



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**REHABILITACION FILTRO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA LLUVIA  
DEL LABORATORIO UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA**

**DANIEL SANTIAGO PUERTO SOCHA**

**CÓDIGO: 504788**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C**

**NOVIEMBRE DE 2017**  
**REHABILITACION FILTRO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA LLUVIA**  
**DEL LABORATORIO UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA**

**DANIEL SANTIAGO PUERTO SOCHA**  
**CÓDIGO: 504788**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**  
**PREGRADO ACADEMICO**

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

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**BOGOTÁ D.C**  
**NOVIEMBRE DE 2017**



## Atribución-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-ND 2.5)

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

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.5/co/>

### Usted es libre de:



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

hacer un uso comercial de esta obra

### Bajo las condiciones siguientes:



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



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	2
2.1.	Antecedentes .....	2
2.2.	Justificación .....	4
3.	PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
3.1.	Planteamiento del problema .....	5
3.2.	Formulación del problema .....	5
4.	MARCO DE REFERENCIA.....	6
4.1.	Marco teórico.....	6
4.2.	Marco conceptual.....	7
4.3.	Marco legal.....	9
5.	OBJETIVOS .....	10
5.1.	OBJETIVO GENERAL.....	10
5.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	10
6.	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	11
7.	METODOLOGÍA .....	12
8.	INSTALACIONES Y EQUIPO REQUERIDO .....	13
9.	FILTACION LENTA DE ARENA .....	14
9.1.	Teoría de la filtración lenta de arena.....	14
9.2.	Condiciones del agua de entrada al sistema de filtración.....	15
9.3.	Operación y mantenimiento del sistema de filtración.....	16
9.4.	Criterios para el monitoreo y evaluación.....	16
9.5.	Ventajas de la filtración lenta.....	17
9.6.	Diseño de filtro lento de arena.....	17

10.	FILTRACIÓN ALTA TASA .....	21
10.1.	Descripción filtro alta tasa .....	21
10.2.	Ventajas del filtro tasa alta .....	22
10.3.	Diseño filtro alta tasa.....	23
10.4.	Retro lavado .....	26
11.	FILTRO DE ALTA TASA VS FILTRO LENTO DE ARENA .....	28
12.	CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO.....	30
12.1.	Construcción filtro tasa alta.....	30
12.2.	Descripción del filtro de tasa alta. ....	30
13.	PROCESO CONSTRUCTIVO DEL FILTRO DE ALTA TASA .....	41
14.	RESULTADOS .....	54
14.1.	Calculo de Caudal .....	56
14.2.	Ensayos de laboratorio .....	57
14.3.	Análisis de Resultados .....	69
15.	Inspección de la planta de tratamiento de agua lluvia de la universidad católica de Colombia 80	
16.	CONCLUSIONES.....	91
17.	Recomendaciones .....	94
18.	Bibliografía .....	95
19.	ANEXOS.....	98
19.1.	Anexo A. Plano ubicación del filtro construido. ....	98
19.2.	Anexo B. Renders de modelación en Inventor 2018.....	99
19.3.	Anexo C. Manual del filtro de alta tasa construido.....	1
	El resto del manual se encuentra en el anexo C. ....	1

19.4.	Anexo D. Hoja de cálculo del diseño del filtro alta tasa y filtro lento de arena en el programa Excel.....	2
19.5.	Anexo E. Modelación del filtro de alta tasa construido en el programa Inventor 2018....	2

## LISTADO DE FIGURAS

Ilustración 1. Planta de tratamiento año 2009.....	2
Ilustración 2. Planta de tratamiento año 2016.....	3
Ilustración 3. Filtro universidad Católica 2017.....	4
Ilustración 4. Filtro rápido por gravedad .....	21
Ilustración 5.Lavado de filtro tasa alta .....	23
Ilustración 6. Perdida de carga .....	27
Ilustración 7. Tubería perdida de carga. ....	27
Ilustración 8.Tanque tambor.....	31
Ilustración 9. Entrada tanque .....	31
Ilustración 10. Adaptador macho.....	32
Ilustración 11.Adaptador Hembra .....	32
Ilustración 12. Codo de 90° .....	33
Ilustración 13. Tubería PVC.....	33
Ilustración 14. Empaque.....	34
Ilustración 15. Unión Universal .....	34
Ilustración 16. Registro .....	35
Ilustración 17. Geotextil.....	36
Ilustración 18. Soldadura PVC .....	37
Ilustración 19. Limpiador PVC .....	37
Ilustración 20. Grava .....	38
Ilustración 21. Antracita .....	39
Ilustración 22. Arena .....	40
Ilustración 23. Tubería perdida de carga .....	40
Ilustración 24. Espina de pescado.....	41

Ilustración 25. Proceso de perforación Espina de pescado .....	42
Ilustración 26. Espina de pescado perforada.....	43
Ilustración 27. Tubería colectora .....	43
Ilustración 28. Tubería Afluyente.....	44
Ilustración 29. Tubería de retro lavado .....	45
Ilustración 30. Tubería perdida de carga .....	46
Ilustración 31. Tanque perforado.....	46
Ilustración 32. Tubería de efluente .....	47
Ilustración 33. Bloque de apoyo .....	47
Ilustración 34. Tapa de tanque.....	48
Ilustración 35. Geotextil .....	48
Ilustración 36. Lavado de Grava.....	49
Ilustración 37. Lecho filtrante de grava .....	49
Ilustración 38. Lecho filtrante de antracita .....	50
Ilustración 39. Arena de peña.....	51
Ilustración 40. Lecho filtrante de arena .....	51
Ilustración 41. Modelo filtro tasa alta.....	52
Ilustración 42. Filtro de alta tasa ensamblado.....	53
Ilustración 43. Registro de planta de aguas lluvias, Universidad Católica de Colombia.....	54
Ilustración 44. Conexión de suministro para filtro. ....	55
Ilustración 45. Color de la primera muestra.....	55
Ilustración 46. Balde 12 litros .....	56
Ilustración 47. Cronometro de precisión.....	56
Ilustración 48. Turbidimetro.....	58



