_de\\_dise\\_o\\_tratamiento\\_de\\_ag](https://issuu.com/diegoandreschalacan/docs/taller_de_dise_o_tratamiento_de_ag).
- **Ministerio de Agricultura de Colombia. 1984.** Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984. [En línea] 26 de 06 de 1984. <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/decreto-1594-de-1984>.
- **Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. 2014.** Aguas residuales tratadas, resolución 1207. [En línea] 25 de 06 de 2014.

<https://www.dropbox.com/s/n6cibyc22eybr7f/Resolucion%201207%20de%202014%20AguasResidualesTratadas.pdf?dl=0>.

- **Ministerio de la Protección Social de Colombia. 2007.** Decreto Número 1575 de 2007. [En línea] 9 de 05 de 2007. <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>.
- **Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. 2007.** Resolución 2115 de 2007. [En línea] 22 de 06 de 2007. [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion%20del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion%20del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf).
- **Minnesota Pollution Control Agency. 2008.** Turbidity. *Water Quality*. [En línea] 03 de 2008. <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/wq-iw3-21.pdf>.
- **NSF. 2018.** The Public Health and Safety Organization. *Drinking Water*. [En línea] 2018. <http://www.nsf.org/consumer-resources/water-quality/drinking-water>.
- **NYU Hudson. 2012.** Turbidity. [En línea] 2012. [http://steinhardtapps.es.its.nyu.edu/nyuhudson/?page\\_id=168](http://steinhardtapps.es.its.nyu.edu/nyuhudson/?page_id=168).
- **Pedroza Gonzáles , Edmundo. 2016.** Diseño Canaleta Parshall. [En línea] Comisión Nacional del Agua y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2016. <http://slideplayer.es/slide/5714971/>.
- **Pérez Carmona, Rafael. 2010.** *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*. Bogotá D.C. : ECOE EDICIONES, 2010.
- **Pérez Porto, Julián y Merino, María. 2018.** Bomba Hidráulica. [En línea] Definicion.de, 2018. <https://definicion.de/bomba-hidraulica/>.
- **Romero Rojas, Jairo Alberto. 1999.** *Potabilización del Agua*. México, D.F. : Alfaomega, 1999.
- **Sanchez Díaz, Gustavo Adolfo.** DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN LABORATORIO. *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN LABORATORIO*. [En línea] [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7117/PFC\\_Gustavo\\_Diez\\_Sanchez\\_L-PFC\\_03968.pdf;jsessionid=44CC25BD6BB065699CEC55654BB6ECAC?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7117/PFC_Gustavo_Diez_Sanchez_L-PFC_03968.pdf;jsessionid=44CC25BD6BB065699CEC55654BB6ECAC?sequence=1).
- **Scribd. 2017.** La primera planta de tratamiento de aguas en Colombia. *Olanta de tratamiento de agua potable*. [En línea] 2017. <https://es.scribd.com/document/287404470/La-Primera-Planta-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-en-Colombia-ENSAYO>.
- **Solarte Delgado, Yhon Jairo. 2014.** Diseño de Planta de Agua Potable. [En línea] 2014. [https://issuu.com/yhonjairo/docs/dise\\_o\\_ptap](https://issuu.com/yhonjairo/docs/dise_o_ptap).
- **Tuberías, Limpieza. 2010.** Tuberías PVC. [En línea] 27 de 1 de 2010. <http://www.limpiezadetuberiascostarica.com/?p=117>.

- **UNICEF. 2018.** El agua potable y el saneamiento en los planes de desarrollo. [En línea] 10 de 06 de 2018. <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>.
- **USGS Science for a changing world. 2018.** pH. *Water properties*. [En línea] 8 de 08 de 2018. <https://water.usgs.gov/edu/ph.html>.
- **Water Research Center. 2018.** Alkalinity. [En línea] 2018. <https://www.water-research.net/index.php/the-role-of-alkalinity-citizen-monitoring>.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: CÁLCULOS BOMBA SUMERGIBLE.**

## **ANEXO 2: CÁLCULOS CAMARA DE AQUIETAMIENTO.**

### **ANEXO 3: CÁLCULOS CANALETA PARSHALL.**

## **ANEXO 4: CÁLCULO RPM BOMBA PERSTÁLTICA.**

## **ANEXO 5: DETALLE CANALETA PARSHALL.**

**ANEXO 6: DETALLE CÁMARA DE AQUIETAMIENTO Y TRANSICIÓN A LA  
CANALETA PARSHALL.**

**ANEXO 7: VIDEO TEST DE JARRAS, 22 ml COAGULANTE TIPO B, SIN BENTONITA.**

**ANEXO 8: VIDEO TEST JARRAS, DIFERENTES DOSIS COAGULANTE TIPO B,  
CON BENTONITA.**

**ANEXO 9: VIDEO MODELO PTAP OPTIMIZADO.**

**ANEXO 10: GUÍA DE LABORATORIO DEL MODELO DE LA PTAP COAN.**

**ANEXO 11: MANUAL DE USO DEL MODELO DE LA PTAP COAN.**

**ANEXO 12: DETALLE MODELO PTAP COAN.**

**ANEXO 13: DETALLE FLOCULADOR ALÁBAMA, SEDIMENTADOR ALTA  
TASA Y FILTRO RÁPIDO.**

**ANEXO 14: DETALLE MODELO PTAP INICIAL SIN MEJORA.**