

**PREDISEÑO Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE EL RÍO EN EL MUNICIPIO DE ANAPOIMA (CUNDINAMARCA)**

**FREDY GIOVANNY GARZÓN VARGAS
DAVID ESTEBAN MARTINEZ MORENO**



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADO

BOGOTÁ

2018

**PREDISEÑO Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE EL RÍO EN EL MUNICIPIO DE ANAPOIMA (CUNDINAMARCA)**

Trabajo para obtener el título como Ingeniero Civil

FREDY GIOVANNY GARZÓN VARGAS

DAVID ESTEBAN MARTINEZ MORENO

Director

ING. JORGE BENAVIDES

Asesor

ING. OSCAR BAQUERO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADO

BOGOTÁ

2018

CONTENIDO

GLOSARIO	8
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
3. OBJETIVOS	16
3.1. Objetivo general	16
3.2. Objetivos específicos	16
4. JUSTIFICACIÓN	17
5. ANTECEDENTES	18
6. MARCO REFERENCIAL	20
6.1. Marco Teórico	20
6.1.1 Procesosunitarios	21
6.1.1.1 Coagulación - mezcla rápida	21
6.1.1.2 Floculación:	23
6.1.1.3 Sedimentación:	25
6.1.1.4 Filtración:	25
6.1.2 Información general del municipio de Anapoima	26
6.1.3. Vías de comunicación	27
6.1.4. Servicios públicos	28
6.1.4.1 Serviciode acueducto y alcantarillado	28
6.1.4.2. Serviciode electricidad	29
6.2. Marco conceptual	29
6.2.1. Levantamiento topográfico	29
6.2.2. Radiación simple	29
6.3. Marco tecnológico	30
7. METODOLOGÍA	31
8. DIAGNÓSTICO	32
8.1. Estructuras de la Ptap el Río	32
8.1.1. Aforo	33

8.1.2.	Mezcla rápida	33
8.1.3.	Floculación	35
8.1.4.	Sedimentación	36
8.1.5.	Filtración	37
8.2.	Levantamiento topográfico	38
8.3.	Hoja de vida de los equipos	48
9.	DETERMINACIÓN DEL COAGULANTE Y DOSIS ÓPTIMA	51
	Sulfato de aluminio tipo A (Alumbre):	52
	Cloruro Férrico	53
	Policloruro de aluminio	53
9.1.	Resultados pruebas de jarras	53
9.2.	Alcalinidad	60
10.	RECONSTRUCCIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO	62
10.1.	Dotación neta máxima	62
10.2.	Dotación bruta	63
10.3.	Proyección de la población	64
10.3.1.	Método geométrico	65
10.4.	Caudal medio diario (Qmd)	69
10.5.	Caudal máximo diario (QMD)	69
10.6.	Proyección de demanda	70
10.7.	Diseño de mezcla rápida- canaleta parshall	71
10.8.	Diseño del floculador	81
10.9.	Diseño del sedimentador	89
10.10.	Diseño del filtro	95
11.	TRATAMIENTO DE LODOS	101
11.1	Lodos producidos por el sedimentador	101
11.2	Lodos producidos por el filtro	105
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
13.	REFERENCIAS	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para el diseño de la mezcla rápida.....	22
Tabla 2. Parámetros de diseño para un sedimentado.....	25
Tabla 3. Características del floculador hidráulico.....	35
Tabla 4. Dimensiones del sedimentador.....	37
Tabla 5. Dimensiones del sedimentador.....	39
Tabla 6. Datos Estación.....	43
Tabla 7. Corrección de coordenadas.....	43
Tabla 8. Coordenadas Finales.....	47
Tabla 9. Parámetros medidos in situ.....	52
Tabla 10. Parámetros iniciales del cloruro férrico en el laboratorio de la universidad Santo Tomás.....	54
Tabla 11. Resultados obtenidos en el ensayo de jarras para el cloruro férrico en el laboratorio de la universidad Santo Tomás.....	54
Tabla 12. Parámetros iniciales del sulfato de aluminio en el laboratorio de la universidad Santo Tomás.....	55
Tabla 13. Resultados obtenidos en el ensayo de jarras para el sulfato de aluminio en el laboratorio de la universidad Santo Tomás.....	55
Tabla 14. Parámetros iniciales del cloruro férrico en el laboratorio de la PTAP.....	56
Tabla 15. Resultados obtenidos en el ensayo de jarras para el cloruro férrico en el laboratorio de la PTAP.....	57
Tabla 16. Parámetros iniciales del Sulfato de Aluminio en el laboratorio de la PTAP.....	57
Tabla 17. Resultados obtenidos en el ensayo de jarras para el cloruro sulfato de aluminio en el laboratorio de la PTAP.....	57
Tabla 18. Dotación neta máxima.	62
Tabla 19. Proyección de la población que deberá abastecer la PTAP El Río (sin tener en cuenta la población flotante).....	67
Tabla 20. Proyección de la población que deberá abastecer la PTAP El Río (teniendo en cuenta la población flotante).....	68

Tabla 21. Proyección de demanda de la PTAP El Río (sin tener en cuenta la población flotante).....	71
Tabla 22 Proyección de demanda de la PTAP El Río (teniendo en cuenta la población flotante)	71
Tabla 23. Dimensiones típicas de medidores parshall.....	73
Tabla 24. Determinación de W en función del caudal.....	73
Tabla 25. Dimensiones típicas para un ancho de 3”.....	74
Tabla 26. Valores del coeficiente K y del exponente n.....	75
Tabla 27. Parámetros para mezcla rápida.....	78
Tabla 28. Diseño canaleta Parshall.....	79
Tabla 29. Caudal según altura de lámina.....	80
Tabla 30. Reconstrucción de la memoria de cálculo.....	82
Tabla 31Diseño zona 1 del floculador.....	87
Tabla 32.Diseño zona 2 del floculador.....	88
Tabla 33. Diseño zona 3 del floculador.....	88
Tabla 34. Criterios de diseño del sedimentador.....	90
Tabla 35. Reconstrucción memoria de cálculo del Sedimentador de flujo horizontal.....	90
Tabla 36Criterios de diseño para actualizar el sedimentador cumpliendo con los parámetros establecidos en la resolución 0330 de 2017.....	94
Tabla 37. Resultados obtenidos para la actualización del sedimentador bajo los parámetros establecidos por la resolución 0330 de 2017.....	95
Tabla 39. Factores de esfericidad y peso específico.....	98
Tabla 40. Cálculos filtro.....	100

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Clasificación de floculadores.....	23
Ilustración 2. Floculador de flujo horizontal	24
Ilustración 3. Ubicación del municipio de Anapoima.	27
Ilustración 4. Ruta del Valle del Tequendama	28
Ilustración 5 Radiación.....	30
Ilustración 6. Esquema de una planta de tratamiento de agua potable convencional.	32
Ilustración 7. Aforador parshall.....	33
Ilustración 8. Dosificación del sulfato de aluminio.	34
Ilustración 9. Dosificación del polímero.	34
Ilustración 10. Floculador hidráulico de pantallas de flujo horizontal.	36
Ilustración 11. Sedimentador.....	36
Ilustración 12. Filtro.	37
Ilustración 13. Composición del filtro.	38
Ilustración 14. Ensayo de jarras, universidad Santo Tomas.....	54
Ilustración 15. Ensayo de jarras en el laboratorio de la PTAP con cloruro férrico como coagulante.....	59
Ilustración 16. Ensayo de jarras usando sulfato ferroso como coagulante.....	60
Ilustración 17. Grafico del promedio de personas por hogar según censo del DANE de 2005...	64
Ilustración 18 Dimensiones de canaleta parshall.....	72
Ilustración 19 esquema general floculador.....	83
Ilustración 20 esquema general sedimentador.....	89
Ilustración 21. sedimentador a los 20 días.....	103
Ilustración 22. Agua que sale del sedimentador.....	104
Ilustración 23 Corte lecho de secados.....	105

GLOSARIO

- **Agua cruda:** Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Agua potable:** Agua que, por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Alcalinidad:** Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Calidad del agua:** Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Caudal de diseño:** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Cloración:** Aplicación de cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Cloro residual:** Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).

- **Coagulación** Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Coagulantes:** Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Coloides:** Sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Desarenador:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Desinfección:** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Dosificación:** Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Dosis óptima:** Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).

- **Dotación:** Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Filtración:** Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Floculación:** Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Lecho de filtración:** Medio constituido por material granular poroso por el que se hace percolar un flujo. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Lodo:** Contenido de sólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que se remueve durante los procesos de tratamiento. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico)
- **Mantenimiento:** Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Mezcla rápida:** consiste en una fuerte agitación con el fin de dispersar rápida y homogéneamente los productos químicos aplicados en dosis óptimas a la masa de agua. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).

- **Mezcla lenta:** Agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Pérdida de carga:** Disminución de la energía de un fluido debido a la resistencia que encuentra a su paso. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Planta de potabilización:** Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Precloración:** Adición de cloro al iniciar un proceso o una serie de procesos. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Prueba de jarras:** Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Sedimentación:** Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Solubilidad:** Capacidad de una sustancia o soluto de mezclarse homogéneamente en un solvente para unas condiciones de presión y temperatura específicas. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).
- **Turbiedad:** Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión. (RAS 2000, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico).

Resumen

La Planta de tratamiento de agua potable “El Río” es de tipo convencional, es decir que cada uno de los procesos ocurre en una estructuras diferentes, el agua cruda que llega a la planta es bombeada desde el punto de captación, el cual se encuentra en el embalse Mesa de Yeguas y luego de realizar el tratamiento, el agua es rebombada hasta el tanque las delicias, ubicado en el casco urbano del municipio de Anapoima, Actualmente la planta no cuenta con la memoria de cálculo ni con los planos de cada unidad que la compone, lo cual hace que algunos procesos se realicen empíricamente, o por experiencia de los operarios, por lo que se busca mediante este proyecto la optimización de la PTAP. Para lograr esto, se elabora la memoria de cálculo de cada uno de los componentes, así como el levantamiento topográfico de cada uno de estos, además de esto se realizará un prediseño para el tratamiento de los lodos generados al lavar los filtros y se elaborará la hoja de vida de todos los equipos.

palabras clave: Optimización, Agua potable, parámetros de diseño, evaluación, tratamiento, prediseño.

Abstract

The Drinking water treatment plant “El Rio” is of conventional type, that is to say that each one of the processes occurs in a different structure, the water that arrives at the plant is pumped from the point of capture, which is in the Mesa de Yeguas reservoir and then to carry out the treatment, the water is rebounded to the tank of delights, located in the urban area of Anapoima, currently the plant does not have the calculation memory, which means that some processes are performed empirically, or by experience of the operators, for which the optimization of the PTAP is sought through this project. To achieve this, the calculation memory of each one of the components is elaborated, as well as the topographic survey of each of these, in addition to this a proposal is made for the treatment of the sludge generated when washing the filters and the resume of all teams.

Key words: Optimization, drinking water, design parameters, evaluation, treatment, pre-design.

1. Introducción

Los seres humanos siempre hemos necesitado el agua para sobrevivir, con ello la necesidad de recolectarla, distribuirla, conservarla y posteriormente purificarla. Tenemos que los primeros en indagar en una mejor calidad del agua fueron los romanos quienes utilizaron un sistema de tratamiento por aireación el cual era utilizado como método de purificación.

En el año 1804 se implementa el primer sistema de filtros a una ciudad completa en la ciudad de Paisley, Escocia por John Gibb, luego en 1806 en París se inicia a operar la mayor planta de tratamiento de agua donde parte de su operación consiste en una sedimentación por 12 horas antes de pasar al proceso unitario de filtración los cuales consistían en arena y carbón.¹

Un hecho que cabe recalcar es el día 28 de julio de 2010, donde la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció por medio de la resolución 64/292 el derecho humano al agua y al saneamiento, esta resolución exhorta a los estados y organizaciones internacionales a proporcionar recursos financieros, para lograr un suministro de agua potable y saneamiento saludable.²

En la constitución política colombiana, se habla de lo fundamental del agua potable, mediante el artículo 366 el cual dice: “El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable.”

¹ **LENNTECH.** LENNTECH. [En línea] [Citado el: 1 de Marzo de 2018.] <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>.

²Resolución A/RES/64/292. Asamblea General de las Naciones Unidas. Julio de 2010

2. Descripción del problema

El centro urbano del municipio de Anapoima en el departamento de Cundinamarca, cuenta con dos plantas de tratamiento de agua potable, una de ellas es la planta El Río, de tipo convencional, por lo que cada uno de los procesos de potabilización del agua tienen su propia estructura, esta PTAP trata un caudal de entre 13 L/s y 15 L/s, funciona las 24 horas del día, lo que la hace de gran importancia para el municipio, sin embargo, desde 2008 cuando la Empresa Regional Aguas del Tequendama empezó a administrar estas plantas, no les fue suministrada la información adecuada para llevar acabado de una forma óptima cada uno de los procesos que se realizan con el fin de potabilizar el agua. La empresa no cuenta con la memoria de cálculo ni los planos de cada uno de sus componentes, además el agua que entra a la planta desde la bocatoma, llega con dureza, los tiempos en los que se realizan los diferentes procesos son muy altos y no se le da un adecuado tratamiento a los lodos generados. Por esta razón, se plantea la reconstrucción de las memorias de cálculo con el fin de optimizar el funcionamiento de los procesos llevados a cabo en la planta, un levantamiento topográfico para realizar los planos de la PTAP, hacer la caracterización del agua y generar una propuesta para el tratamiento de los lodos que se produzcan a partir del lavado de los filtros y demás unidades.

3. Objetivos

3.1.OBJETIVO GENERAL

Realizar la actualización técnica de la PTAP El Río con fin de optimizar y mejorar el funcionamiento y operación de la misma.

3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento topográfico de la PTAP y sus elementos, para así obtener la reconstrucción de las memorias de cálculo.
- Realizar una propuesta para el tratamiento de lodos con fin de cumplir con este proceso.
- Generar las hojas de vida de los equipos que se encuentran en el laboratorio de la PTAP
- Establecer una comparación de efectividad de coagulantes con fin de que la empresa pueda elegir el más óptimo.

4. Justificación

La calidad del agua es esencial para el bienestar humano y para su desarrollo, por lo que el agua que es apta para el consumo humano, debe estar libre de microorganismos o sustancias que puedan transmitir enfermedades, por lo que debe pasar por diferentes procesos con el fin de llegar a reducir cualquier efecto negativo que esta pueda provocar en los seres humanos.

Ya que la planta de tratamiento de agua potable El Río, carece de la información necesaria para el óptimo funcionamiento de la misma, se pretende llevar a cabo una optimización de los procesos llevados a cabo para abastecer a la región de agua potable, así como la solución al tratamiento de lodos, dando como resultado una mejor calidad del servicio de la empresa y una mejor calidad de vida de la población del Municipio de Anapoima

5. Antecedentes

Según la Organización Mundial de la Salud, para 2017, 3 de cada 10 persona o aproximadamente 2100 millones de personas no contaban con un saneamiento seguro, por lo que el riesgo de contraer enfermedades aumenta, por lo que se calcula que unas 842.000 personas mueren al año por diarrea, debido al mal saneamiento del agua.

En Colombia, según cifras del DANE, la cobertura del acueducto es del 92.3 %, lo que significa que hay más de 3.6 millones de personas sin acceso a este, por lo que en los últimos años se ha hecho una gran inversión con el fin de llevar agua potable a las zonas más apartadas del país y así mejorar la calidad de vida de la población.

En cuanto al Municipio de Anapoima, lugar en el cual se desarrolla el proyecto, en el año 2014, se llevó a cabo la instalación de un sistema de bombeo de tipo sumergible en la estación de mesa de yeguas, la cual abastece la PTAP el río, este sistema tiene una capacidad de bombeo de 16 litros por segundo. El valor según la empresa regional aguas del Tequendama S.A. E.S.P. Fue de \$54'627.630.00. Dicha bomba consume la mitad de energía eléctrica comparada con la anterior, lo que redujo el consumo de \$25.000.000.00 a \$13.000.000.00 mensuales.³

Según la contraloría de Cundinamarca, mediante la auditoría gubernamental con enfoque integral modalidad especial ambiental- sentencia río Bogotá - municipio de Anapoima, los análisis de la calidad del agua potable para consumo humano realizado por la secretaría de Cundinamarca, en el municipio, 10 muestras no cumplieron con los parámetros de calidad exigidos en la resolución 2115 de 2007, presentando niveles de riesgo medio en parámetros de

³ **Empresa regional aguas del Tequendama S.A. 2014.** Informe de gestión. La Mesa - Anapoima : s.n., 2014.

aluminio, color, turbiedad, y coliformes totales. Por lo que la empresa tomó las acciones pertinentes para mejorar la calidad del agua, mediante su propio laboratorio certificado por el IDEAM, llegando a mejorar hasta en un 90% dichos parámetros. Esto mediante los \$12.437.207.00 que se destinaron en el 2015 para el sector de agua potable y saneamiento básico.⁴

⁴**Cundinamarca, Contraloría de. 2016.** AUDITORIA GUBERNAMENTAL CON ENFOQUE INTEGRAL MODALIDAD ESPECIAL AMBIENTAL - SENTENCIA RÍO BOGOTÁ - NO PRESENCIAL .ANAPOIMA: s.n., 2016.