Ilustración 49. Espectro Fotómetro .....	59
Ilustración 50. Multiparametrico .....	59
Ilustración 51. Probetas Antes y después del proceso de filtración .....	60
Ilustración 52. Tubería después Y antes del proceso de filtración .....	60
Ilustración 53. Vegetación planta de aguas lluvia.....	80
Ilustración 54. Bomba suministro.....	81
Ilustración 55. Tanque de almacenamiento .....	81
Ilustración 56. Cámara de quietamiento .....	82
Ilustración 57. Canaleta Parshall. ....	83
Ilustración 58. Floculador.....	83
Ilustración 59. Pared lateral floculador.....	84
Ilustración 60. Canal de conexión .....	84
Ilustración 61. Sedimentador.....	85
Ilustración 62. Sedimentador parte inferior .....	86
Ilustración 63. Filtro U.C.C.....	89
Ilustración 64. Malla del filtro U.C.C.....	90
Ilustración 65. Render1 .....	99
Ilustración 66. Filtro visualización de lechos filtrantes .....	100
Ilustración 67. Ampliación Lechos filtrantes.....	101
Ilustración 68. Perfil Filtro .....	102
Ilustración 69. Geotextil y malla del filtro.....	103
Ilustración 70. Tubería Afluyente.....	104
Ilustración 71. Detalle tubería afluyente.....	105
Ilustración 72. Tubería efluente.....	106

Ilustración 73. Detalle Tubería efluente ..... 107

Ilustración 74. Portada Manual..... 1

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Características de filtros .....	18
Tabla 2. Características Filtro lento de arena.....	19
Tabla 3. Diseño y resultados Filtro lento de arena.....	20
Tabla 4. Característica Filtro alta tasa.....	24
Tabla 5. Diseño Filtro tasa alta .....	25
Tabla 6. Alta tasa vs lento de arena. ....	29
Tabla 7. Datos Aforo.....	57
Tabla 8. Resultados Ensayos Dia2 .....	61
Tabla 9. Resultados Ensayo Dia3 Fuente: Autor. ....	62
Tabla 10. Resultado Ensayo Día 4.....	63
Tabla 11. Resultado Ensayo Día 5.....	64
Tabla 12. Resultado Ensayo Día 9.....	65
Tabla 13. Resultado Ensayo Día 10.....	66
Tabla 14. Resultado Ensayo Día 13.....	67
Tabla 15. Resultado Ensayo Día 14.....	68
Tabla 16. Delta de color Ensayo1 .....	69
Tabla 17. Delta de Color Ensayo 2.....	70
Tabla 18. Delta de Color Ensayo 3.....	70
Tabla 19. Delta de Color Ensayo 4.....	71
Tabla 20. Delta de Color Ensayo 5.....	71
Tabla 21. Delta de Color Ensayo 6.....	72
Tabla 22. Delta de Color Ensayo 7.....	72
Tabla 23. Delta de Color Ensayo 8.....	73
Tabla 24. Derivas de Color en todos los ensayos .....	73

Tabla 25. Delta de turbiedad Ensayo 1 .....	74
Tabla 26. Delta de turbiedad Ensayo 2 .....	75
Tabla 27. Delta de turbiedad Ensayo 3 .....	75
Tabla 28. Delta de turbiedad Ensayo 4 .....	76
Tabla 29. Delta de turbiedad Ensayo 5 .....	76
Tabla 304. Derivas de turbiedad de todos los ensayos.....	78
Tabla 31. Características recomendadas filtro alta tasa .....	87
Tabla 32. Comprobación de diseño filtro UCC .....	88

## 1. INTRODUCCIÓN.

Colombia es uno de los países con mayor número de recursos hídricos, por su ubicación geográfica presenta una precipitación anual de más de 3000 mm promedio por año, lo cual es elevando teniendo en cuenta que el promedio por año en sur américa es de 1600mm. Sin embargo, dicha abundancia de agua en el territorio nacional, es desperdiciada, contaminada y manejada sin ningún control eficiente. (blog, 2015)

Durante el desarrollo del presente documento se realizara un diagnóstico del filtro de la planta de tratamiento de agua lluvia de la Universidad Católica de Colombia, posteriormente un nuevo diseño y finalmente su construcción, la cual quedara en manos de la universidad Católica.

La universidad cuenta con una planta de tratamiento de agua lluvia, la cual no está en funcionamiento actualmente. La rehabilitación del filtro de la planta de tratamiento beneficiara académicamente a los futuros estudiantes, ya que al filtro se le adicionara un piezómetro el cual nos indica la pérdida del filtro, y nos ayuda a determinar los intervalos de tiempo para la limpieza del mismo.

Cuando se rehabilite la planta de tratamiento de agua completamente, se podrá realizar la captación, para usos sanitarios de la universidad beneficiando directamente en el consumo de agua económicamente y ambientalmente.