6. Marco referencial

6.1.Marco Teórico

El procedimiento que se realiza al agua que es captada de diversas fuentes como ríos, lagos, pozos subterráneos, entre otros, para que se vuelva apta para el consumo humano se llama potabilización. Sin embargo, el agua de cada fuente tiene diferentes características, porque los procesos necesarios para hacer que el agua sea potable pueden variar, los procesos más comunes son la aireación, que tiene como fin oxigenar el agua, para oxidar elementos como el hierro y el magnesio, para extraer dióxido de Carbono y disminuir la temperatura del agua; otro de los procesos que se realiza comúnmente es la mezcla rápida, que busca hacer el agua más homogénea, dispersando el coagulante a través de toda la masa de agua; la floculación, que es una agitación lenta de la masa de agua con el fin de aglomerar las partículas coloidales presentes; la sedimentación, mediante la cual se remueven los sólidos en suspensión, por acción de la gravedad; la filtración, Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales que pasaron el tanque de sedimentación; y la cloración, que tiene como objetivo la desinfección.

6.1.1 Procesosunitarios

6.1.1.1 Coagulación - mezcla rápida

En la coagulación o mezcla rápida hay factores que se deben tener en cuenta como lo son; la dosis óptima, la cual se haya realizado en el ensayo de jarras en el laboratorio, la alcalinidad y el PH del agua de puede ver afectada por la adición del coagulante, el color ya que si por ejemplo el coagulante tiene hierro, este podría generar un color amarillo al agua, por lo que se deberían realizar pruebas para comprobar que el agua al finalizar los procesos salga sin dicho color.

Tipos de coagulantes.

Los coagulantes se pueden clasificar en electrolitos, o en coagulantes metálicos. Los electrolitos, son compuestos de alto peso molecular y que son aplicadas en pequeñas concentraciones en las plantas de tratamiento de agua potable, se usa en pequeñas dosis, debido a que poseen una gran cantidad de segmentos. En cuanto a los coagulantes metálicos, estos se pueden clasificar en: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios.

Las sales de aluminio forman un floc que es ligeramente pesado, los más usados son el sulfato de aluminio el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio.

Las sales de hierro forman flocs más pesados que las sales de aluminio y se mayor velocidad de sedimentación, ya que se puede usar en un mayor rango de PH, los más conocidos son el cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso.

Una vez seleccionado el coagulante que mejor funcione teniendo en cuenta las características del agua, debe ser adicionada la dosis óptima mediante un dosificador y posteriormente se debe

realizar una mezcla rápida, para que dicho coagulante se disperse una forma homogénea en toda el agua, las unidades en que se realice esta mezcla puede ser de tipo hidráulico o mecánico.

Mezcladores hidráulicos

Resalto hidráulico. Se usan cuando el flujo en la entrada de la planta llega con suficiente energía

Difusores: es un tubo perforado, hay que tener en cuenta que entre más puntos de aplicación del coagulante, se obtendrá una mayor homogeneización, además hay menor disipación de energía que mediante el resalto hidráulico.

Vertederos: la dosificación se realiza a lo largo del vertedero, este también funciona como aforador

MEZCLADORES MECÁNICOS

Se pueden diseñar con sección rectangular o circular, puede ser de hélices, paletas o turbinas, que son impulsadas por un motor, el agua debe entrar por la parte inferior del tanque y salir por la parte superior

Los parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño de la mezcla rápida son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de mezclador	Rango de gradiente de velocidad medio	tiempo de mezcla
Hidráulico	1000 s-1 - 2000s-1	< 1s
Mecánico	500 s-1	< 60s

Tabla 1. Parámetros para el diseño de la mezcla rápida. Tomado de la resolución 0330 de 201

6.1.1.2 Floculación:

Este proceso se analiza cómo un proceso en el cual intervienen dos mecanismos de transporte, floculación pericinética o browniana (se debe a la energía térmica del fluido) y ortocinética o gradiente de velocidad (se produce en la masa del fluido en movimiento), en donde al dispersarse el coagulante en el fluido y empieza a formar los primeros microflóculos de un tamaño menor de un micrómetro se precisa de la floculación pericinética, luego de alcanzar un tamaño mayor a un micrómetro se inicia la floculación ortocinética.

Tipos de floculadores

Se conocen dos categorías en las cuales se diferencian los tipos de floculadores, mecánicos e hidráulicos, así mismo se caracterizan de acuerdo al tipo de energía utilizada para agitar la masa del agua.

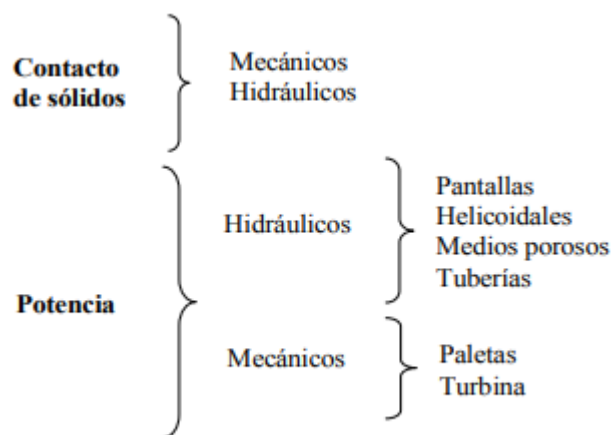


Ilustración 1. Clasificación de floculadores tomado de:
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>

Floculadores hidráulicos: son aquellos que utilizan la energía hidráulica disponible a través de una pérdida de carga.

Pantallas: Es un mecanismo el cual hace uso de tabiques, las cuales son más económicas que el resto de los mecanismos, donde su tiempo de retención real es prácticamente igual al teórico. Su pérdida de carga total se debe a dos factores, el primero es debido a la fricción en el canal, y la segunda y en mayor importancia es a causa de los cambios de dirección.

Existen dos tipos de floculadores que utilizan pantallas, de flujo horizontal y de flujo vertical, donde es recomendable cada uno según el caudal a manejar, para caudales menores a 50 litros por segundo se trabajara con pantallas de flujo horizontal y para caudales que superan los 50 litros por segundo se aplicará con flujo vertical.

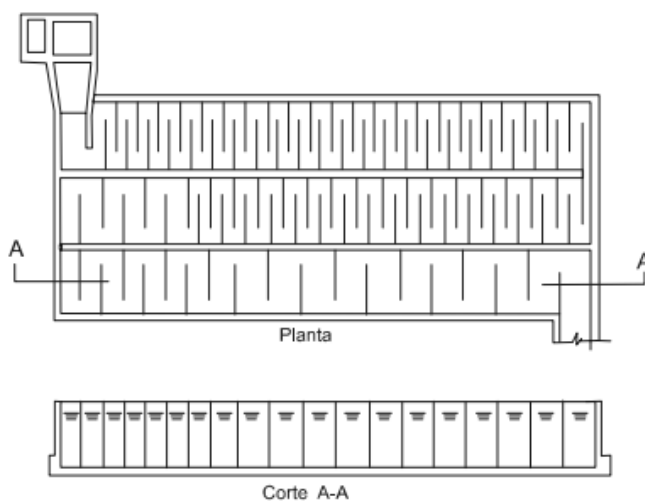


Ilustración 2. Floculador de flujo horizontal tomado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>

6.1.1.3 Sedimentación:

Los sedimentadores pueden ser de flujo horizontal o vertical o en sedimentación en unidades de manto de lodos, sin importar el nivel de complejidad del sistema, se debe contar con por lo menos dos unidades para este proceso. Los sedimentadores de flujo horizontal y vertical pueden ser circulares, cuadrados o rectangulares y se debe tener acceso al fondo de las unidades, mediante el uso de escaleras.

Se deben tener en cuenta los siguientes parámetros de diseño, tomados de la resolución 0330 de 2017.

Tipo de Sedimentador	Carga superficial (m³/m²/d)	Tiempo de retención hidráulica (h)	Velocidad de flujo (cm/s)
Flujo horizontal	15 - 30	2 - 4	< 1
Flujo vertical	20 - 30 (max, 60)	2 - 4	< 1
Manto de Lodos	30 - 120	1,0 - 1,5	2,15 - 5

Tabla 2. Parámetros de diseño para un sedimentador, tomados de la resolución 0330 de 2017.

6.1.1.4 Filtración:

Se divide en filtración lenta y filtración rápida, el primero se recomienda para plantas de caudales pequeños y con un valor de turbidez que no supere las 40 unidades, este utiliza un área mucho mayor, es más económico y no consta de estratificación, por otro lado el filtro rápido

tiene una tasa de filtración de 120 metros/ día, utiliza como medio arena y antracita, tiene una profundidad entre 0.6 m y 0.75 m.

Su funcionamiento se da por medio de un lecho poroso que tiene como objeto retener las partículas de turbidez que no pudieron removerse por medio de la sedimentación con coagulantes, este lecho actúa de tres formas, el primero es como soporte de algunos microorganismos, que en adición a algunas sustancias tienen acción de coagulante, este proceso solo se da en filtración lenta.

El segundo es por el fenómeno de adsorción, el cual consiste en que algunos cuerpos sólidos poseen cargas electrostáticas, lo cual hace que las partículas se atraen hacia su superficie, y por último por la retención mecánica, lo que se asemeja a una criba.

6.1.2 Información general del municipio de Anapoima

El Municipio de Anapoima (Cundinamarca) se encuentra ubicado en la Provincia del Tequendama, a 87 km al sur-occidente de Bogotá, posee un clima cálido-seco con una temperatura promedio de 24-28°, se encuentra a una altura de 700 m sobre el nivel del mar. Limita Al norte con el Municipio de La Mesa, al sur con los Municipios de Apulo y Viota, al oriente con el municipio de El Colegio y al occidente con los Municipios de Jerusalén y Quipile. La economía de Anapoima gira en torno del turismo y, en segundo grado, de la producción agropecuaria donde predomina un sistema de explotación tradicional. Los cultivos sobresalientes son mango, naranja, mandarina y limón Tahití.



Ilustración 3. Ubicación del municipio de Anapoima. Tomada de <https://blog.homeaway.com.co/como-llegar-anapoima/>

6.1.3. Vías de comunicación

Las vías de acceso al Municipio de Anapoima desde Bogotá son óptimas, ya que cuenta con un acceso principal, el cual es la ruta del valle de Tequendama (Bogotá - La Mesa - Girardot), además cuenta con una vía alterna que parte desde Soacha - Salto del Tequendama - Mesitas del Colegio -El Triunfo -Anapoima. adicionalmente cuenta con vías que comunican a Anapoima con los Municipios aleñados como Apulo, Tocaima, Viota, El colegio, y Quipile.



Ilustración 4. Ruta del Valle del Tequendama Tomada de

: <http://www.radiosantafe.com/2016/05/28/puente-festivo-de-corpus-christi-19-rutas-seguras-para-viajar-por-el-territorio-colombiano/rutas-3/>

6.1.4. Servicios públicos

6.1.4.1 Servicio de acueducto y alcantarillado

En el municipio de Anapoima, la encargada de estos servicios es la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P., La cual “capta, almacena, trata y realiza el control de calidad, con el fin de conducir, distribuir y comercializar agua potable cumpliendo con lo establecido en las normas descritas en el Decreto 1575 de 2007 y en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social, mediante las cuales fijan los criterios para garantizar que la calidad del agua sea apta para el consumo humano”⁵. Los precios se discretizan por estratos y según si es para uso oficial, comercial o residencial, esto según información suministrada por la empresa.

⁵ . E.S.P., Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. 2015. Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. 23 de Abril de 2015. <http://www.aguasdeltequendama.com/nuestros-servicios/>.

6.1.4.2. Servicio de electricidad

En el municipio de Anapoima cuenta con tres proveedores que realizan la comercialización de energía eléctrica, las cuales son Energía de Cundinamarca S.a. E.s.p, Codensa, americana de Energía Sa Esp. En donde se les recomienda a los ciudadanos para la elección del suministrador realizar una comparación de precios.

6.2. Marco conceptual

6.2.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es un estudio técnico y descriptivo de un terreno, examinando la superficie terrestre en la cual se tienen en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, pero también sus variaciones y alteraciones, se denomina a este acopio de datos o plano que refleja al detalle y sirve como instrumento de planificación para edificaciones y construcciones.

Existen diferentes tipos de levantamiento en un terreno:

Levantamientos topográficos urbanos, catastrales, construcción, hidrográficos y forestales.⁶

6.2.2. Radiación simple

Es el más sencillo de todos los métodos topográficos. Consiste en estacionar un goniómetro en un punto O central a los A1, A2,..., de los que se quieren determinar y después orientar el instrumento para que la lectura acimutal 0° corresponda a la visual dirigida al punto situado más

⁶Instituto geográfico Agustín Codazzi, Sin fecha, ¿En qué consiste un levantamiento topográfico?, <https://www.igac.gov.co/es/contenido/en-que-consiste-un-levantamiento-topografico>

a la derecha, en nuestro caso A1. A continuación determinamos los ángulos horizontales (acimutales) que forman con A1 los radios OA2, OA3... y sus longitudes con lo cual quedaran definidos los puntos por coordenadas polares.

Las longitudes o distancias se miden generalmente mediante el sistema utilizado en la actividad anterior, su mayor ventaja es la rapidez pero está limitado a distancias pequeñas.⁷

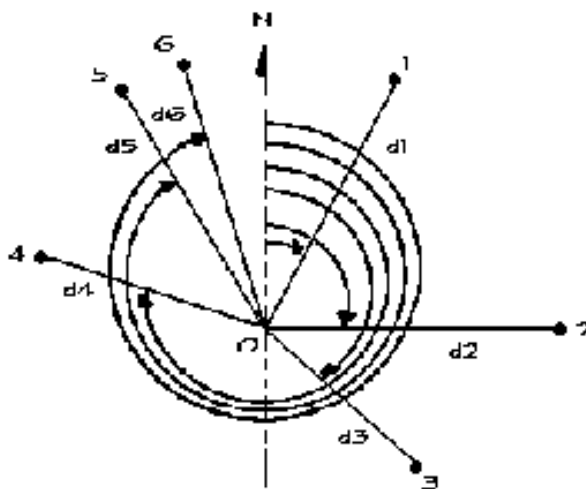


Ilustración 5 Radiación, Tomada de

<http://jrperez.webs.uvigo.es/servicios-topografia-planimetria.htm>

6.3.Marco tecnológico

En el desarrollo del proyecto se usarán herramientas computacionales (software) que facilitarán algunas tareas del proyecto.

⁷Antonio Box Lorenzo, 2004, **Método de Radiación**,
http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_didacticos/trigonometria_topografia/radiacion.htm

- AutoCAD: software utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. En este proyecto se usará con el fin de realizar los planos de la PTAP (www.autodesk.com).
- ArcGis: conjunto de productos informáticos para el tratamiento, edición, y análisis de la información geográfica. (www.esri.com)

7. Metodología

El proceso metodológico que se llevará a cabo será de enfoque práctico, a través de la implementación de estudios de campo y técnicos con el fin de evaluar las condiciones en las cuales se encuentran las estructuras, equipos de la PTAP y la calidad del agua con la que se abastece, con el fin de presentar una solución a los problemas expuestos. Para el desarrollo del proyecto se determinan tres (3) etapas:

1. Diagnóstico:

- Registro fotográfico del estado actual de la PTAP.
- Levantamiento topográfico.
- Planos de la PTAP
- Generar las hojas de vida de los equipos mecánicos.

2. Análisis de datos y propuesta:

- Reconstrucción de memorias de cálculo de las estructuras de la planta
- Estudio de la calidad del agua
- Propuesta para el tratamiento de los lodos que se generan al lavar el filtr

3. Trabajos complementarios:

- Hacer un manual de mantenimiento y uso.

- Propuesta para la elección de un coagulante que tenga mejores resultados que el actual.

8. Diagnóstico

8.1. Estructuras de la Ptap el Río

La PTAP el Río trata un caudal aproximado de 15 L/s, es de tipo convencional, es decir que cada uno de los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración ocurren en estructuras diferentes, el agua cruda que llega a la planta es bombeada desde el punto de captación, el cual se encuentra en el embalse Mesa de Yeguas y luego de realizar el tratamiento, el agua es rebombada hasta el tanque Las Delicias, ubicado en el casco urbano del municipio de Anapoima. Cabe resaltar que, en esta planta, no se le realiza el proceso de aireación.

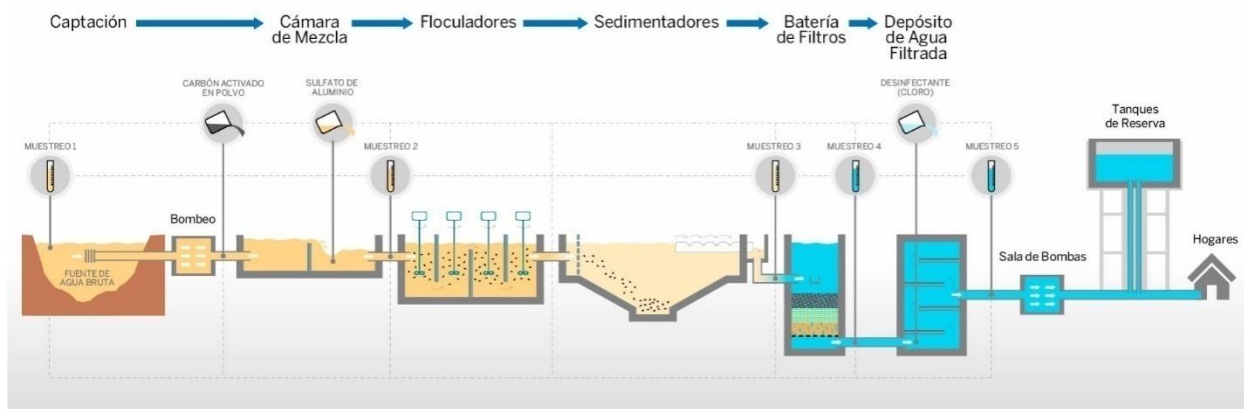


Ilustración 6. Esquema de una planta de tratamiento de agua potable convencional. Tomado de <http://spenagroup.com/tag/planta-de-tratamiento-de-agua/>

8.1.1. Aforo

Una vez el agua cruda llega a la planta, se hace un aforo mediante un medidor Parshall, con el fin de determinar el caudal que tratará la planta. La estructura no se encuentra en buenas condiciones ya que no cumple con el objetivo de generar un resalto hidráulico.



Ilustración 7. Aforador parshall. Fuente: propia

8.1.2. Mezcla rápida

Consiste en la dispersión del coagulante, en este caso se usa sulfato de aluminio tipo A y un polímero, el cual es Hidroxicloruro de Aluminio, que no afecta el PH del agua y ayuda a aclarar el agua teniendo en cuenta la alta turbiedad con la que llega (esto se evidencia en los ensayos de jarras - numeral 9). En esta planta, la mezcla rápida se realiza mediante un mezclador hidráulico, en este caso mediante un resalto que hay entre la salida del aforador Parshall y un canal que conduce el agua al floculador. Mediante visitas técnicas a la planta, se encontró que La adición del Sulfato de Aluminio y el polímero se hacen de una forma empírica o por la experiencia de los

operarios, ya que no se cuenta con un dosificador adecuado para adicionar al agua las cantidades necesarias de coagulante dadas por los ensayos de laboratorio.



Ilustración 8. Dosificación del sulfato de aluminio. Fuente: propia



Ilustración 9. Dosificación del polímero. Fuente: propia

Como se observa en las ilustraciones 8 y 9, la forma en la que se dosifica el sulfato de Aluminio y el polímero no es la adecuada, ya que se puede estar adicionando una cantidad incorrecta de estas sustancias al agua.

8.1.3. Floculación

El floculador de esta planta de tratamiento de agua potable es hidráulico de pantallas de flujo horizontal, que consiste en un tanque de concreto con tabiques dispuestos de tal forma que el agua tenga que hacer un recorrido de ida y vuelta entre los extremos de los tabiques en donde las partículas son arrastradas por el flujo del agua a través del tanque. Los floculadores de este tipo, son usados en plantas pequeñas, a las cuales llegan caudales menores a 50 L/s. Este floculador cuenta con las siguientes dimensiones:

DIMENSIONES	
Largo útil (m)	9,45
Ancho útil (m)	3,62
Profundidad flujo (m)	0,6
Borde Libre (m)	0,1
Profundidad total (m)	0,7
Número de cámaras	2
Ancho cámaras (m)	1,81
Ancho canales (espaciamiento) (m)	0,15
Espesor tabiques (m)	0,06
Ancho real canales (m)	0,09
Numero tabiques/ cámara	36
Distancia del muro tabiques	0,18
Número total tabiques	72
Longitud de tabiques (m)	1,44
Altura de tabiques (m)	0,7

Tabla 3. Características del floculador hidráulico.

Además, según la información suministrada por la empresa, el tiempo de retención es de 22 minutos, tiempo que cumple con el parámetro establecido en la resolución 0330 del 2017



Ilustración 10. Floculador hidráulico de pantallas de flujo horizontal. Fuente: propia

8.1.4. Sedimentación

Se realiza mediante un sedimentador de flujo horizontal, como se muestra en la ilustración 6 y cuenta con las características que se muestran en la tabla 4, suministrada por la empresa regional aguas del Tequendama S.A. E.S.P.



Ilustración 11. Sedimentador. Fuente: propia

Dimensiones	
Largo unidad (m)	8
Ancho unidad (m)	3,95
Profundidad (m)	3,83
Número de unidades	1
Anchi total (m)	3,95

Tabla 4. Dimensiones del sedimentador.

8.1.5. Filtración

El filtro usado en la PTAP El Río, es rápido ya que la mayor parte de las partículas que se encuentran en el agua son de tipo coloidal, dicho filtro se encuentra compuesto por antracita, arena fina y grava.



Ilustración 12. Filtro. Fuente: propia



Ilustración 13. Composición del filtro. Fuente propia

8.2. Levantamiento topográfico

Se realizó una visita técnica, con el fin de realizar un levantamiento topográfico para la elaboración de los planos de la planta y así obtener las dimensiones de las estructuras de esta y así posteriormente realizar la reconstrucción de la memoria de cálculo. Dicho levantamiento se realizó, por el método de radicación desde un solo punto, denominado GPS 1, desde el cual se podían visualizar todos los puntos que se consideraban importantes para una correcta elaboración del plano. Para esto se usó una estación total GTS-252. Las coordenadas del punto GPS 1, fueron suministradas por la empresa regional aguas del Tequendama S.A. E.S.P., las cuales se muestran en la tabla 5.

NORTE	ESTE	COTA ORTOMETRICA	PUNTO
995185,118	951001	546,463	GPS 01
995151,301	950976,791	546,692	GPS 02

Tabla 5. Dimensiones del sedimentador.

Para este levantamiento, se tomó el GPS 02 como el norte, obteniendo los datos que se muestran en la tabla 5, y posteriormente se realizó la respectiva corrección para tener las coordenadas reales de los puntos tomados, los cuales se muestran en la tabla 6.

#	Point From	Point To	Reflector Height (m)	Horizontal Circle	SlopeDistance (m)	Zenith Angle	Code
1	10001	10002	1,9	0°01'48,0000"	41,695	90°31'52,0000"	GPS2
2	10001	1	1,9	39°55'57,0000"	12,123	89°06'25,0000"	ESQUINAS
3	10001	2	1,9	35°16'07,0000"	11,908	88°53'05,0000"	ESQUINAS
4	10001	3	1,9	32°11'44,0000"	17,533	89°09'51,0000"	ESQUINAS
5	10001	4	1,9	36°47'29,0000"	17,745	89°15'41,0000"	ESQUINAS
6	10001	5	1,9	35°31'12,0000"	16,644	89°20'52,0000"	ESQUINAS
7	10001	6	1,9	40°16'13,0000"	16,957	89°20'52,0000"	ESQUINAS
8	10001	7	1,9	35°18'29,0000"	23,691	89°42'55,0000"	ESQUINAS
9	10001	8	1,9	33°40'14,0000"	20,314	89°26'24,0000"	ESQUINAS

#	Point From	Point To	Reflector Height (m)	Horizontal Circle	Slope Distance (m)	Zenith Angle	Code
10	10001	9	1,9	33°03'00,0000"	22,191	89°26'35,0000"	ESQUINAS
11	10001	10	1,9	23°38'24,0000"	22,042	89°28'24,0000"	ESQUINAS
12	10001	11	1,9	23°23'57,0000"	21,28	89°34'47,0000"	ESQUINAS
13	10001	12	1,9	20°06'35,0000"	21,312	89°31'01,0000"	ESQUINAS
14	10001	13	1,9	24°58'18,0000"	21,4	89°30'46,0000"	ESQUINAS
15	10001	14	1,9	25°39'35,0000"	21,612	89°31'02,0000"	ESQUINAS
16	10001	15	1,9	16°52'14,0000"	13,62	89°14'09,0000"	ESQUINAS
17	10001	16	1,9	16°48'52,0000"	13,38	89°13'32,0000"	ESQUINAS
18	10001	17	1,9	16°17'54,0000"	12,769	89°08'39,0000"	ESQUINAS
19	10001	18	1,9	25°06'08,0000"	13,084	89°15'40,0000"	ESQUINAS
20	10001	19	1,9	26°15'46,0000"	13,082	89°15'31,0000"	ESQUINAS
21	10001	20	1,9	34°02'18,0000"	13,696	89°00'16,0000"	ESQUINAS
22	10001	21	1,9	34°26'47,0000"	13,455	88°55'04,0000"	ESQUINAS
23	10001	22	1,9	31°23'24,0000"	21,682	89°33'53,0000"	ESQUINAS
24	10001	23	1,9	30°46'49,0000"	21,541	89°33'56,0000"	ESQUINAS
25	10001	24	1,9	27°13'35,0000"	21,586	89°31'56,0000"	ESQUINAS
26	10001	25	1,9	27°12'37,0000"	21,429	89°31'46,0000"	ESQUINAS
27	10001	26	1,9	14°40'49,0000"	11,903	89°13'40,0000"	ESQUINAS

#	Point From	Point To	Reflector Height (m)	Horizontal Circle	SlopeDistance (m)	Zenith Angle	Code
28	10001	27	1,9	15°13'31,0000"	12,415	89°08'38,0000"	#
29	10001	28	1,9	356°48'40,0000"	14,053	89°17'42,0000"	ESQUINAS
30	10001	29	1,9	358°44'08,0000"	14,321	89°12'30,0000"	ESQUINAS
31	10001	30	1,9	1°39'02,0000"	14,56	89°16'27,0000"	ESQUINAS
32	10001	31	1,9	5°14'53,0000"	14,143	89°16'27,0000"	ESQUINAS
33	10001	32	1,9	3°21'15,0000"	13,751	89°08'14,0000"	ESQUINAS
34	10001	33	1,9	359°46'20,0000"	15,023	89°14'51,0000"	ESQUINAS
35	10001	34	1,9	5°32'55,0000"	19,105	89°23'28,0000"	ESQUINAS
36	10001	35	1,9	10°10'02,0000"	18,64	89°22'01,0000"	ESQUINAS
37	10001	36	1,9	10°46'25,0000"	18,321	89°21'56,0000"	ESQUINAS
38	10001	37	1,9	11°51'23,0000"	18,28	89°29'26,0000"	ESQUINAS
39	10001	38	1,9	13°02'01,0000"	18,381	89°24'03,0000"	ESQUINAS
40	10001	39	1,9	17°13'16,0000"	18,202	89°28'35,0000"	ESQUINAS
41	10001	40	1,9	16°29'24,0000"	18,207	89°22'52,0000"	ESQUINAS
42	10001	41	1,9	6°24'12,0000"	19,944	89°22'13,0000"	ESQUINAS
43	10001	42	1,9	8°37'11,0000"	22,538	89°34'53,0000"	ESQUINAS
44	10001	43	1,9	8°45'41,0000"	22,721	89°34'41,0000"	ESQUINAS
45	10001	44	1,9	8°55'53,0000"	23,161	89°32'40,0000"	ESQUINAS

#	Point From	Point To	Reflector Height (m)	Horizontal Circle	Slope Distance (m)	Zenith Angle	Code
46	10001	45	1,9	9°37'04,0000"	23,73	89°35'05,0000"	ESQUINAS
47	10001	46	1,9	9°48'21,0000"	24,157	89°35'04,0000"	ESQUINAS
48	10001	47	1,9	9°21'03,0000"	24,567	89°35'48,0000"	ESQUINAS
49	10001	48	1,9	16°56'58,0000"	18,969	89°26'11,0000"	ESQUINAS
50	10001	49	1,9	17°58'14,0000"	21,586	89°29'29,0000"	ESQUINAS
51	10001	50	1,9	17°58'46,0000"	21,822	89°33'17,0000"	ESQUINAS
52	10001	51	1,9	18°18'29,0000"	22,39	89°30'39,0000"	ESQUINAS
53	10001	52	1,9	19°08'49,0000"	22,885	89°27'21,0000"	ESQUINAS
54	10001	53	1,9	18°02'09,0000"	23,429	89°32'19,0000"	ESQUINAS
55	10001	54	1,9	16°09'46,0000"	23,607	89°31'12,0000"	ESQUINAS
56	10001	55	1,9	15°02'54,0000"	24,043	89°35'00,0000"	ESQUINAS
57	10001	56	1,9	30°42'04,0000"	23,318	89°25'01,0000"	CASA....
58	10001	57	1,9	23°52'05,0000"	23,21	89°28'33,0000"	CASA....
59	10001	58	1,9	21°24'42,0000"	23,265	89°28'29,0000"	CASA....
60	10001	59	1,9	19°15'06,0000"	23,343	89°31'19,0000"	CASA....
61	10001	60	1,9	15°42'00,0000"	26,344	89°28'15,0000"	CASA....
62	10001	61	1,9	14°03'32,0000"	26,474	89°28'25,0000"	CASA....
63	10001	62	1,9	12°42'05,0000"	26,553	89°34'21,0000"	CASA....
64	10001	63	1,9	6°51'43,0000"	28,003	91°37'29,0000"	CASA....

puntos	Y	X	z	descripción
10001	995185118	951001000	546463	GPS1
10002	995151216	950976730	545826508	GPS2
1	995182089	950989263	546401951	ESQUINAS
2	995181216	950989752	546444778	ESQUINAS
3	995178492	950984769	546468763	ESQUINAS
4	995179750	950984088	546441748	ESQUINAS
5	995179732	950985253	546402462	ESQUINAS
6	995180978	950984557	546406025	ESQUINAS
7	995177368	950978613	546330728	ESQUINAS
8	995177927	950982002	546411543	ESQUINAS
9	995177039	950980333	546428705	ESQUINAS
10	995173845	950982060	546415609	ESQUINAS
11	995174157	950982760	546369092	ESQUINAS
12	995173111	950983393	546392677	ESQUINAS
13	995174603	950982362	546394976	ESQUINAS
14	995174726	950982051	546395102	ESQUINAS
15	995176822	950990200	546394648	ESQUINAS

puntos	Y	X	z	descripción
16	995176957	950990398	546393847	ESQUINAS
17	995177239	950990953	546403725	ESQUINAS
18	995178716	950989591	546381727	ESQUINAS
19	995178949	950989465	546382272	ESQUINAS
20	995180353	950988162	546450966	ESQUINAS
21	995180527	950988355	546467128	ESQUINAS
22	995176642	950981044	546377717	ESQUINAS
23	995176487	950981264	546376333	ESQUINAS
24	995175260	950981797	546389232	ESQUINAS
25	995175326	950981940	546388989	ESQUINAS
26	995177512	950991846	546373422	ESQUINAS
27	995177276	950991377	546398498	ESQUINAS
28	995173255	950993469	546385912	ESQUINAS
29	995173293	950992924	54641087	ESQUINAS
30	995173529	950992188	546397444	ESQUINAS
31	995174420	950991751	546392161	ESQUINAS
32	995174425	950992356	546420059	ESQUINAS
33	995172869	950992305	5464103	ESQUINAS
34	995170732	950988430	546416027	ESQUINAS

puntos	Y	X	z	descripción
35	995172116	950987645	546418947	ESQUINAS
36	995172478	950987739	546415867	ESQUINAS
37	995172758	950987533	546375534	ESQUINAS
38	995172971	950987206	546405215	ESQUINAS
39	995174118	950986498	546379341	ESQUINAS
40	995173931	950986636	546409662	ESQUINAS
41	995170298	950987655	546432195	ESQUINAS
42	995168966	950985283	546377664	ESQUINAS
43	995168874	950985115	546380323	ESQUINAS
44	995168607	950984758	54639715	ESQUINAS
45	995168402	950984158	546384993	ESQUINAS
46	995168158	950983799	546388205	ESQUINAS
47	995167731	950983644	546385938	ESQUINAS
48	995173583	950985942	546399593	ESQUINAS
49	995172299	950983633	546404615	ESQUINAS
50	995172162	950983441	546382589	ESQUINAS
51	995171928	950982908	546404154	ESQUINAS
52	995171909	950982313	546430347	ESQUINAS
53	995171226	950982134	546401666	ESQUINAS

puntos	Y	X	z	descripción
54	995170507	950982459	546410767	ESQUINAS
55	995169873	950982409	546387844	ESQUINAS
56	995175746	950979650	546450285	CASA....
57	995173327	950981009	546425332	CASA....
58	995172451	950981487	546426287	CASA....
59	995171679	950981914	546407763	CASA....
60	995168647	950980442	546456302	CASA....
61	995167980	950980823	546456219	CASA....
62	995167454	950981175	546411118	CASA....
63	995164467	950982103	545419032	CASA....
64	995161869	950983540	545469264	CASA....


Tabla 8. Coordenadas Finales

El levantamiento de la estructura donde se encuentra la oficina, el laboratorio y el tanque al que llega el agua después de pasar por el filtro, se realizó mediante cinta métrica, Así como las profundidades que componen la planta, con el fin de realizar los cortes y presentar unos planos más detallados. Las medidas mostradas en los planos pueden presentar variaciones debido a los equipos utilizados.



Se presentan 3 planos, según los datos obtenidos mediante la estación total y la cinta métrica, los cuales contienen la vista en planta con sus respectivos cortes, de cada una de las estructuras (canaleta parshall, floculador, sedimentador, filtro y conformación general de la planta).