El diseño del filtro se realizará debido a que el actual, presenta rebose y no cumple con la capacidad optima de la planta. Se calculará el área del filtro con lo que podemos determinar la medida de cada capa de antracita, arena y grava.

## 2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

### 2.1. Antecedentes

Un estudio realizado en la Universidad Católica de Colombia en 2009 presenta en detalle el estado hidráulico y estructural de las unidades que conforman la planta, diseñando la cámara de aquietamiento y los canales de conducción además diagnosticando las demás estructuras con el fin de dejar la planta en funcionamiento a esa fecha. Parte de dicho estudio presenta varios análisis basándose en una investigación previa realizada en 1990 la cual tuvo como objetivo el diseño y construcción del sedimentador de la misma.

Ilustración 1. Planta de tratamiento año 2009.



Fuente: (Roncancio, y otros, 2009)

Ilustración 2. Planta de tratamiento año 2016.



Fuente: Autor.

Debido a la falta de seguimiento y adecuado mantenimiento no es posible establecer un intervalo de tiempo exacto en el cual la planta dejó de funcionar. Se puede estimar un lapso aproximado de 4 años en el cual la planta ha estado en desuso, puesto que a la fecha de inicio de los estudios de pregrado del autor (enero de 2012) la planta ya se encontraba deshabilitada.

Ilustración 3. Filtro universidad Católica 2017.



Fuente: Autor.

Actualmente el filtro que se encuentra en el laboratorio cuenta con un área de 60X60 cm con cuatro lechos de filtración grava gruesa, grava fina, arena y antracita.

## **2.2. Justificación**

Con el fin de que el filtro de la planta no se rebose, colmate y tenga una función óptima. Se cambiará por otro filtro el cual tendrá el beneficio de medir la pérdida hidráulica, para poder determinar cuándo se debe realizar el lavado del mismo.

La construcción de un nuevo filtro ayudara a los futuros estudiantes para poder observar el proceso de filtración de la planta. Debido a que se puede sacar muestras únicamente del proceso de filtración para comparar características físicas o químicas.



### **3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

#### **3.1. Planteamiento del problema**

La Universidad Católica de Colombia cuenta con una planta de tratamiento de agua junto a los laboratorios de ingeniería civil, la cual no está en funcionamiento desde hace varios años (la última adecuación que se realizó fue en el 2009 como trabajo de grado), se necesita rehabilitar para que los estudiantes puedan tener un mejor aprendizaje y desarrollar sus conocimientos respecto al proceso de potabilización convencional, ya que actualmente solo se puede evidenciar este proceso en salidas de campo, permitiéndoles observar que partes componen una planta (debido a que no en todos los municipios a los que se realiza la visita técnica se encuentra una planta tipo convencional) y el proceso por el cual es sometida el agua cruda, en este caso agua lluvia almacenada en el tanque subterráneo de los laboratorios.

#### **3.2. Formulación del problema**

¿Cómo poner en marcha la planta de tratamiento de agua para que los estudiantes de la Universidad Católica de Colombia puedan reconocer procesos fisicoquímicos producidos en estas estructuras?

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1. Marco teórico.

El agua, pocas veces se puede encontrar pura en la naturaleza, siempre lleva consigo gran cantidad de sustancias disueltas que van desde gases hasta compuestos químicos, de alto peso molecular (Cartes, y otros, 1991). Es por esto que surge la idea de construir La Planta de la Universidad Católica de Colombia siendo un diseño de tipo convencional lo cual considera una secuencia de sistemas y operaciones unitarias de tipo físico, químico y biológico (Aguasistec, 2016), con el fin de reducir la contaminación o características no deseadas del agua. Entre ellos uno de los primeros y previos al tratamiento como tal del agua es el de una filtración de elementos sólidos de gran volumen (cuando se necesita).

Iniciando el proceso se añaden coagulantes, químicos para lograr que las partículas de menor tamaño que aumentan la turbiedad del agua se atraigan entre sí creando flocúlos. Entre los procesos más importantes se encuentran los de floculación, coagulación, sedimentación, y filtración. En un análisis previo y visual se observó deficiencia en la última unidad de dicho proceso (sedimentación y filtración).

El sedimentador de la planta es de alta tasa, contaba con 30 placas paralelas inclinadas a 60° con la horizontal en acrílico, el cual trabajaba con un caudal de entrada de 0.8 L/s y evacuaba sus lodos.

El lodo es, por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos, su tratamiento y evacuación es, probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los ingenieros. (Macias, 2013)

Existen varios tipos de filtro implementados en las plantas de potabilización como lo son el filtro convencional, directo, con tierra diatomácea, lenta en arena, en la planta a rehabilitar se encuentra un filtro lento. (Rojas, 2009)

Se tienen dos aspectos básicos técnicos para la rehabilitación de la planta en su funcionamiento, como primera medida está la sanidad, eliminando organismos patógenos (capaces de producir enfermedades). (Carrillo, 2015) Otra de estas medidas es la estética; reducir o eliminar factores físicos tales como el color, olor, sabor,

turbiedad y demás aspectos que deben reducirse para que sea realmente reutilizable el recurso hídrico. (Macias, 2013)

#### **4.2. Marco conceptual**

Potabilización: Es el proceso que se le hace a cualquier agua para que pueda ser de consumo humano sin ningún tipo de restricción porque se encuentra absolutamente limpia de, por ejemplo, sólidos suspendidos, aglomeración, de coloides, de organismos patógenos, de hierro y manganeso, sedimentación y corrosión, entre otras cuestiones. Es un proceso muy eficiente, ya que disminuye notablemente enfermedades por el consumo de agua no apta. (Cartes, y otros, 1991)

Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP): Es un sistema de estructuras y sistemas de ingeniería con el objetivo de tratar el agua y lograr que sea del consumo humano, Hay muchas tecnologías en cuanto al proceso de tratamiento de agua potable, pero todas deben cumplir con los mismos principios. (Grace, 2016)

Agua cruda: Es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento de potabilización. (Encolombia, 2010)

Canaleta Parshall: Es muy útil en cuanto a la medición de caudal ya sea en la entrada o salida para una planta de tratamiento, es importante resaltar que la canaleta Parshall sirve también como método para la mezcla rápida de coagulantes cuando se requiera, si se mantiene en la garganta una velocidad entre 2.0 m/s y 7.0 m/s. (Arboleda, 2000)

Planta piloto (para Potabilización): Modelo para simular operaciones, procesos y condiciones hidráulicas de la planta de tratamiento, utilizando para este efecto el agua de la fuente de abastecimiento. (MinDesarrollo, 2000)

Coagulación: Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el

agua mediante la adición de coagulantes. (Brigard, 2007)

Dosificación: Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua. (Association, 2008)

Sedimentación: Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad. (Rojas, 1997)

Tiempo de retención hidráulica: Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil. (ROjas, 2006)

Turbiedad: Es la propiedad óptica que tiene una sustancia líquida o sólida, de diseminar en todas direcciones la luz que pasa por ella.

Características organolépticas: Las características o propiedades organolépticas de un cuerpo son todas aquellas que pueden percibirse de forma directa por los sentidos (todos ellos, no sólo la vista), sin utilizar aparatos o instrumentos de estudio. Serán por tanto los primeros datos que obtengamos de los ejemplares que estudiamos, aunque estos datos puedan variar con el tiempo o el origen de los ejemplares, por esta razón a la hora de definir el olor, color o sabor de un hongo se recurre a ciertas comparaciones con alimentos o sustancias de características comúnmente conocidas, que pueden no resultar correctas para todo el mundo. (Documentslide, 2012)

Vida probable de las estructuras: Tiempo de uso efectivo de alguna estructura dentro de un sistema, tienen la mayor influencia en la determinación de la vida útil de cualquier proyecto de infraestructura. (Romero, y otros, 2005)

### **4.3. Marco legal.**

**Resolución 1096 de 2000:** “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS”. (Acodal, 2005)

**Artículo 366.** “El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Sera objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación”. (Acodal, 2005)

**Decreto 3930 de 2010.** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. (Acodal, 2005)

**Decreto 1594 del 22 de diciembre de 1984:** Reglamenta los usos del agua y el manejo de los residuos líquidos. (Acodal, 2005)

**Ley 99 de 1993:** Definió la naturaleza jurídica de las Corporaciones Autónomas Regionales con cuyo amparo, CORPORINOQUIA ejecuta las funciones de autoridad ambiental en la Orinoquia Colombiana, conformada por los Departamentos de Casanare, Arauca y Vichada y los municipios de Guayabetal, Quetame, Cáqueza, Chipaque, Choachí, Fosca, Ubaque, Paratebueno, Gutierrez y Une en Cundinamarca; y los municipios de Pajarito, Paya, Pisba, Labranza grande y Cubará en Boyacá, en virtud de las cuales ejerce la administración, conservación, fomento y reglamentación de las aguas superficiales y subterráneas, así como el estudio, seguimiento y monitoreo, control, manejo y conservación de las cuencas hidrográficas, con el fin de procurar la renovabilidad del recurso y el mejor servicio a los usuarios del mismo, en los aprovechamientos agropecuarios, industriales y domésticos. (bogota, 2008)

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar el diseño y construcción del filtro de la planta de agua lluvia de Universidad Católica de Colombia.

### **5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Observar y determinar los problemas que tiene la planta de tratamiento actualmente.
- Realizar y comparar el diseño de un filtro lento de arena y un filtro tasa alta.
- Construir el nuevo filtro de la planta de tratamiento para que tenga su mejor funcionamiento.
- Mostrar e identificar las características del agua una vez construido el nuevo filtro de la planta de tratamiento.
- Generar y presentar, el manual de manejo y funcionamiento del filtro para su respectivo uso y análisis en las cátedras impartidas en la universidad respecto a este tema.

## **6. ALCANCES Y LIMITACIONES.**

El tiempo estimado para cumplir con los objetivos propuestos y cumplir las expectativas del proyecto es de aproximadamente cuatro meses durante el periodo 2017-2, con el que se pretende hacer la entrega del diagnóstico inicial y final del estado de la planta de tratamiento de agua, también detectar las posibles fallas en infraestructura, procesos y métodos mediante las inspecciones visuales y pruebas técnicas.

El límite de este proyecto lo definen la cantidad de recursos disponibles y el interés que se tenga para el mejoramiento de la calidad del aprendizaje práctico en los laboratorios para los estudiantes de ingeniería civil.