8.3.Hoja de vida de los equipos

En la planta de tratamiento de agua potable, se encuentra un laboratorio que cuenta con equipos destinados a realizar ensayos de laboratorio para determinar las características con las que llega el agua, para así dar un correcto tratamiento y hacer la dosificación adecuada de las sustancias a usar como el sulfato de aluminio. Los equipos que podemos encontrar en la planta son los siguientes:

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	ESTADO
<p style="text-align: center;">Medidor de PH</p> 	<p>Usado para la medición del pH, el total de solidos disuelto en él agua y la temperatura.</p> <p>Marca: Hanna.</p> <p>Referencia: hi98130.</p> <p>Precisión:</p> <p style="padding-left: 40px;">Temperatura: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ o $\pm 1^{\circ}\text{F}$</p> <p style="padding-left: 40px;">TDS: $\pm 2\%$ pH: $\pm 0,01$</p>	<p>El equipo se encuentra en buenas condiciones.</p>

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	ESTADO
<p data-bbox="305 296 488 323">Turbidímetro</p> 	<p data-bbox="634 296 1029 394">Este equipo es usado con el fin medir la turbidez del agua.</p> <p data-bbox="634 457 818 485">Marca: Hach.</p> <p data-bbox="634 548 894 575">Referencia: 2100Q.</p> <p data-bbox="634 638 1029 665">Rango de medición: 0 – 1000.</p> <p data-bbox="634 728 1029 756">Requisitos de muestra: 15 mL.</p> <p data-bbox="634 819 980 938">Rango de temperatura de operación: 0-50 °C.</p>	<p data-bbox="1110 667 1403 766">El equipo se encuentra en buenas condiciones.</p>
<p data-bbox="282 1010 513 1037">Prueba de jarras</p> 	<p data-bbox="634 1094 1062 1499">Se usa con el fin de Determinar el floculante y así lograr una óptima sedimentación, para estimar la dosis y concentración óptima del coagulante requerida para el correcto tratamiento del agua.</p> <p data-bbox="634 1562 867 1589">Marca: Fadipartes</p>	

<p style="text-align: center;">Balanza</p> 	<p>Se usa para pesar las diferentes sustancias o materiales empleados para la potabilización del agua.</p>	<p>El equipo se encuentra en buenas condiciones, sin embargo, es recomendable usar una balanza digital, con el fin de obtener resultados más precisos</p>
<p style="text-align: center;">Bombaa</p> 	<p style="text-align: center;">Actualmente no se encuentra en funcionamiento</p>	
<p style="text-align: center;">Bombas sumergibles</p>	<p>Están dos bombas sumergibles sin referencia con mantenimiento cada que el equipo lo solicita.</p>	<p>Siempre se mantienen en buen estado.</p>

9. DETERMINACIÓN DEL COAGULANTE Y DOSIS ÓPTIMA

Con el fin de determinar las características con las que llega al agua cruda a la planta, y así determinar si los procesos que se están llevando a cabo para su potabilización son los adecuados, se tomaron muestras para analizarlas tanto en el laboratorio de la Universidad Santo Tomas como en el que se encuentra en las instalaciones de la PTAP y así tener dos resultados para comparar, además se obtiene la caracterización del agua para suministro otorgada por parte de la empresa, en el cual se puede observar que la turbiedad se lleva a un valor aceptable, teniendo en cuenta su variabilidad.

Para las muestras recolectadas y analizadas en el laboratorio de la Universidad, se tuvieron en cuenta los parámetros establecidos en la NTC-ISO-5667, ya que se pueden presentar cambios físicos, químicos o biológicos en el tiempo que transcurre entre el muestreo y la realización de los ensayos de laboratorio, como cambio en el contenido de oxígeno disuelto, dióxido de carbono disuelto, fósforo, compuestos como el hierro o los sulfuros que pueden oxidar, algunas sustancias se pueden precipitar etc. Por lo que se tuvieron precauciones durante su transporte como evitar la agitación o la exposición a la luz, además de dejar transcurrir tanto tiempo entre la toma de las muestras y los ensayos, sin embargo, como lo indica la norma, “a pesar de las numerosas investigaciones que se han efectuado para recomendar métodos que permitan almacenar muestras de agua sin que su composición se modifique, es imposible dar reglas absolutas que cubran todos los casos y situaciones”

Para la recolección, se usaron botellones de plástico cuales fueron lavados junto con sus respectivas tapas dos veces, estos se llenaron completamente para que los recipientes quedaran sin burbujas de aire, ayudando también a disminuir la agitación durante el transporte.

Algunos parámetros, se midieron in situ, como lo son el PH, color, cloro residual y turbidez obteniendo los siguientes resultados:

PARAMETRO	RESULTADO
PH	7.5
Color	sin
Cloro residual	1,8
turbidez	18,35 UNT

Tabla 9. Parámetros medidos in situ.

Una vez las muestras se encontraban en el laboratorio de tratamiento de aguas de la Universidad Santo Tomás, se realizaron ensayos de jarras para determinar si el coagulante usado en la PTAP El Río, el cual es sulfato de aluminio tipo A (Alumbre) funcionaba de forma correcta o si se podía seleccionar otro que tuviera un mejor funcionamiento y así optimizar costos o mejorar la calidad del agua que consumen los usuarios. Los coagulantes usados en los ensayos fueron:

Sulfato de aluminio tipo B} (Alumbre):

Este tipo de coagulante es usado principalmente para remover agentes contaminantes al agua para consumo humano como lo son la turbidez y el color.

Para el ensayo de jarras se usó una solución de sulfato de aluminio al 1.0% de concentración.

Cloruro Férrico

Este coagulante, presenta una gran efectividad para la generación de flocs en fuentes de agua con bajo material particulado. Por lo que ha sido considerado para la optimización del proceso de coagulación de la planta.

Para el ensayo de jarras se usó una solución de cloruro férrico al 1.0% de concentración

Policloruro de aluminio

Según Garcés Paz, el policloruro de Aluminio es un coagulante inorgánico líquido base policloruro de aluminio, indicado principalmente para remover materia coloreada y coloidal en suspensión en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua, afluentes y plantas de tratamiento de efluentes líquidos industriales, como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas.

9.1.RESULTADOS PRUEBAS DE JARRAS

Los ensayos se realizaron conforme a los parámetros definidos en la NTC-3909 “Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras”.

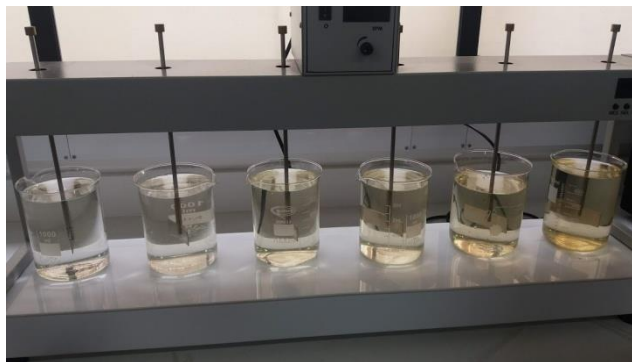


Ilustración 14. Ensayo de jarras, universidad Santo Tomas.

Los datos obtenidos en el laboratorio de la Universidad Santo Tomas, fueron los siguientes:

Cloruro férrico		
Parámetro	Valor	Unidades
PH	6.97	
Turbidez	14,1	NTU
temperatura	17	°C

Tabla 10. Parámetros iniciales del cloruro férrico en el laboratorio de la universidad Santo Tomás.

CLORURO FERRICO				
Muestra	Dosis (ml)	Turbiedad (NTU)	pH	Eficiencia
1	0,5	4,66	7,31	67%
2	1	5,38	7,21	62%
3	1,5	6,79	7,02	52%
4	2	6,3	7,01	55%
5	2,5	4,74	6,96	66%
6	3	3,86	6,88	73%
7	3,5	2,86	6,67	80%
8	4	3,11	6,52	78%
9	4,5	3,09	6,5	78%
10	5	2,62	6,46	81%

Tabla 11. Resultados obtenidos en el ensayo de jarras para el cloruro férrico en el laboratorio de la universidad Santo Tomás.

Sulfato de Aluminio		
Datos iniciales	Valor	Unidades
PH	6,97	
Turbidez	13,4	NTU
temperatura	18,5	°C

Tabla 12. Parámetros iniciales del sulfato de aluminio en el laboratorio de la universidad Santo Tomás.

SULFATO DE ALUMINIO				
Muestra	Dosis (mL)	Turbiedad (NTU)	pH	Eficiencia
1	1	4,11	7,4	69%
2	2	5,11	7,33	62%
3	3	2,86	7,22	79%
4	4	1,91	7,12	86%
5	5	1,51	7,02	89%
6	6	1,43	6,96	89%
7	7	1,35	6,7	90%
8	8	1,21	6,68	91%

Tabla 13. Resultados obtenidos en el ensayo de jarras para el sulfato de aluminio en el laboratorio de la universidad Santo Tomás.

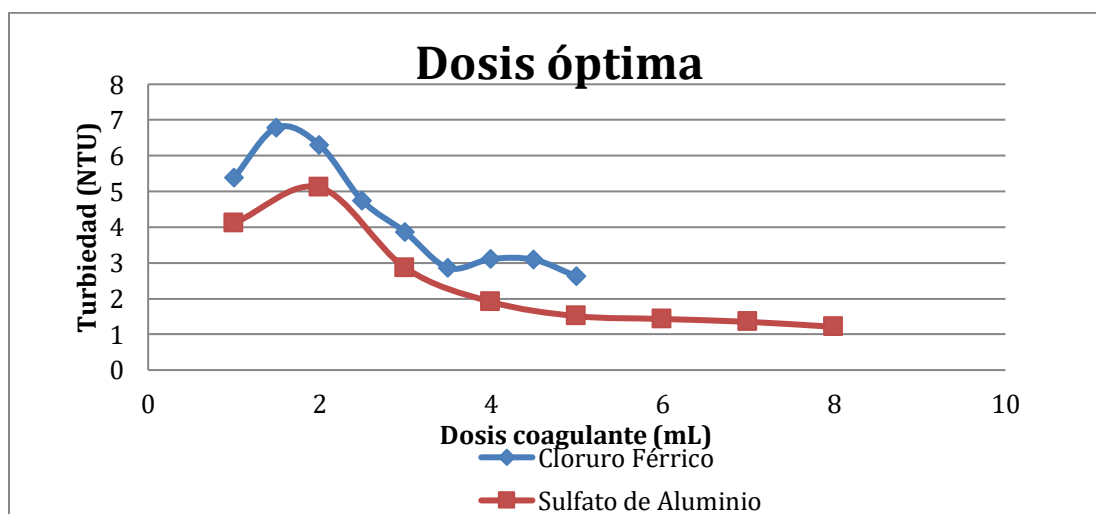


Gráfico 1. Dosis de coagulante vs turbiedad, obtenido en el laboratorio de la universidad Santo Tomás.

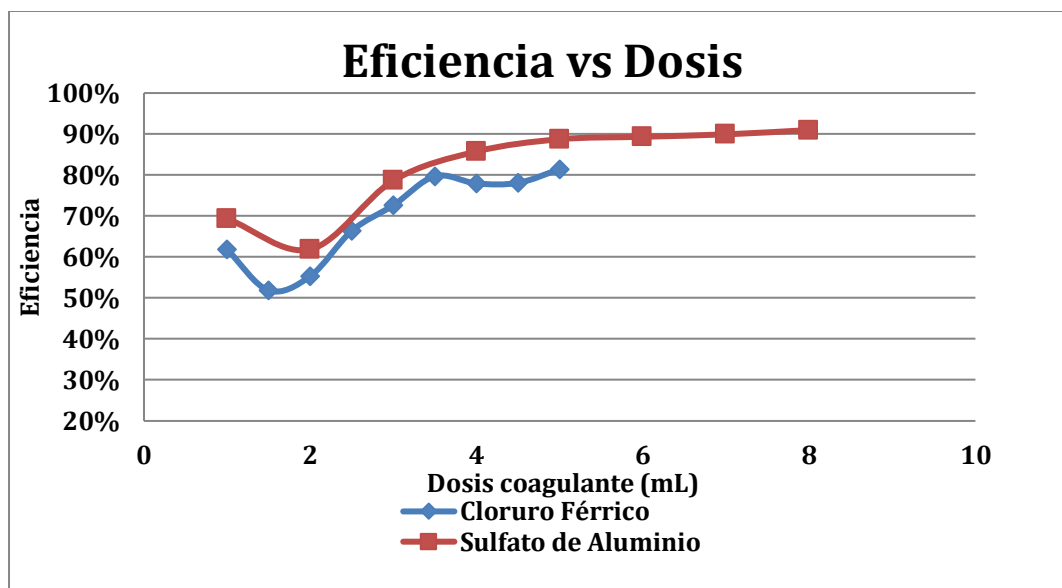


Grafico 2. Dosis de coagulante vs eficiencia obtenido en el laboratorio de la universidad Santo Tomas.

Según los resultados obtenidos en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás, los dos coagulantes presentan una eficiencia muy similar, siendo 6 ml/litro la dosis optima.

En cuanto al ensayo de jarras realizado en la PTAP, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Cloruro férrico		
Datos iniciales	Valor	Unidades
PH	7,62	
Turbidez	30,3	NTU
temperatura	20	°C

Tabla 14. Parámetros iniciales del cloruro férrico en el laboratorio de la PTAP-

COLORURO FERRICO				
Muestra	Dosis (mL)	Turbiedad (NTU)	pH	Eficiencia
1	2	20,3	7,62	33%
2	4	14	7,57	54%
3	6	3,4	7,43	89%
4	8	1,8	7,38	94%
5	10	1,7	7,17	94%
6	12	1,62	7,11	95%

Tabla 15. Resultados obtenidos en el ensayo de jarras para el cloruro férrico en el laboratorio de la PTAP.

Sulfato de Aluminio		
Datos iniciales	Valor	Unidades
PH	7,68	
Turbidez	23,4	NTU
temperatura	20	°C

Tabla 16. Parámetros iniciales del Sulfato de Aluminio en el laboratorio de la PTAP.

SULFATO DE ALUMINIO				
Muestra	Dosis (mL)	Turbiedad (NTU)	pH	Eficiencia
1	4	6,94	7,6	70%
2	6	3,76	7,51	84%
3	8	2,96	7,37	87%
4	10	2,76	7,19	88%
5	12	2,47	7,1	89%
6	14	2,38	7,04	90%

Tabla 17. Resultados obtenidos en el ensayo de jarras para el cloruro sulfato de aluminio en el laboratorio de la PTAP.

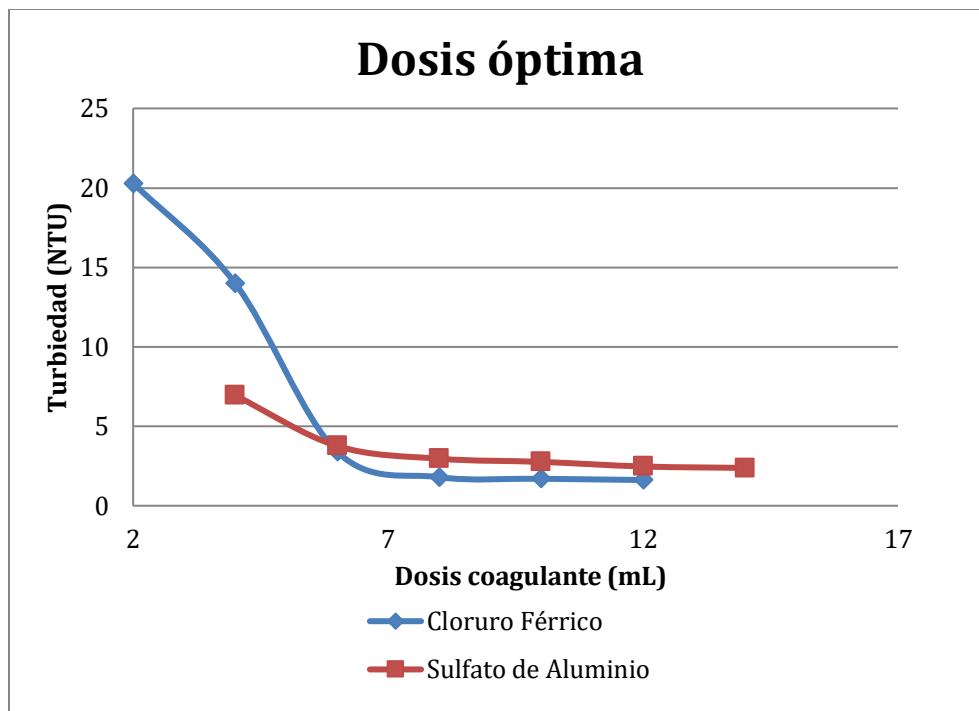


Grafico 3. Dosis de coagulante vs turbiedad obtenido en el laboratorio de la PTAP.