## 7. METODOLOGÍA

- Recopilación de información de la planta de tratamiento de la universidad católica de Colombia.
- Identificar el tipo de diseño que presenta el filtro de la planta.
- Se realizará un análisis que comprende los siguientes ensayos: pH, turbiedad, color, temperatura, conductividad, alcalinidad, acidez, solidos totales, solidos volátiles, solidos suspendidos, cantidad de hierro, cantidad de aluminio, test de jarras.
- Con la información recolectada durante el tiempo se diseñará el filtro con las alternativas de optimización.
- Se adquirirá los materiales correspondientes para construir el filtro diseñado.
- Se construirá el filtro diseñado con ayuda del laboratorista correspondiente.
- Se realizará un segundo análisis que comprende los siguientes ensayos con el nuevo filtro los cuales son: pH, turbiedad, color, temperatura, conductividad, alcalinidad, acidez, solidos totales, solidos volátiles, solidos suspendidos, cantidad de hierro, cantidad de aluminio, test de jarras.
- Se comprobará que los valores anteriores cumplan según IRCA con los ítems a evaluar.
- Se realizará el manual para dejarlo a disposición de la universidad y facilitar el uso de la planta.
- Se verificará y comparara el diseño para determinar si se generara un cambio para la calidad del agua.



## **8. INSTALACIONES Y EQUIPO REQUERIDO**

Las instalaciones requeridas son el laboratorio de plantas para realizar los ensayos de calidad de agua. Se requerirá un negocio de soldadura, para poder construir el filtro.

El equipo requerido es el espectrofotómetro (programas número 265, 10, 225, 220, 120) conos Imhoff, equipo de test de jarras, instrumentos de laboratorio y reactivos necesarios. Un computador, impresora y papel de impresión.

EL equipo requerido para la construcción del filtro dependerá del material en el cual se vaya a construir las paredes del mismo.

## **9. FILTACION LENTA DE ARENA**

### **9.1. Teoría de la filtración lenta de arena**

El filtro lento se caracteriza por ser un sistema sencillo, limpio y a la vez eficiente para el tratamiento de agua. Su simplicidad y bajo costo de operación y mantenimiento lo convierten en un sistema ideal para implementar en zonas rurales y pequeñas comunidades, teniendo en cuenta además que los costos por área de terreno son comparativamente menores en estas zonas y las viviendas son autoconstruidas. La filtración lenta, como se ha mencionado, es un proceso que se desarrolla en forma natural, sin la aplicación de ninguna sustancia química, pero requiere un buen diseño, así como una juiciosa operación y mantenimiento periódico para no afectar la capa microbológica del filtro ni reducir la eficiencia de remoción microbológica y fisicoquímica. (Mendez, 2002)

Huisman y Wood describieron en 1974 el método de desinfección por medio de la filtración lenta, como la circulación del agua cruda a baja velocidad a través de un manto poroso de arena de diferentes granulometrías. Durante el proceso, las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas durante un periodo de tiempo, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples, las cuales son llevadas en solución o permanecen como material inerte hasta un subsecuente retiro o limpieza. De estos estudios preliminares, se generaron las condiciones de diseño hidráulico de los filtros según su velocidad de filtración (Perez, 1992)

El filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua, siempre y cuando esta maneje unos indicadores medios, pero si se diseña y opera apropiadamente, puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua. La filtración lenta de arena (FLA) consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que destruyen los microorganismos patógenos presentes en el agua no apta para consumo humano. Por esta característica, se puede considerar como una tecnología limpia que purifica el agua sin crear una fuente adicional de contaminación para el ambiente y el consumidor. (Arvoleda, 2000).

El agua cruda que ingresa a la unidad permanece sobre el medio filtrante entre 3 y 12 horas, dependiendo de las velocidades de filtración adoptadas. En ese tiempo, las partículas más pesadas que se encuentran en suspensión se sedimentan y las partículas más ligeras tienden a aglutinarse, lo que facilita su remoción posterior durante el tratamiento. Durante el día, bajo la radiación solar directa, se puede producir el crecimiento de algas, las cuales absorben dióxido de carbono, nitratos, fosfatos y otros

nutrientes del agua para formar material celular y oxígeno. El oxígeno así formado se disuelve en el agua, entra en reacción química con las impurezas orgánicas y hace que estas sean más asimilables por los microorganismos establecidos en la capa de origen orgánico (Perez, 1992).

En la capa superior de la superficie filtrante correspondiente a la arena fina, se debe formar una capa constituida por material de origen orgánico, conocida con el nombre de schmutzdecke o “piel de filtro”, a través de la cual debe pasar el agua antes de llegar al propio medio filtrante. Este schmutzdecke o capa biológica está formado principalmente por algas y otras numerosas formas de vida, como plankton, diatomeas, protozoarios, rotíferas y bacterias contenidas en el agua problema, las cuales se estabilizan en los poros de la granulometría de los medios filtrantes por el efecto de la gravedad. La acción intensiva de estos microorganismos atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua. Al mismo tiempo se degradan compuestos nitrogenados, se oxigena el nitrógeno, se remueve algo de color y una considerable proporción de partículas inertes en suspensión es retenida por cernido (Huisman, 1974).

### **9.2. Condiciones del agua de entrada al sistema de filtración.**

- Temperatura: dado que en el filtro se desarrolla en un proceso biológico, se ve afectado por las variaciones de temperatura y puede reducir el 50% de su eficiencia cuando se opera a menos de 5°C (Decreto 1594, 1984).
- Concentración de nutrientes: la velocidad de desarrollo de la formación biológica en el filtro depende de la concentración de nutrientes en el agua, debido a que esta es la fuente de alimentación de los microorganismos en la capa orgánica en formación. (Romalho, 1990)
- Concentración de algas: las algas son importantes en la formación del schmutzdecke; sin embargo, su crecimiento excesivo debido a la elevada disponibilidad de luz y nutrientes, como presencia de fosfatos y nitratos en el agua, puede crear serios problemas de operación y en la calidad de agua tratada.
- El control de la formación de algas es difícil, pero puede solucionarse mediante el control de nutrientes en la fuente y del efecto de la luz que cubre los reservorios de agua cruda. (SCIELO, 2016)
- Concentraciones altas de turbiedad: es limitada la capacidad de los filtros lentos para reducir la turbiedad cuando esta es muy elevada. Ello se debe a que una alta turbiedad causa enlodamiento de la superficie del filtro, disminuye la capacidad de formación de la capa biológica y reduce drásticamente la duración de la carrera de filtración, lo cual

además de afectar la calidad del agua producida, incrementa los costos de operación y mantenimiento. (Lamotte, 2015)

### **9.3. Operación y mantenimiento del sistema de filtración.**

Las tareas de operación y mantenimiento del sistema de filtración comprenden los ajustes y medición del caudal, monitoreo de la calidad del agua producida, limpieza de la superficie de la arena, que se efectúa por Arena El filtro de lento Camilo Alberto Torres Parra - Sonia Villanueva Perdomo • Página: 2 4 “raspado” del lecho en su capa de arena a nivel superior (aproximadamente 5 cm de arena), lavado y almacenamiento de la arena, y la posterior reconstrucción del lecho filtrante. Este periodo de mantenimiento es variable y se relaciona directamente con la calidad del agua de entrada al sistema, razón por la cual puede variar entre semanas y meses, dependiendo de la disminución del caudal a la salida del filtro (Mendez, 2002).

La adecuada operación y mantenimiento determinan la eficiencia del filtro, principalmente en la etapa de puesta en marcha o inicio de la operación del filtro nuevo. Durante la operación normal, es importante el estado de maduración de la capa biológica, la frecuencia de los raspados, el periodo de duración de cada operación de limpieza y la forma en que se efectúe el re arenado del filtro (Freitas, 2017)

Por lo menos cada 2 años se debe realizar el lavado completo del filtro de la siguiente manera: se retira con mucho cuidado la arena y la grava para no mezclarlas; se lava la arena; se cepillan las paredes del tanque; se reacomoda el drenaje, y se vuelve a colocar el lecho de arena y la grava. Si ha habido pérdida de arena y grava, será necesario reponerla. Si hay grietas en las paredes o en el fondo, deberán resanarse antes de colocar el lecho filtrante (Perez, 1992).

Como barrera de protección entre un agua segura y un agua potable, se recomienda que en el agua de salida de los sistemas de filtración se aplique una cloración controlada para disminuir el riesgo de presencia de microorganismos patógenos presentes y así asegurar la calidad del agua a consumir.

### **9.4. Criterios para el monitoreo y evaluación.**

La turbiedad, el pH y la contaminación por microorganismos patógenos del agua son los principales parámetros para la caracterización del agua superficial en las áreas rurales y de estos depende su tratamiento y los cuidados que se deben tener en cuenta en la ronda de los nacimientos de agua. Por lo anterior, es importante que cuando un agua tiene una turbiedad muy alta y presencia de material orgánico, el sistema se pueda combinar con un pre filtro o sedimentador, ya que con estos pretratamientos se busca

reducir la contaminación del recurso al momento de entrar al sistema de filtración. (Kazmi, 2017)

Cuando solo se cuenta con un filtro lento, este debe cumplir con el ingreso de un agua problema de hasta 20 unidades nefelométricas de turbiedad para que el sistema no se colmate y disminuya su vida útil (Mendez, 2002).

Para ejercer un control sobre el sistema de filtración, es importante determinar un cronograma de muestreos tanto del agua de entrada como de salida del sistema y constatar dichos resultados con la legislación ambiental vigente. Se debe considerar una serie de análisis mínimos relacionados con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que permitan:

- Evaluar la calidad del agua problema.
- Establecer y supervisar el rendimiento del sistema de filtración.
- Desarrollar criterios para realizar los ajustes pertinentes al filtro.
- Determinar cronograma de mantenimiento.

#### **9.5.Ventajas de la filtración lenta.**

La mayor ventaja del sistema está en su simplicidad, que permite su utilización por parte de los moradores de zonas rurales de países en vía de desarrollo. Su construcción, operación y mantenimiento son sencillos. Tiene, por último, la ventaja de generar cambios organolépticos en la calidad del agua para consumo humano (Perez, 1992).

#### **9.6.Diseño de filtro lento de arena.**

Para comenzar con el diseño del filtro debemos especificar la tasa de filtración.

La tasa de filtración debe ser cuidadosamente escogida teniendo en cuenta las características del lecho filtrante, las condiciones de operación de la planta y la calidad del agua que se desea producir. No obstante, la existencia de recomendaciones de tipo general, se considera que la forma más racional de determinar la tasa de filtración es mediante la experimentación en plantas piloto que trabajen en condiciones similares a las que se requiere que prevalezcan en el proyecto. Para ello nos remitimos a el libro de Jairo Romero en la cual se presentan la tabla 6.3 con valores de tasa filtrante.