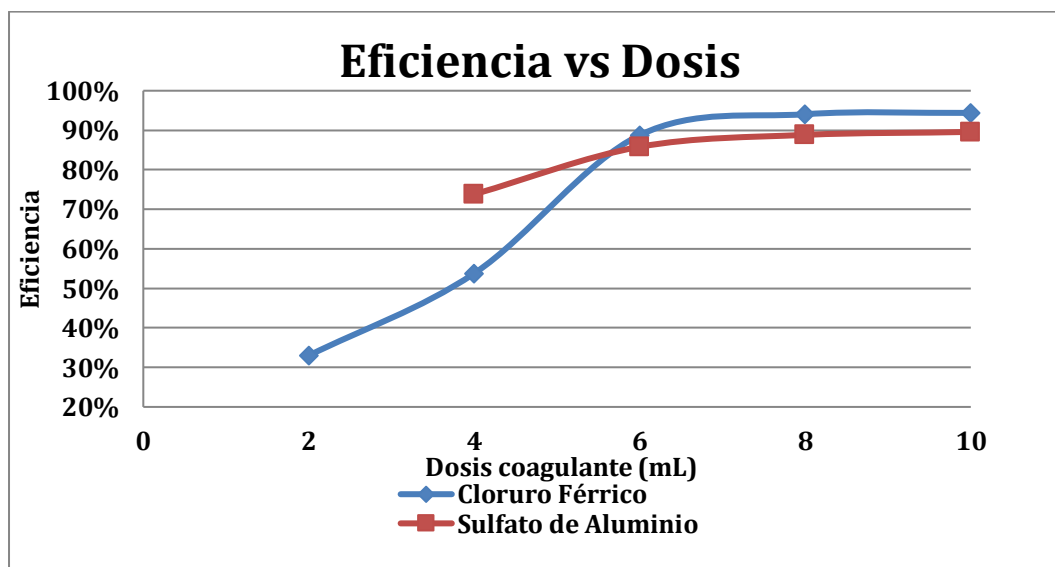


Grafico 4. Dosis de coagulante vs eficiencia obtenido en el laboratorio de la universidad Santo Tomas.

Los datos de turbidez iniciales presentados tanto en el laboratorio de la universidad, como en la planta, tienen una gran variación, debido a que cuando se tomaron las muestras para hacer el ensayo de jarras en la universidad, llevaba varios días sin llover en el municipio de Anapoima, por lo que la turbidez no era tan alta, mientras que la semana en la que los ensayos se realizaron en la planta, llovió bastante durante esos días, razón por la cual se presenta mayor nivel de turbiedad en el agua que llega a la planta. Otro factor que se debe tener en cuenta, es que como el agua siempre presenta una turbidez alta, en el trayecto desde la planta hasta Bogotá, y debido al movimiento al que estaban expuestos los botellones, antes de realizar las pruebas de jarras, ya se observaba la formación de flocs y sedimentos en el fondo, por esta razón se le da una mayor relevancia a las pruebas realizadas en la PTAP.

Teniendo en cuenta esto, según los resultados obtenidos y aunque no hay gran diferencia, el cloruro férrico con una dosis de 8ml por cada litro de agua, puede ser una buena alternativa para remplazar el sulfato de aluminio que actualmente se usa en la planta, sin embargo para tomar la decisión de hacer este cambio es recomendable hacer más pruebas de laboratorio, para determinar si al final del proceso, el contenido de hierro es alto, o si este coagulante puede generar algún tipo de desgaste en las unidades de la planta.



Ilustración 15. Ensayo de jarras en el laboratorio de la PTAP con cloruro férrico como coagulante

El sulfato ferroso se usó tanto en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás, como en el de la PTAP, sin embargo no se tuvo en cuenta debido a que en los dos casos la turbidez del agua aumentó y el agua se tornó de un color amarillo como lo muestra la ilustración 15, por lo que este coagulante se descartó.

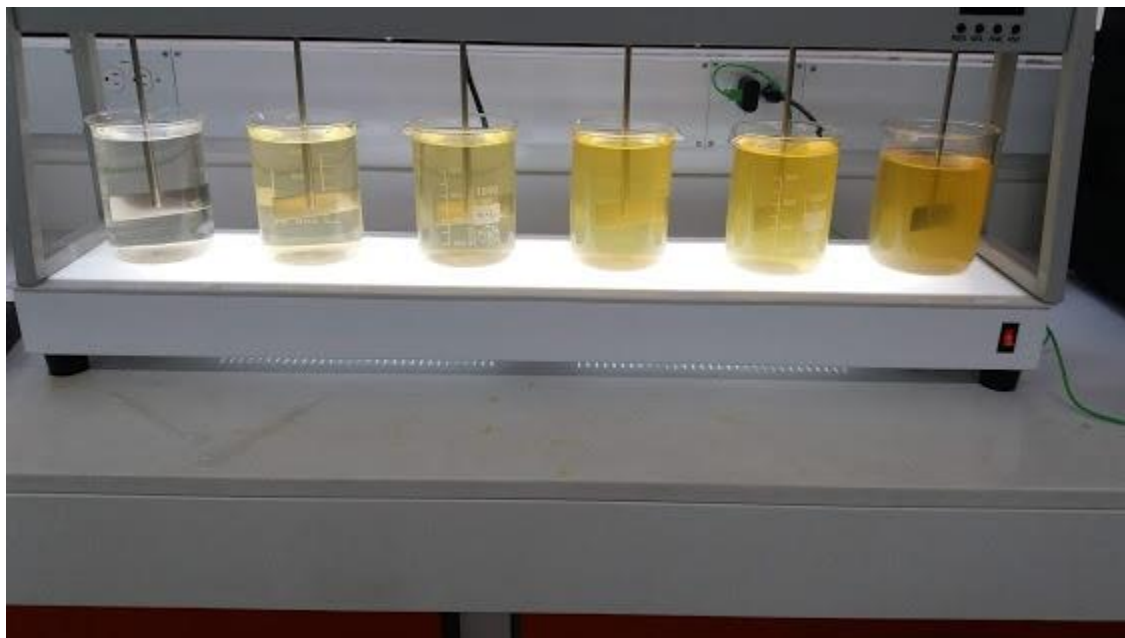


Ilustración 16. Ensayo de jarras usando sulfato ferroso como coagulante.

9.2. Alcalinidad

La alcalinidad del agua puede definirse como la capacidad para neutralizar ácidos.

CLORURO FÉRRICO	
CANTIDAD DE MUESTRA (ml)	DOSIS DE ACIDO (ml)
50	1.5

Tabla 18. Dosis de ácido aplicado a la muestra de agua que contiene la dosis óptima de cloruro férrico como coagulante.

SULFATO DE ALUMINIO	
CANTIDAD DE MUESTRA (ml)	DOSIS DE ACIDO (ml)
50	1.4

Tabla 19. Dosis de acido aplicado a la muestra de agua que contiene la dosis optima de sulfato de aluminio como coagulante.

La alcalinidad se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Alcalinidad} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 = \frac{V_a \times N \times 50000}{V_m} \quad (1)$$

Donde:

V_a = Volumen del acido gastado en ml

N =Normalidad del acido sulfúrico en eq /L

V_m =Volumen de la muestra

50000=factor de conversión cuya unidad es mg CaCO_3/eq

COAGULANTE	ALCALINIDAD (mg/L)
Cloruro férrico	18
Sulfato de aluminio	22

Tabla 20. Alcalinidad obtenida para cada tipo de coagulante

10. RECONSTRUCCIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO

Para la reconstrucción de la memoria de cálculo se tendrá como base la resolución 0330 de 2017, por lo que se harán los cálculos para un periodo de diseño de 25 años, es decir hasta el año 2043, para el diseño se realizó un aforo el cual consistió en determinar el tiempo en que se llenó la cámara de entrada, la cual tenía un volumen conocido, al final se determina un caudal de llegada aproximadamente 15 litros por segundo.

10.1. DOTACIÓN NETA MÁXIMA

La dotación neta máxima, hace referencia a la cantidad mínima de agua que necesaria para satisfacer las necesidades básicas de un habitante por cada día, esto sin tener en cuentas las pérdidas que puedan ocurrir en el sistema de acueducto, debido a que la empresa prestadora del servicio no cuenta con datos históricos de los consumos de agua potable de los suscriptores, se adopta los valores encontrados en la tabla 18.

Altura promedio sobre el nivel del mar en la zona atendida	Dotación neta máxima (L/Hab/Día)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Tabla 21. Dotación neta máxima. Fuente: resolución 0330 de 2017.

Debido a que la altura del casco urbano del municipio de Anapoima sobre el nivel del mar es de 710m se adopta una dotación neta máxima de 140 (L/Hab/día).

10.2. DOTACIÓN BRUTA

Corresponde a la dotación neta máxima teniendo en cuenta las pérdidas generadas en el sistema de acueducto y en la planta de tratamiento de agua potable. Dichas pérdidas no deben superar el 25 %, según la resolución 0330 de 2017

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P} \quad (2)$$

Donde:

d neta= dotación neta

d bruta = dotación bruta

p= perdidas

Reemplazando el valor de la dotación neta máxima requerida para el municipio, se obtiene la siguiente dotación bruta

$$d_{bruta} = \frac{140L/hab / dia}{1 - 0.25} \quad (3)$$

$$= 186.66 L/hab /día = 17.36m^3/suscriptor /mes$$

Para hacer la anterior conversión, se tuvo en cuenta el promedio de personas por cada casa en el municipio de Anapoima, según el DANE, el cual es de 3.1 personas

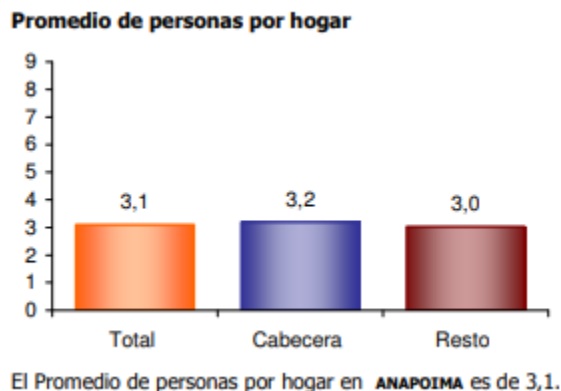


Ilustración 17. Grafico del promedio de personas por hogar según censo del DANE de 2005.

Tomado

de: https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/25035T7T000.PDF

10.3. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN

La proyección de la población de un territorio, es un instrumento que permite plantear diferentes estrategias para satisfacer necesidades básicas como lo son la educación, saneamiento, vivienda, para saber cómo se comporta en los siguientes años la demanda de transporte, alimentación etc.

Debido a que el periodo de diseño es de 25 años, se proyectara la población al año 2043. El número de habitantes total que tiene actualmente (2018) el municipio de Anapoima, es de 13928. (Proyección general realizada en 2005 por el DANE). Los métodos que se usarán para la proyección de la población serán el lineal y geométrico, además de la proyección del DANE.

10.3.1. MÉTODO GEOMÉTRICO

Este método es usado en poblaciones que cuentan con una actividad económica importante. Un crecimiento poblacional es geométrico si el aumento de la población es proporcional al tamaño de la misma.

$$pf = pi * (1 - r)^{Tf-Ti} \quad (4)$$

Pf = Población en el tiempo de diseño

Pi = Población inicial

r = Rata de crecimiento

Tf = Periodo de diseño

Ti = Periodo inicial

Y la rata se puede calcular de la siguiente forma:

$$r = \left(\frac{pf}{pi}\right)^{(1/(Tf-Ti))} - 1 \quad (5)$$

Al reemplazar en la ecuación obtenemos el siguiente resultado:

$$r = \left(\frac{11503}{9660}\right)^{\frac{1}{2005-1995}} - 1$$

$$r = 0.0176$$

Se optó por utilizar los valores reales de los censos realizados por el DANE en los años 1995 (9660 habitantes) y 2005 (11503 habitantes), con el fin de obtener una tasa de crecimiento con una pendiente real y del mismo modo tener unos resultados mejores y próximos a la realidad. Cabe resaltar que la proyección de la población mostrada en la tabla 19, no tiene en cuenta la

población flotante, que según el Consejo Municipal de Anapoima, para el 2012 fue del 69.3%, además el número de habitantes mostrados en la tabla 19 y 20 corresponden al 40% de la población total.

POBLACIÓN		
Año	Geométrico	DANE
2006	4615	4666
2007	4696	4730
2008	4779	4800
2009	4863	4870
2010	4949	4942
2011	5036	5016
2012	5124	4948
2013	5215	5163
2014	5307	5242
2015	5400	5325
2016	5495	5406
2017	5592	5485
2018	5690	5571
2019	5791	5650
2020	5893	5732
2021	5996	
2022	6102	
2023	6210	
2024	6319	
2025	6430	
2026	6543	
2027	6659	
2028	6776	
2029	6895	
2030	7017	
2031	7140	
2032	7266	
2033	7394	
2034	7524	
2035	7657	
2036	7792	
2037	7929	
2038	8069	

POBLACIÓN		
Año	Geométrico	DANE
2039	8211	
2040	8356	
2041	8503	
2042	8653	
2043	8805	

Tabla 22. Proyección de la población que deberá abastecer la PTAP El Río (sin tener en cuenta la población flotante).

Para la proyección de la población en el municipio de Anapoima se tomó en cuenta el alcance de operatividad de la planta, el cual es de un 40% del total de la población, ya que se abastece de agua a algunas veredas mediante un carro tanque, además se debe tener en cuenta que el suministro no es constante ya que el servicio es dado por horarios establecidos. Según los valores obtenidos en la proyección de la población, se eligió el método geométrico como el indicado para el proyecto ya que evidencia una mayor densidad poblacional, lo cual nos asegura un factor de seguridad mayor a la hora de diseñar.

POBLACIÓN	
Año	Geométrico
2006	7383
2007	7514
2008	7646
2009	7781
2010	7918
2011	8057
2012	8199
2013	8343
2014	8490
2015	8640
2016	8792
2017	8947
2018	9105

POBLACIÓN	
Año	Geométrico
2019	9265
2020	9428
2021	9594
2022	9763
2023	9935
2024	10110
2025	10288
2026	10470
2027	10654
2028	10842
2029	11033
2030	11227
2031	11425
2032	11626
2033	11831
2034	12039
2035	12251
2036	12467
2037	12687
2038	12910
2039	13138
2040	13369
2041	13604
2042	13844
2043	14088

Tabla 23 Proyección de la población que deberá abastecer la PTAP El Río (teniendo en cuenta la población flotante).

Se tomó como población flotante el 60 % de la población, sin embargo esta puede presentar variaciones según la temporada del año.

10.4. CAUDAL MEDIO DIARIO (Qmd)

El caudal medio diario, corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal en un periodo de un año, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Qmd = (\text{número de habitantes} * \text{dotación bruta})/30 \quad (6)$$

Donde:

$$\text{dotación bruta} = 17.36\text{m}^3/\text{suscriptor} / \text{mes}$$

Se divide la dotación bruta en 3.1 que es el número de habitantes por suscriptor, con el fin de obtener el resultado en $\text{m}^3/\text{hab}/\text{mes}$

$$Qmd = \frac{17.36\text{m}^3/\text{suscriptor} / \text{mes}}{3.1 \text{ hab}/\text{suscriptor}} / 30 \text{ dias} = 0.1866 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{dia}$$

10.5. CAUDAL MÁXIMO DIARIO (QMD)

El caudal máximo diario corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un periodo de un año, según la norma para sistemas nuevos se adopta un coeficiente de consumo máximo diario de 1.3, por lo tanto la ecuación se interpretará de la siguiente forma:

$$QMD = qmd * k1 \quad (7)$$

$$QMD = \left(\frac{\left(\frac{0.1866 \frac{\text{m}^3}{\text{hab}}}{\text{dia}} * 14088 \text{ hab} * 1000 \right)}{86400 \text{ seg}} \right) * 1.3 = 40 \text{ lps}$$

10.6. PROYECCIÓN DE DEMANDA

Se realizó una proyección de la demanda por los 25 años de tiempo de diseño que se adoptó según lo estipula la Resolución 0330 del año 2017, con el fin de evaluar en qué año el sistema se va a encontrar trabajando con el caudal límite y que por lo tanto será necesario recurrir a una ampliación, lo cual implica un nuevo diseño de las estructuras en cada uno de los procesos unitarios. En los valores obtenidos de la tabla 22 se observa que en el año actual (2018), la planta ya presenta un déficit de once litros por segundo para responder a la demanda por parte de los suscriptores, por lo tanto se procederá a realizar los diseños de cada una de las unidades requeridas para cumplir a cabalidad con la demanda en los próximos 25 años.

PROYECCION DE DEMANDA (CAUDAL MAXIMO DIARIO)			
año	CAUDAL L/S	año	CAUDAL L/S
2006	13	2025	18
2007	13	2026	18
2008	13	2027	19
2009	14	2028	19
2010	14	2029	19
2011	14	2030	20
2012	14	2031	20
2013	15	2032	20
2014	15	2033	21
2015	15	2034	21
2016	15	2035	22
2017	16	2036	22
2018	16	2037	22
2019	16	2038	23
2020	17	2039	23
2021	17	2040	23
2022	17	2041	24
2023	17	2042	24
2024	18	2043	25

Tabla 24. Proyección de demanda de la PTAP El Río (sin tener en cuenta la población flotante).

PROYECCION DE DEMANDA (CAUDAL MAXIMO DIARIO)			
año	CAUDAL L/S	año	CAUDAL L/S
2006	21	2025	29
2007	21	2026	29
2008	21	2027	30
2009	22	2028	30
2010	22	2029	31
2011	23	2030	32
2012	23	2031	32
2013	23	2032	33
2014	24	2033	33
2015	24	2034	34
2016	25	2035	34
2017	25	2036	35
2018	26	2037	36
2019	26	2038	36
2020	26	2039	37
2021	27	2040	38
2022	27	2041	38
2023	28	2042	39
2024	28	2043	40

Tabla 25 Proyección de demanda de la PTAP El Río (teniendo en cuenta la población flotante)

10.7. DISEÑO DE MEZCLA RÁPIDA- CANALETA PARSHALL

La canaleta Parshall es la forma más común de producir un resalto hidráulico, el cual consiste en un segmento de canal con cambio rápido de pendientes y construcción en el punto llamado garganta.