**Tabla 1. Características de filtros**

**Cuadro 6.3**  
Principales características de filtros

Característica	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	Filtros de alta tasa
Tasa de filtración	2-5 (<12 m/d)	120 m/d	180 - 480 m/d
Medio	Arena	Arena	Arena y antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado: fino a grueso	Estratificado: grueso a fino
Duración carrera	20-60 días	12-36 horas	12 - 36 horas
Pérdida de carga	Inicial: 0,6 m final: 1,2 m	Inicial: 0,3 m final: 2,4-3 m	Inicial: 0,3 m final: 2,4-3 m
Agua de lavado	No usa	2-4% del agua filtrada	6% del agua filtrada
Profundidad del medio	0,6 - 1,0 m	0,60-0,75 m	Antracita 0,4 - 0,6 m arena 0,15 - 0,3 m
Profundidad de grava	0,30 m	0,30-0,45 m	0,30 - 0,45 m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada Falsos fondos	Tubería perforada Falsos fondos

**Fuente: (Jairo, Romero)**

Procedemos a sacar el área del filtro con la fórmula  $A = \frac{Q}{TF}$

A: Área

Q: Caudal

TF: tasa de filtración

En nuestro caso se asume con criterios de diseño una tasa de filtración de 12m/d.

En la siguiente tabla se observa las características del filtro lento de arena.

**Tabla 2. Características Filtro lento de arena.**

Lento de arena		
Característica	Valor	Unidad
tasa de filtración	2-12	m/d
Medio	Arena	-
Distribución del medio	No estratificado	-
Duración Carrera	20-60	Días
Perdida de carga	Inicial: 0.6 Final: 1.2	m
Agua de lavado	No usa	Agua filtrada
Profundidad del medio	Arena:0.6-1	m
Profundidad de grava	0.3	m
Drenaje	Tubería perforada	-

**Fuente: Autor**

Luego se selecciona por criterio la altura de las capas siguiendo las recomendaciones del libro de Jairo Romero, el cual en la Tabla3. Característica de los filtros da el parámetro de espesor de cada material, en este caso grava y arena los cuales se presentan en la siguiente tabla.

El rango de la tasa de filtro para un filtro lento de arena se encuentra entre 2-12 m/d. Se elige 12 m/d ya que es la velocidad más grande que podemos obtener, con la cual obtendremos un área más pequeña.

El caudal del filtro se toma respectivamente igual al caudal que puede suministrar la planta de tratamiento de agua lluvia de la universidad católica de Colombia.

$$Area = \frac{Caudal}{Tasa\ de\ filtracion}$$

$$A = \frac{0.005 \frac{m^3}{s}}{0.0014 \frac{m}{s}}$$

$$A = 3.5 m^2$$

Ya que se va a tomar un tanque circular, se procede a sacar el diámetro.

$$Diametro = \sqrt{\frac{4 * Area}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 3.5m^2}{\pi}}$$

$$D = 2.1115 m$$

El rango de el espesor de arena se encuentra entre 0.6-1 metro, se elige 0.6 metros, para tener un menor costo en el material.

Para este tipo filtro no se requiere antracita.

El espesor de la grava se encuentra en un rango de 0.3 fijo según las recomendaciones del libro de Romero Rojas 2006.

La altura libre mínima o borde libre mínimo corresponde a 0.2 metros, tomamos 0.2 metros.

$$\text{Altura total} = \text{Altura de arena} + \text{Altura de grava} + \text{borde libre}$$

$$\text{Altura total} = 1.4 \text{ metros}$$

**Tabla 3. Diseño y resultados Filtro lento de arena**

Diseño Filtro lento de arena

Tasa de filtración	12	m/d	0,0014286	m/s
Caudal	5	l/s	0,005	m3/s
Área	3,50	m2	35000,00	cm2
Diámetro	2,1115	m	211,15	cm
Altura de Arena	0,60	m	60	cm
Altura antracita	0,00	m	0	cm
Altura grava	0,30	m	30	cm
Altura Libre min	0,50	m	50	cm
Altura total	1,40	m	140	cm