W		A	B	C	D	E	F	G	K	N
		(cm)	(cm)	(cm)						
Pulg	cm									
7`	214	228.8	224	244	303	91.5	61	91.5	7.6	22.9
8`	244	244	239.2	274.5	340	91.5	61	91.5	7.6	22.9
10`	305	274.5	427	366	476	122	91.5	183	15.3	34.3

Tabla 26. Dimensiones típicas de medidores parshall Fuente: Arboleda valencia, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera edición.

Para empezar con el diseño de la canaleta Parshall se inicia determinando el ancho de garganta de la canaleta (W) en función del caudal, basándose en la tabla de AzevedoNetto, la cual nos permite determinar el ancho dentro de los rangos de caudales máximos y mínimos.

ANCHO W	LIMITES DE CAUDAL (l/s)	
	Q MÍNIMO	Q MÁXIMO
1"	0.28	5.67
2"	0.57	14.15
3"	0.85	28.31
6"	1.42	110.44
9"	2.58	252
12"	3.11	455.9
18"	4.24	696.5
24"	11.9	937.3
36"	17.27	1427.2
48"	36.81	1922.7
60"	45.31	2424
72"	73.62	2931

Tabla 27. Determinación de W en función del caudal

De acuerdo con la tabla 24, el valor de W es de 3" para el diseño de la canaleta Parshall, lo cual nos da la lectura de las dimensiones típicas, las cuales se presentan en la tabla 25:

Ítem	(cm)
W	7.6
A	46.6
B	45.7
C	17.8
D	25.9
E	38.1
F	30.5
G	15.2
K	2.5
N	5.7

Tabla 28. Dimensiones típicas para un ancho de 3”.

Teniendo en cuenta los valores anteriores, se procede a calcular las propiedades hidráulicas de la canaleta Parshall.

CONDICIONES EN LA ENTRADA

- Altura de lámina de agua (H_a)

Para la altura de lámina se requiere tener en cuenta la siguiente ecuación.

$$Q = K * H_a^n \quad (8)$$

De la cual, los valores del coeficiente “K” y del exponente “n” se encuentran en la tabla 26, los cuales están en función del ancho de la garganta (W).

UNIDADES MÉTRICAS		
W	n	K
3"	1.547	0.176
6"	1.580	0.381
9"	1.530	0.535
1'	1.522	0.690
1 1/2'	1.538	1.054
2'	1.550	1.426
3'	1.566	2.182
4'	1.578	2.935
5'	1.587	3.728
6'	1.595	4.515
7'	1.601	5.306
8'	1.606	6.101

Tabla 29. Valores del coeficiente K y del exponente n

Despejando Ha se obtiene:

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

$$Ha = \left(\frac{0.015}{0.176}\right)^{\frac{1}{1.547}} = 0.204 \text{ m}$$

➤ Ancho en la entrada de la canaleta (D')

El valor de la variable D se encuentra en la tabla 25.

$$D' = \frac{2}{3}(D - W) + W \quad (9)$$

$$D' = \frac{2}{3}(0.259 - 0.076) + 0.076 = 0.198 \text{ m}$$

➤ Velocidad en la sección D' (Vo)

$$Vo = \frac{Q}{D' * Ha} \quad (10)$$

$$V_o = \frac{0.015}{0.198 * 0.204} = 0.372 \frac{m}{s}$$

- Energía específica (Eo)

El valor de la variable N se encuentra en la tabla 25.

$$E_o = \frac{v_o^2}{2g} + Ha + N \quad (11)$$

$$E_o = \frac{0.372^2}{2 * 9.81} + 0.204 + 0.057 = 0.268 \text{ m}$$

CONDICIONES EN LA GARGANTA

- Velocidad antes del resalto (V1)

Para esta ecuación cubica se adopta el valor de mayor magnitud según Arboleda, el cual se va utilizar para determinar la altura antes del resalto.

$$V1^3 - 2g V1 E_o = -\left(\frac{2Qg}{W}\right) \quad (12)$$

$$V1^3 - 5.2509 V1 + 3.872 = 0$$

Teniendo los valores para resolver la ecuación se encuentran los siguientes valores para

V1:

$$V1 = -2.60$$

$$V1 = 1.74 \text{ m/s}$$

$$V1 = 0.86$$

El valor adoptado es de 1.74 m/s ya que es el de mayor cantidad entre los números obtenidos al resolver la ecuación.

- Altura antes del salto hidráulico (h1)

$$h1 = \frac{Q}{V1 * W} \quad (13)$$

$$h1 = \frac{0.015}{1.74 * 0.076} = 0.113 \text{ m}$$

- Numero de Froude (Nf)

$$Nf = \frac{V1}{\sqrt{g * h1}} \quad (14)$$

$$Nf = \frac{1.74}{\sqrt{9.81 * 0.113}} = 1.6$$

CONDICIONES DE SALIDA

- Altura después del resalto (h2)

$$h2 = \frac{h1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 * Nf^2} - 1 \right) \quad (15)$$

$$h2 = \frac{0.113}{2} \left(\sqrt{1 + 8 * 1.6^2} - 1 \right) = 0.214 \text{ m}$$

- Sumergencia (S)

$$S = \frac{h2 - N}{Ha} \quad (16)$$

$$S = \frac{0.214 - 0.057}{0.204} = 0.771$$

- Perdida de carga (hf)

$$hf = Ha + N - h2 \quad (17)$$

$$hf = 0.204 + 0.057 - 0.214 = 0.047 \text{ m}$$

- Velocidad en el centro de la canaleta (V2)

$$V2 = \frac{Q}{0.38 * h2} \quad (18)$$

$$V2 = \frac{0.015}{0.38 * 0.214} = 0.185 \text{ m/s}$$

- Tiempo de retención (tr)

Según la resolución 0330 de 2017, se establece los siguientes criterios para el diseño de la mezcla rápida. El valor de G se encuentra en la tabla 25.

PARÁMETROS DE REFERENCIA DE DISEÑO MEZCLA RÁPIDA		
TIPO DE MEZCLADOR	RANGO DE GRADIENTE DE VELOCIDAD MEDIO	TIEMPO DE MEZCLA
HIDRÁULICO	1000 S-1 - 2000 S-1	< 1 S
MECÁNICO	500 S-1 - 2000 S-1	< 60 S

Tabla 30. Parámetros para mezcla rápida

Parámetros para mezcla rápida

$$tr = \frac{G}{\frac{v_0+v_1+v_2}{3}} \quad (19)$$

$$tr = \frac{0.152}{\frac{0.372+1.74+0.185}{3}} = 0.199 \text{ s} < 1 \text{ s OK}$$

➤ Gradiente hidráulico (Gr)

La viscosidad del agua se adoptó para la temperatura de 20°C.

$$Gr = \sqrt{\frac{g * hf}{v * tr}} \quad (20)$$

$$Gr = \sqrt{\frac{9.81 * 0.047}{1.007 * 10^{-6} * 0.199}} = 1513.27 \text{ s}^{-1}$$

$$Gr = 1513.27 \text{ s}^{-1} < 2000 \text{ s}^{-1} \text{ y } 1513.27 \text{ s}^{-1} > 1000 \text{ s}^{-1} \text{ OK}$$

Para resumir todas las dimensiones de la canaleta parshall se presenta la siguiente tabla:

RECONSTRUCCIÓN MEMORIA DE CALCULO		
CANALETA PARSHALL	VALOR	UND
CONDICIONES EN LA ENTRADA		
Ancho de la garganta (W)	7.6	cm
Caudal de diseño (Q)	15	l/s
Altura de lámina (Ha)	0.204	m
Ancho en la entrada de la canaleta (D´)	0.198	m
velocidad en la sección D' (Vo)	0.372	m/s
Energía Especifica (Eo)	0.268	m
CONDICIONES EN LA GARGANTA		
Velocidad antes del resalto (V1)	1.74	m/s
Altura antes del salto hidráulico (h1)	0.113	m
Numero de Froude (Nf)	1.6	-
CONDICIONES DE SALIDA		
Altura después del resalto (h2)	0.214	m
sumergencia(s)	0.771	
Perdida de carga(hf)	0.047	m
Velocidad en el centro de la canaleta (V2)	0.185	m/s
Tiempo de retención (tr)	0.199	s
gradiente hidráulico (Gr)	1513.27	s ⁻¹

Tabla 31. Diseño canaleta Parshall

Según el valor del gradiente hidráulico y el tiempo de retención obtenidos y comparándolos con la Resolución 0330 del 2017, se establece que la canaleta existente en la PTAP “El Río”, no cumple ya que los resultados son teóricos porque se encuentra que existe una falla en el funcionamiento, ya que no está realizando el objetivo de una canaleta parshall, el cual es realizar un encauzamiento del afluente con el fin de realizar un control del caudal que ingresa a la planta y generar un resalto hidráulico para generar un punto de mayor turbulencia para la aplicación del coagulante, estas fallas se generan primero porque no hay en la estructura un pozo de medida, el cual debe ser aforado como la tabla 29 y segundo, la ubicación del mismo con respecto a la caja

de entrada son erróneas ya que genera un ahogamiento en la garganta de la canaleta lo cual trae como consecuencia que no se forma un resalto hidráulico, por esta razón se recomienda adecuar la caja de entrada convirtiéndola en una cámara de aquietamiento y así ubicar de manera adecuada la canaleta Parshall, para que cumpla con los valores calculados para la canaleta.

Además de incluir el pozo de medida, el cual indica la altura de la lámina de agua en la garganta., ya que en la actual estructura no se encuentra, y de esta manera el operario pueda tener un registro diario del caudal de entrada, comparando con la siguiente tabla:

ALTURA (m)	Q l/s
0.01	0.14
0.02	0.41
0.03	0.78
0.04	1.21
0.05	1.71
0.06	2.27
0.07	2.88
0.08	3.54
0.09	4.24
0.1	4.99
0.11	5.79
0.12	6.62
0.13	7.50
0.14	8.41
0.15	9.35
0.16	10.33
0.17	11.35
0.18	12.40
0.19	13.48
0.2	14.60
0.21	15.74
0.22	16.91
0.23	18.12
0.24	19.35
0.25	20.61
0.26	21.90
0.27	23.22
0.28	24.56
0.29	25.93
0.3	27.33

Tabla 32. Caudal según altura de lámina.

Los datos mostrados se obtienen mediante la siguiente ecuación;

$$Q = K * Ha^n \quad (21)$$

10.8. DISEÑO DEL FLOCULADOR

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la proyección de la población del municipio de Anapoima para el año 2043, la planta deberá tratar un caudal de 40 L/s para cumplir con la dotación máxima / habitante / día, exigida por la resolución 0330 de 2017 y para este año (2018), la planta debería estar tratando 26 L/S, por lo que ya se evidencia un déficit de 11 l/s.

A continuación, se presentan los procedimientos realizados, junto con los resultados de la memoria de cálculo tanto del floculador que se encuentra actualmente en la planta, así como la actualización técnica de dichas unidades para que cumplan con la resolución 0330 de 2017, ya que según esta, se deben garantizar tres zonas con el fin de disminuir el gradiente de velocidad de mezcla entre 70 s-1 y 10 s-1 y el gradiente promedio del proceso debe ser de 40 s-1, además esta resolución da un tiempo de retención de entre 20 y 40 minutos.

RECONSTRUCCIÓN MEMORIA DE CALCULO		
ítem	unidad	valor
caudal	m3/s	0,0075
tiempo retención	min	15,8
Largo	m	7,830
Ancho	m	1,820
Profundidad	m	0,600
borde libre	m	0,100
Número de cámaras	und	2
Número de tabiques	und	36
longitud de tabiques	m	1,620
espesor tabiques	m	0,065
área tabiques	m2	0,106
Número de canales	und	37

ítem	unidad	valor
altura tabiques	m	0,700
distancia de muro a tabiques	m	0,320
distancia entre tabiques	m	0,148
longitud real recorrido	m	67,340
volumen tanque real	m ³	9,975
volumen tabiques	m ³	2,274
volumen agua	m ³	6.28
Volumen agua a mezclar por periodo	m ³	7,110
velocidad del flujo	m/s	0,0710
Hf	m	0,028
h2	m	0,020
P	grf*cm/s	36000,00
G	S-1	20,672

Tabla 33. Reconstrucción de la memoria de cálculo

El caudal que sale en la 30 es de 7,5 L/s, ya que el caudal que entra al floculador, se divide en las dos unidades con las que la planta cuenta.

- Velocidad del flujo:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (22)$$

$$v = \frac{0,0075 \frac{m^3}{s}}{0,6m * 0,176m} = 0,071m/s$$

- Longitud total recorrida

$$L = \text{Ancho unidad} * \#\text{canales} \quad (23)$$

$$L = 1,82m * 37 = 67,34m$$

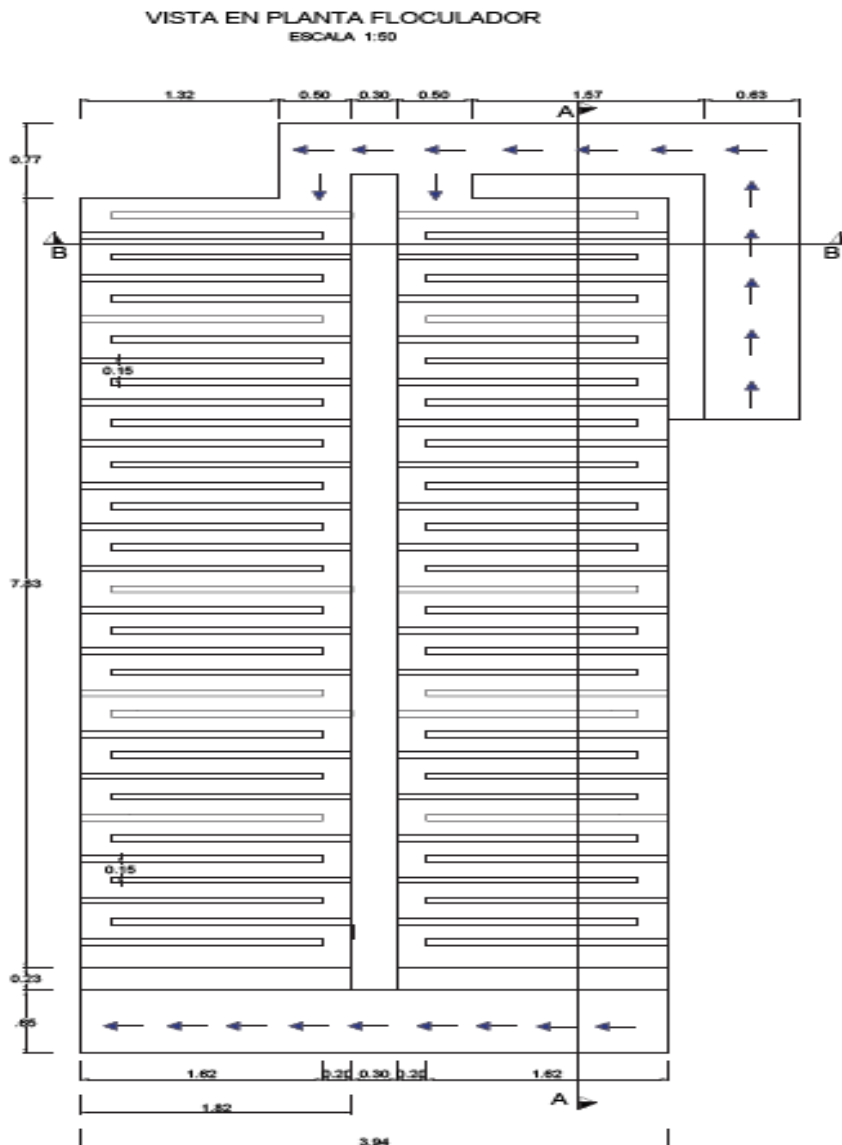


Ilustración 19 esquema general floculador

- Tiempo de retención:

$$t = \frac{\text{longitud recorrida}}{v} \quad (24)$$

$$t = \frac{67,34m}{0,071 \frac{m}{s} * 60s} = 15,80min$$

- Volumen de agua a mezclar por periodo.

$$V = Q * t \quad (25)$$

$$V = 0,0075 \frac{m^3}{s} * 15,80 * 60seg = 7,11m^3$$

- Área transversal requerida entre tabiques.

$$a = \frac{V}{longitud\ recorrida} \quad (26)$$

$$a = \frac{7,11m^3}{67,34m} = 0,1055m^2$$

- Separación entre tabiques.

$$d = \frac{a}{H_{tanque}} \quad (27)$$

$$d = \frac{0,1055m^2}{0,6m} = 0,175m$$

En los cálculos realizados, la separación entre tabiques es de 17,5 cm, sin embargo en la planta la separación es de 14,8cm.

- Distancia del muro a tabiques

$$s = d * L \quad (28)$$

$$s = 0,148m * 1,82m = 0,27m$$

En la PTAP, esta distancia esta de 20cm

- Pérdida por fricción, según la fórmula de Manning

$$Hf = \frac{(nv)^2 * L}{R^{\frac{4}{3}}} = 0,02m \quad (29)$$

- Pérdida adicional

$$h_2 = \frac{3(N-1)v^2}{2g} \quad (30)$$

$$h_2 = \frac{3 * (37 - 1) * 0,071m/s}{s * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,028m$$

- Pérdida total

$$HT = H_f + h_2 \quad (31)$$

$$HT = 0,02m + 0,027m = 0,048m$$

- Potencia

$$P = \gamma * Q * HT \quad (32)$$

$$P = 1 \frac{grf}{cm^3} * 7500 \frac{cm^3}{s} * 4,7cm = 36000grf * cm/s$$

- Gradiente Hidráulico

$$G = \sqrt{\frac{P * g}{\mu * V}} \quad (33)$$

$$G = \sqrt{\frac{36000grf * cm/s * 980}{0,01 * 7110000cm^3}} = 22,7s^{-1}$$

Mediante la reconstrucción de esta memoria de cálculo, se encontró que la separación entre tabiques debería ser de 17,5 cm, sin embargo en la planta esta separación es de 14,8cm, así como la esta

distancia entre el muro y los tabiques, que debería ser de 27cm, aunque en la planta está de 20 cm, sin embargo esto no afecta en el funcionamiento de esta unidad.

Teniendo en cuenta que según la resolución 0330 de 2017, las unidades de floculador nuevas, deben tener 3 zonas con el fin de disminuir el gradiente de velocidad de mezcla entre $70s^{-1}$ y $10s^{-1}$, donde el gradiente medio de todo el proceso debe ser de $40s^{-1}$ y la retención hidráulica este entre 20 y 40 minutos, se realizaron los respectivos cálculos para hacer una actualización técnica de las unidades, en caso de que la empresa regional Aguas del Tequendama S.A. lo desee, obteniendo los siguientes resultados:

DISEÑO zona 1		
ítem	unidad	valor
Caudal	m ³ /s	0.0075
Tiempo retención	min	5.000
Velocidad	m/s	0.180
Longitud total recorrido	m	54.000
Volumen de agua	m ³	2.250
Área transversal	m ²	0.042
Borde libre	m	0.100
Profundidad del agua	m	0.600
Separación entre tabiques	m	0.069
Espacio en el extremo	m	0.104
Velocidad en el giro	m/s	0.120
Ancho útil del tanque	m	1.820
Número de tramos	m	30
Longitud cámara	m	3.781
Numero de tabiques	un	29
Volumen tanque	m ³	4.128
Perdidas H1	m	0.142
Área mojada	m ²	0.042

ítem	unidad	valor
Perímetro mojado	m	0.083
Coeficiente de rugosidad		0.013
Perdidas H2	m	0.020
HT =h1 + h2	m	0.162
Potencia	grf*cm/s	121636.073
Gradiente	s-1	53.734

Tabla 34. Diseño zona 1 del floculador

DISEÑO zona 2		
ítem	unidad	valor
Caudal	m ³ /s	0.0075
Tiempo retención	min	6.000
Velocidad	m/s	0.150
Longitud total recorrido	m	54.000
Volumen de agua	m ³	2.700
Área transversal	m ²	0.050
Borde libre	m	0.100
Profundidad del agua	m	0.600
Separación entre tabiques	m	0.083
Espacio en el extremo	m	0.125
Velocidad en el giro	m/s	0.100
Ancho útil del tanque	m	1.820
Número de tramos	m	30
Longitud cámara	m	4.193
Numero de tabiques	un	29
Volumen tanque	m ³	4.578
Perdidas H1	m	0.099
Área mojada	m ²	0.050
Perímetro mojado	m	0.100
Coeficiente de rugosidad		0.013
Perdidas H2	m	0.000
HT =h1 + h2	m	0.099
Potencia	grf*cm/s	74060.015

ítem	unidad	valor
Gradiente	s-1	39.815

Tabla 35. Diseño zona 2 del floculador

DISEÑO zona 3		
ítem	unidad	valor
Caudal	m ³ /s	0.0075
Tiempo retención	min	9.000
Velocidad	m/s	0.100
Longitud total recorrido	m	54.000
Volumen de agua	m ³	4.050
Área transversal	m ²	0.075
Borde libre	m	0.100
Profundidad del agua	m	0.600
Separación entre tabiques	m	0.125
Espacio en el extremo	m	0.188
Velocidad en el giro	m/s	0.067
Ancho útil del tanque	m	1.820
Número de tramos	m	30
Longitud cámara	m	5.429
Numero de tabiques	un	29
Volumen tanque	m ³	5.928
Perdidas H1	m	0.044
Área mojada	m ²	0.075
Perímetro mojado	m	0.150
Coefficiente de rugosidad		0.013
Perdidas H2	m	0.000
HT =h1 + h2	m	0.044
Potencia	grf*cm/s	32915.562
Gradiente	s-1	23.326

Tabla 36. Diseño zona 3 del floculador

Para reconstruir la memoria de cálculo, se tomaron como criterio de diseño los siguientes parámetros.

Criterios de diseño		
ítem	unidad	valor
Tiempo de retención	horas	2,2
Carga superficial	m/dia	40
Caudal de diseño	m ³ /s	0,015
Relación B:L		1:2
Borde libre	m	0,2
No. De unidades	und	1
Diámetro orificios	in	2
Floc ligero	m ³ /(h*m)	8,5
Diámetro desagüe	in	8

Tabla 37. Criterios de diseño del sedimentador

Los resultados obtenidos, se muestran en la tabla 35.

diseño		
ítem	unidad	valor
Volumen de sedimentación	m ³	118.800
área superficial	m ²	32.400
ancho	m	4.025
longitud	m	8.050
profundidad del agua	m	3.667
volumen de lodos	m ³ /dia	1.760
altura de lodos	m	1.000
profundidad del tanque	m	4.867
velocidad de flujo	cm/s	0.102
área desagüe	m ²	0.032
caudal orificio (pantalla de entrada)	m ³ /s	0.0002
numero de orificios(pantalla de entrada)	und	72.813
longitud vertedero de salida	m	6.353
h tubería	m	5.135
Tiempo de vaciado		0.394

Tabla 38. Reconstrucción memoria de cálculo del Sedimentador de flujo horizontal

Cabe resaltar que la profundidad del agua no incluye altura de lodos.

- Volumen de sedimentación

$$V = Qt \quad (34)$$

$$V = \frac{0,015 \frac{m^3}{s} * 86400s * 2,2h}{24h} = 118,8m^3$$

- Área superficial

$$A = \frac{Q}{CS} \quad (35)$$

$$A = \frac{0,015 \frac{m^3}{s} * 86400s}{40m/día} = 32,4m^2$$

- Ancho unidad

$$ancho = \sqrt{\frac{A}{2}} \quad (36)$$

$$ancho = \sqrt{\frac{32,4m^2}{2}} = 4,025m$$

- Largo unidad

$$largo = \frac{A}{ancho} \quad (37)$$

$$largo = \frac{32,4m^2}{4,025m} = 8,05m$$

El largo de la unidad de la planta es de 8m

- Profundidad del agua

$$P = \frac{V}{\text{ancho} * \text{longitud}} \quad (38)$$

$$P = \frac{118,8m^3}{4,025m * 8,05m} = 3,6m$$

La profundidad del agua en la PTAP El Río es de 3,4m

- Volumen de lodos

$$Vl = 1,76 \frac{m^3}{\text{dia}} \quad (39)$$

Este valor se encuentra calculado en el numeral 11

- Altura de lodos

$$Hl = 1 \text{ mt}$$

Este valor se encuentra calculado en el numeral 11

- Profundidad del tanque

$$H = \text{borde libre} + P + Hl \quad (40)$$

$$H = 0,2m + 3,6m + 1m = 4,8m$$

Sin embargo la altura total de la unidad de sedimentación de la planta es de 3,6m.

Velocidad de flujo

$$v = \frac{0,015 \frac{m^3}{s} * 86400s * 100cm}{86400s * 4,025m * 3,667m} = 0,101 \frac{cm}{s} \quad (41)$$

- Área de desagüe

$$Ad = \pi * r^2 \quad (42)$$

$$Ad = 3,1416 * 0,1016^2 = 0,032m^2$$

- Caudal orificio (pantalla de entrada)

$$Qo = Aorificio * v \quad (43)$$

$$Qo = 3,1416 * 0,025^2 * 0,101 \frac{cm}{s} = 0,0002 \frac{m^3}{s}$$

- Numero de orificios (pantalla de entrada)

$$\#orificios = \frac{Q}{Qo} \quad (44)$$

$$\#orificios = \frac{0,015 \frac{m^3}{s}}{0,0002 \frac{m^3}{s}} = 75$$

- Longitud vertedero de salida

$$Lvertedero = \frac{Q}{floc\ ligero} \quad (45)$$

$$Lvertedero = \frac{0,015 \frac{m^3}{s} * 3600s}{8,5 \frac{m^3}{h*m}} = 6,35m$$

- Tiempo de vaciado

$$t = \frac{A}{4850 * Ad} * \sqrt[2]{P} \quad (46)$$

$$t = \frac{32,4m^2}{4850 * 0,032m^2} * \sqrt[2]{3,6m} = 0,4h = 24min$$

Según los cálculos obtenidos de la unidad de sedimentación, se llega a la conclusión que esta unidad se encuentra mal diseñada, ya que el sedimentador, debería tener una profundidad de 4,9m y esta solo

cuenta con 3,60 m, además se recomienda realizar un lavado cada 20 días, debido a la gran cantidad de lodos que se genera.

Teniendo en cuenta que según la resolución 0330 de 2017, las unidades de Sedimentación nuevas, deben cumplir con los parámetros establecidos en la tabla 2, por lo que se realizaron los respectivos cálculos para hacer una actualización técnica de la unidad, en caso de que la empresa regional Aguas del Tequendama S.A. lo desee, obteniendo los siguientes resultados:

Criterios de diseño		
ítem	unidad	valor
Tiempo de retención	horas	2,6
Carga superficial	m/día	30
Caudal de diseño	m ³ /s	0,015
Relación B:L		1:2
Borde libre	m	0,2
No. De unidades	und	1
Diámetro orificios	in	2
Floc ligero	m ³ /(h*m)	8,5
Diámetro desagüe	in	8

Tabla 39. Criterios de diseño para actualizar el sedimentador cumpliendo con los parámetros establecidos en la resolución 0330 de 2017.

diseño		
ítem	unidad	valor
Volumen de sedimentación	m ³	140,400
área superficial	m ²	43,200
ancho	m	4,648
longitud	m	9,295
profundidad del agua	m	3,250
volumen de lodos	m ³	28,080
altura de lodos	m	0,650
profundidad del tanque	m	4,100
velocidad de flujo	cm/s	0,099
Área desagüe	m ²	0,032

ítem	unidad	valor
numero de orificios(pantalla de entrada)	und	75
longitud vertedero de salida	m	6,353
Tiempo de vaciado	m	4,410
Volumen de sedimentación	h	0,495

tabla 40. Resultados obtenidos para la actualización del sedimentador bajo los parámetros establecidos por la resolución 0330 de 2017.o

10.10. DISEÑO DEL FILTRO

- NUMERO DE UNIDADES

$$N = 0.044\sqrt{Q} \quad (47)$$

$$N = 0.044\sqrt{0.015 * 86400} = 1.584$$

En el número de unidades que se obtiene es 2, lo cual no se cumple en la planta, es necesario para el lavado o mantenimiento del filtro implementarlo.

- TASA

En este caso se utilizó la tasa dada por la empresa, 204 m/d.

- ÁREA DE FILTRACIÓN REQUERIDA

$$A = \frac{Q}{V} \quad (48)$$

$$A = \frac{1296}{204} = 6.35 \text{ m}^2$$

- PROFUNDIDAD DE LECHOS FILTRANTES – POROSIDAD-TAMAÑO EFECTIVO- COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

tamaño efectivo		
antracita	0,0011	m
arena	0,0004	m
gravilla	0,007	m
porosidad		
antracita	0,6	%
arena	0,43	%
gravilla	0,3	%
coeficiente de uniformidad		
antracita	1,5	-
arena	1,3	-
gravilla	-	-
profundidad lecho		
antracita	0,45	m
arena	0,2	m
gravilla	0,25	m

Tabla 35 datos filtros otorgados por la Aguas del Tequendama

Para definir el sistema de retro lavado del filtro se determinó que se hace por medio del lavado mutuo el cual el agua de retro lavado es proporcionada por el volumen disponible en la cámara mutua, este filtro va a tener una profundidad estructural y no de lecho, con el fin de dar a la salida de la cámara de agua filtrada la presión necesaria para efectuar el retro lavado.

RETROLAVADO LAVADO MUTUO

ANTRACITA

- VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO (VS)

$$VS = 4.7 * (Cu * d_{10}) \quad (49)$$

$$VS = 4.7(1.5 * 1000 * 0.0011) = 7.76 \frac{m}{min} = 0.13 \frac{m}{s}$$

- VELOCIDAD NECESARIA EN EL LAVADO 20°C (Vb)

$$Vb = 0.1 * Vs \quad (50)$$

$$Vb = 0.1 * 7.76 = 0.78 \frac{m}{min} = 0.01 m/s$$

- POROSIDAD DEL LECHO EXPANDIDO (ee)

$$ee = \left(\frac{Vb}{Vs} \right)^{0.22} \quad (51)$$

$$ee = \left(\frac{0.01}{0.13} \right)^{0.22} = 0.60$$

- PROFUNDIDAD DEL LECHO EXPANDIDO (Le)

$$Le = L \left(\frac{1 - e}{1 - ee} \right) \quad (52)$$

$$Le = 0.45 \left(\frac{1 - 0.60}{1 - 0.60} \right) = 0.453 m$$

- RELACIÓN DE EXPANSIÓN (Re)

$$Re = \frac{Le - L}{L} \quad (53)$$

$$Re = \frac{0.453 - 0.45}{0.45} = 0.64\%$$

- CAUDAL DE LAVADO DEL FILTRO (Ql)

$$Ql = Vb * A \quad (54)$$

$$Ql = 0.78 * 6.35 = 4.93 \frac{m^3}{min} = 0.08 \frac{m^3}{s}$$

- VOLUMEN TOTAL DE AGUA DE LAVADO

$$Vl = Ql * t \quad (55)$$

$$Vl = 4.93 * 10min = 49.27 m^3$$

- PERDIDA PROVOCADA POR EL LECHO EXPANDIDO (H1)

$$H1 = L * (1 - e) * (Ss - 1) \quad (56)$$

$$H1 = 0.45 * (1 - 0.6) * (1.7 - 1) = 0.126 m$$

**TABLA FACTORES DE ESFERICIDAD Y PESO ESPECIFICO
PARA LOS MATERIALES FILTRANTES MAS COMUNES**

MATERIAL	F. DE ESFERICIDAD	PESO ESPECIFICO (g/cm3)	POROSIDAD
ARENA	0,8	2,67	0,45
ANTRACITA	0,7	1,7	0,5

Tabla 41. Factores de esfericidad y peso especifico

PERDIDA PROVOCADA POR EL SOPORTE (H2)

$$H2 = \frac{Vb * L}{3} \quad (57)$$

$$H2 = \frac{0.78 * 0.45}{3} = 0.116 \text{ m}$$

A continuación, se muestran los resultados obtenidos

RECONSTRUCCIÓN MEMORIA DE CALCULO		
unidades reales	1,584	und
tasa	204	m/d
área filtración requerida	6,35	m2
Retrolavado mutuo		
antracita		
ítem	valor	und
velocidad de asentamiento vs	7,76	m/min
vs	0,13	m/s
velocidad necesaria en el lavado vb- 20°C-	0,78	m/min
vb- 20°C	0,01	m/s
Porosidad del lecho expandido Pe	0,60	-
profundidad del lecho expandido Le	0,453	-
relación de expansión Re	0,64	%
caudal del lavado de filtro Ql(m3/min)	4,93	m3/min
Ql(m3/seg)	0,08	m3/s
volumen total de agua de lavado VI	49,27	m3
perdidas antracita		
perdida provocada por el lecho expandido		
H1	0,126	
perdida provocada por el soporte H2	0,116325	m
arena		
ítem	valor	und
velocidad de asentamiento vs	2,44	m/min
vs	0,04	m/s
velocidad necesaria en el lavado vb- 20°C-	0,24	m/min
vb- 20°C	0,00	m/s
Porosidad del lecho expandido Pe	0,60	-
profundidad del lecho expandido Le	0,50	-
relación de expansión Re	151,51	%
caudal del lavado de filtro Ql(m3/min)	1,55	m3/min
Ql(m3/seg)	0,03	m3/s
volumen total de agua de lavado VI	15,53	m3

perdidas arena		
perdida provocada por el lecho expandido		
H1	0,1904	m
perdida provocada por el soporte H2	0,016293333	m
perdidas		
H1	0,3164	m
H2	0,132618333	m
H3 perdida provocada por el sistema de drenaje	0,1956	m
Htotal	0,6446	m
altura de la perdida de carga máxima admitida según texto	1,8000	m
ALTURA TOTAL REQUERIDA	3,2000	m

Tabla 42. Cálculos filtro

Según los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el filtro se realiza un retrolavado lavado mutuo, se cumple con la altura necesaria para suplir las perdidas en el lavado pero hay una falencia en el volumen requerido de agua para realizar el lavado, ya que el volumen necesario para el lavado es de 65 m^3 , y el volumen del filtro es de 19.7 m^3 por lo tanto no garantiza la presión necesaria para el retrolavado, si se quiere cumplir con tal objetivo sería necesario tener una profundidad de 10.25 m, por lo tanto se recomienda construir un tanque de retro lavado con las dimensiones necesarias para cumplir con el volumen de agua requerido.

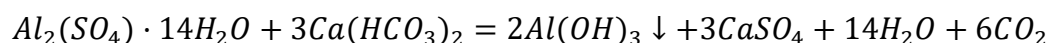
11. TRATAMIENTO DE LODOS

Los lodos producidos en una planta de tratamiento de agua potable, se generan debido a la suspensión de sólidos realizada en la unidad de sedimentación y filtración, la cantidad de sólidos, así como sus características, dependen del tipo de tratamiento que se dé al agua, en el caso de la PTAP el Río, donde se realiza una coagulación química previa a la sedimentación, los lodos están compuestos principalmente por material inorgánico, como arena, limo y arcilla, por material orgánico y por aluminio, debido al coagulante usado,” generalmente los lodos de los sedimentadores de agua coagulada son estables , no se descomponen rápido ni causan problemas de septicidad.”(Romero, 2006, pag.312).

11.1 LODOS PRODUCIDOS POR EL SEDIMENTADOR

En la PTAP El Río la gran mayoría de lodos son generados en el sedimentador, los cuales son conducidos al río, por medio de una tubería de desagüe de 8” ubicada bajo la unidad, lo que puede generar problemas ambientales, como la formación de depósitos de lodo, cubriendo diferentes organismos, además se aumenta la turbidez del río, lo que genera un color más oscuro y afecta la actividad fotosintética. Los lodos que se generan en la PTAP, podrían tener exceso de aluminio, generando efectos tóxicos en algunos organismos. Además, de acuerdo con los requerimientos de la CAR, se debe evitar el vertimiento de contaminantes al río.

Al usar sulfato de aluminio como coagulante se obtiene la siguiente reacción:



Es decir que 1mg/L de alumbre produce 0.26mg/L de precipitado.

Si se usara el cloruro férrico, por 1mg/L la cantidad de precipitado sería de 0,66mg/L .

“Para aguas coaguladas se puede suponer que los sólidos suspendidos mg/L, son aproximadamente iguales a la turbiedad en UNT, y calcular la cantidad de lodo de la manera siguiente” Romero rojas 2ª edición, pág. 315

Lodo seco de alumbre = turbiedad + precipitado de aluminio

$$W = (S + 0.3D) Q \times 10^{-3} \quad (58)$$

Donde:

W: kg de lodo seco de alumbre

S: Turbiedad del agua cruda en UNT

D: Dosis de alumbre en mg/L

Q: Metros cúbicos de agua tratada

$$W = (25 + (0.3 * 10)) \cdot 1296 \times 10^{-3} = 35.51kg/día$$

Suponiendo un material con contenido de sólidos de 2% y densidad relativa igual a 1.01 el volumen del lodo sería:

$$Masa\ diaria\ de\ lodo\ (humedo) = \frac{35.51kg}{0.02} = \frac{1775.52Kg}{día} \quad (59)$$

$$\text{Volumen diario de lodo (humedo)} = \frac{2128.4 \text{ kg/día}}{1010} = 1.76 \text{ m}^3/\text{día} \quad (60)$$

Lo que quiere decir que a los 20 días se obtendría 35.2 m³ de lodo, el equivalente a tener el sedimentado como lo muestra la ilustración 21.

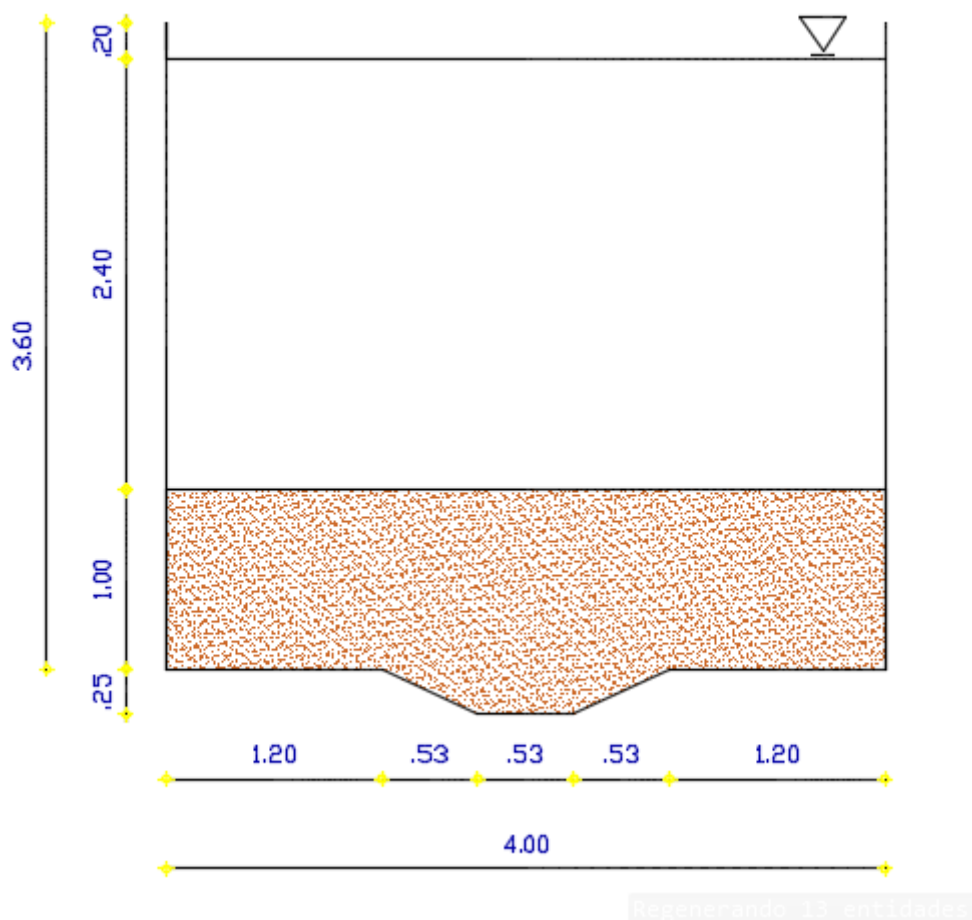


Ilustración 21. sedimentador a los 20 días

Cabe resaltar que, según la reconstrucción de la memoria de cálculo del sedimentador, este debería tener una profundidad total de 4,8m, de los cuales 3,6 corresponderían a la altura de la

lámina del agua. Debido a esta falla en las dimensiones de la unidad, al agua que pasa del sedimentador al filtro se le evidencia a simple vista partículas que no alcanzaron a sedimentarse, como lo muestra la ilustración 22.



Ilustración 22. Agua que sale del sedimentador.

Para el tratamiento de los lodos generados en el sedimentador, se recomienda usar lechos de secado, los cuales se componen de arena, grava y tubería, con el fin de re usar el agua drenada. En los lechos de secado típicos, la capa de lodo debe ser de entre 15 y 30 cm de espesor, la de arena entre 15 y 25cm, con un tamaño efectivo de 0,3 a 1,2mm, la capa de grava debe estar entre 20 y 30 cm de espesor.

Teniendo en cuenta que en 20 días se produce un total de 35,2m³ de lodo y se deben tener dos unidades de lechos de secado, cada una de estas debe ser de 7,7m de largo x 7,7 m de ancho, con las profundidades que se muestran en la ilustración 23.

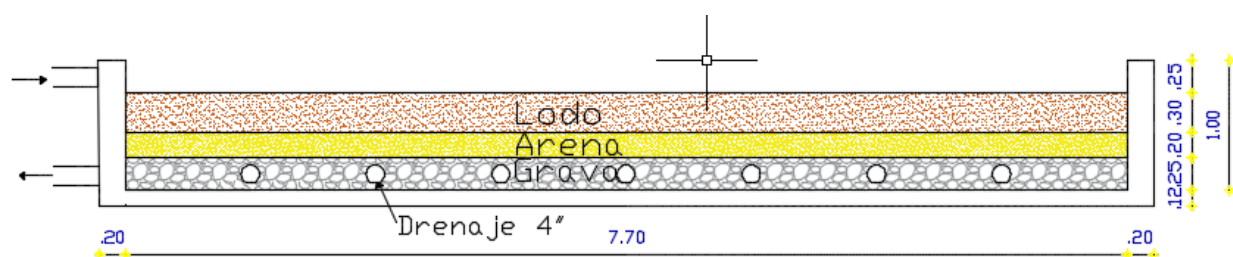


Ilustración 23. Corte lecho de secados.

11.2 LODOS PRODUCIDOS POR EL FILTRO

Para hallar el volumen de lodos se dispone a realizar el siguiente cálculo:

$$EficienciaFiltro = \left(\frac{T_{ent} - T_{sal}}{T_{ent}} \right) \quad (61)$$

Donde T_{ent} es turbiedad de entrada, el cual en este caso es de 3 UNT, y T_{sal} es la turbiedad de salida en el filtro, el cual el valor es de 1.21 UNT.

$$Eficiencia\ filtro = \frac{3 - 1.21}{3} = 0.599 = 60\%$$

Por lo tanto el filtro que se emplea en la planta de tratamiento EL RIO tiene una eficiencia del 60%, este valor no se puede considerar constante ya que lo afecta directamente la turbiedad con la que llega el agua, que para este caso es de rangos muy variables.

$$\text{cantidad retenida} = 3 - 1.21 = 1.79 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Peso seco retenido diario} = 1.79 * 1296 * 10^3 = 2.3 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

$$\text{Peso retenido diario HUMEDO} = \frac{2.3}{0.02} = 115 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

$$\text{Volumen retenido diario} = \frac{115}{1000} = 0.115 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Según lo observado en la planta es necesario implementar el lavado del filtro al mismo tiempo que el sedimentador teniendo en cuenta la composición de la planta de tratamiento, con el fin de mejorar la efectividad de la unidad.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El levantamiento de la PTAP el Río, se realizó con una estación total, el objetivo principal del levantamiento fue determinar las medidas geométricas de las estructuras que conforman la planta, adicionalmente, se georefenció el plano según las coordenadas MAGNA SIRGAS de los mojones, suministradas por la Empresa Regional Aguas del Tequendama SAS, sin embargo se recomienda verificar dichas coordenadas ya que no concuerdan con cartografía.
2. Mediante un análisis y proyección de la población, se determinó el caudal que debería estar tratando la planta, y según los valores obtenidos, los cuales se muestran en la tabla 20, se observa que para el año 2018, la planta ya presenta un déficit de once litros por segundo para responder a la demanda.
3. Se encontró que la planta es operada de una forma empírica, lo cual puede afectar en el correcto funcionamiento de esta, ya que algunas de las funciones de los operarios tales como la dosificación del coagulante y registros del caudal que llega a la planta se realizan a criterio propio.
4. Según los cálculos obtenidos de la estructura parshall, se determina que existe una falla en el funcionamiento, ya que no está cumpliendo con el objetivo de una canaleta parshall, el cual es realizar un encauzamiento del afluente con el fin de realizar un control del caudal que ingresa a la planta y generar un resalto hidráulico para generar un punto de mayor turbidez para la aplicación del coagulante, estas fallas se generan primero porque no hay en la estructura un pozo de medida, el cual debe ser aforado como la tabla x y segundo, la ubicación del mismo con respecto a la caja de entrada son erróneas ya que genera un ahogamiento en la garganta de la canaleta lo cual genera el mal procedimiento

y funcionamiento actual, por lo cual se recomienda adecuar la caja de entrada convirtiéndola en una cámara de aquietamiento y así ubicar de manera adecuada la canaleta parshall.

5. Mediante la reconstrucción de la memoria de cálculo, se encontró que la separación entre tabiques debería ser de 17,5 cm, sin embargo en la planta esta separación es de 14,8cm. Así como la esta distancia entre el muro y los tabiques, que debería ser de 27cm, aunque en la planta está de 20 cm, sin embargo esto no afecta en el funcionamiento de esta unidad.
6. Según los cálculos obtenidos de la unidad de sedimentación, se llega a la conclusión que esta unidad se encuentra mal diseñada, ya que el sedimentador, debería tener una profundidad de 4,9m y esta solo cuenta con 3,6m, además se recomienda realizar un lavado cada 20 días, debido a la gran cantidad de lodos que se genera.
7. Para el filtro rápido con lecho mixto, se concluye que la estructura está funcionando correctamente y fue diseñada con la dimensiones correctas para los lechos filtrantes, según la resolución 0330 de 2017, el error que se encuentra es el número de unidades, ya que deberían ser 2 para el momento en que se haga lavado de la planta, pero teniendo en cuenta que toda la planta se suspende en el proceso de lavado se puede pasar por alto, ya que el área de filtración requerida si es abarcada en su totalidad por la unidad existente.
8. Por otro lado en el filtro existe un error de mantenimiento, el cual debería ser con un retro lavado, el cual no se está haciendo de la manera correcta ya que solo se lava las paredes de la estructura lo cual genera con el tiempo, una acumulación de residuos afectando el funcionamiento óptimo del mismo, por lo cual se recomienda realizar un tanque de retro

lavado que cumpla con el volumen de agua necesario para el retro lavado (ver planos), ya que el volumen actual que tiene la estructura es insuficiente para cumplir con el lavado.

9. El sulfato ferroso como coagulante se descartó debido a que a la hora de realizar el ensayo de jarras, la turbidez del agua aumentó, además esta se tornó de un color amarillo y no se evidenció la formación de flocs.
10. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos de jarras, el cloruro férrico presenta una eficiencia levemente mayor al sulfato de aluminio, sin embargo genera una mayor cantidad de lodos, y teniendo en cuenta que la altura del sedimentador no es la adecuada, se tendrían que realizar lavados constantemente, afectando la funcionalidad de la planta, por lo que se sugiere seguir usando como coagulante el sulfato de aluminio.
11. Se recomienda realizar ensayos de jarras periódicamente para determinar la dosis óptima de coagulante, ya que la turbidez con la que llega el agua presenta grandes variaciones dependiendo del clima en el lugar de captación.
12. Teniendo en cuenta el déficit evidenciado en la planta se sugiere corregir las observaciones hechas a cada una de las estructuras que la componen para optimizar el funcionamiento. A partir de esto el municipio urge de una planta capaz suplir dicho déficit en la demanda, sin embargo hasta la fecha no se conoce un proyecto en el cual se busque ampliar la concesión de agua en el municipio.
13. Para el tratamiento de los lodos generados en el sedimentador, se recomienda usar lechos de secado, los cuales se componen de arena, grava y tubería, con el fin de re usar el agua drenada. en el diseño de los lechos, se presentan tres unidades de 5,15m x 6,20m, con una capa de arena de 20cm con un tamaño efectivo de 0,3 a 1,2mm y una capa de grava de 25m de espesor.(ver anexo 4)

14. Se recomienda hacer un lavado del sedimentador cada 20 días debido a la gran cantidad de lodos producidos.

13. REFERENCIAS

- ACUERDO No. 001 DE 2012 POR EL CUAL SE ADOPTA EL PLAN DE DESARROLLO DEL MUNICIPIO DE ANAPOIMA “ANAPOIMA COMPROMISO DE TODOS 2012-2015”. Recuperado de:
<http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/anapoimacundinamarcapd20122015.pdf>
- Antonio Box Lorenzo, 2004, **Método de Radiación**. Recuperado de:
http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_didacticos/trigonometria_topografia/radiacion.htm
- ARBOLEDA VALENCIA, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua (3rd ed.). SANTA FE DE BOGOTÁ: NOMOS S.A.
- Cundinamarca, Contraloría de. 2016. AUDITORIA GUBERNAMENTAL CON ENFOQUE INTEGRAL MODALIDAD ESPECIAL AMBIENTAL - SENTENCIA RÍO BOGOTÁ - NO PRESENCIAL .ANAPOIMA: s.n., 2016. Recuperado de:
DANE. (2005). BOLETÍN CENSO GENERAL; (). BOGOTÁ: Recuperado de
https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/25035T7T000.PDF.
- **E.S.P., Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. 2015.** Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. <http://www.aguasdeltequendama.com/nuestros-servicios/>.
- GARCÉS PAZ. (2010) Obtención de la mínima dosis de reemplazo de policloruro de aluminio en aguas y aguas de Pereira. Tesis Química Industrial Pereira-Risaralda, Universidad Tecnológica de Pereira.

- LENNTECH. Recuperado de
<https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>
- LOPEZ CUALLA, R. A. (1999). Elementos de diseño de acueductos y alcantarillado (2nd ed.). BOGOTA COLOMBIA: ESCUELA DE INGENIEROS.
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC ISO 5667-3. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO.PARTE 3: DIRECTRICES PARA LA PRESERVACION Y MANEJO DE LAS MUESTRAS. Recuperado de:<http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000140-e3b67e5121/NTC-ISO%205667-03-2004.%20Directrices%20para%20la%20preservacion%20y%20manejo%20de%20muestras.pdf>
- Nueva resolución 0330, RESOLUCIÓN U.S.C. (2017). Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>
- Resolución A/RES/64/292. Asamblea General de las Naciones Unidas. Julio de 2010.
Recuperado de :
https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- ROMERO ROJAS, J. A. (2015). Purificación del agua (2nd ed.). COLOMBIA: ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA.
- SILVA GARAVITO, L. F. Diseño de plantas de purificación UNIVERSIDAD SANTO TOMAS.