**Fuente: Autor**



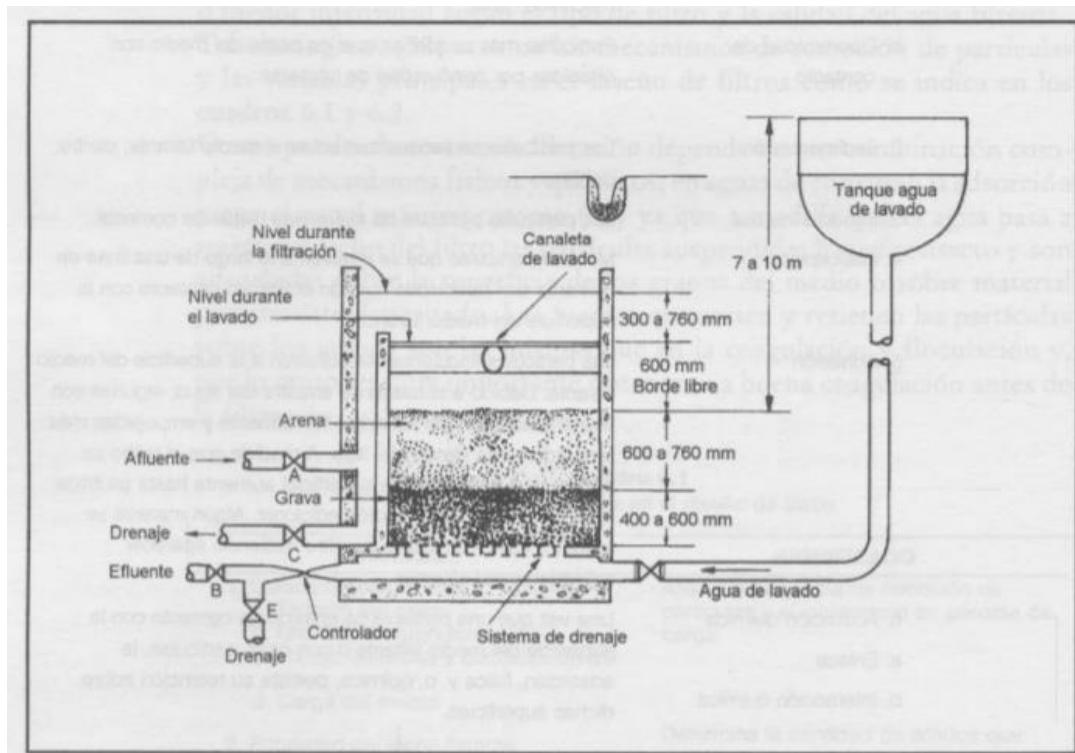
## 10. FILTRACIÓN ALTA TASA

### 10.1. Descripción filtro alta tasa

En este tipo de filtros se incrementan considerablemente las cargas orgánica e hidráulica que se aplican al lecho, con lo cual su eficiencia en la remoción de materia orgánica es más baja comparada a los filtros de tasa baja, encontrándose esta entre el 65 y 85%. Se llega a presentar poca nitrificación en el proceso. Se las suele utilizar como unidades de primera etapa antes de otros procesos biológicos o antes de filtros percoladores de segunda etapa. Las profundidades del lecho son por lo general menores (0.9 – 1.8 m), y siempre se utiliza la recirculación para garantizar una carga hidráulica constante, cuya tasa está entre 1 y 2. Las cargas orgánicas varían entre 0.32 y 1.0 kg DBO5/(día\*m3) de lecho y las cargas hidráulicas entre 9.4 y 37.0 m3/(día\*m2). (Breuker, 2007)

El filtro por gravedad es el filtro más usado en tratamiento de aguas. La operación de filtración supone dos etapas: filtración y lavado las dos etapas se identifican en la siguiente figura.

Ilustración 4. Filtro rápido por gravedad



Fuente: (Rojas, 2006)

En un filtro de alta tasa, el final de la etapa de filtración o de carrera de filtro se alcanza cuando los sólidos en suspensión en el efluente comienzan a aumentar, cuando la pérdida es tan alta que el filtro ya no produce agua a la tasa requerida, usualmente 2.4 metros de pérdida o cuando su uso es de más de 36 horas.

Cuando se presentan estas condiciones, es conveniente lavar el filtro, para remover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante y para recuperar su capacidad de desinfección.

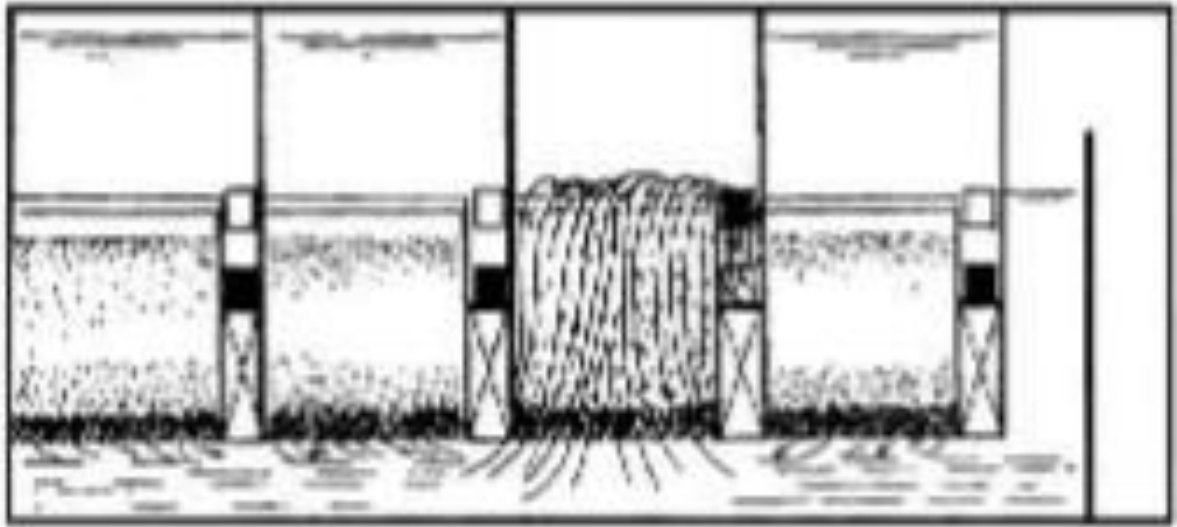
En mi caso este filtro se va a lavar por medio de una tubería en la parte inferior la cual inyecta el agua ascendentemente, la cual estará controlada por un manómetro el cual nos dará la pérdida en el punto.

### **10.2. Ventajas del filtro tasa alta.**

Los filtros de alta tasa se consideran como tecnología apropiada debido a que reúnen las siguientes ventajas sobre otros sistemas de filtración en uso:

- No requieren una carga hidráulica muy grande para operar. Los filtros de tasa constante operan con una carga hidráulica de 1,80 a 2 metros para completar una carrera de operación de 40 a 50 horas en pro medio. En estas mismas condiciones, normalmente una batería de filtros operando con tasa declinante requiere una carga similar a la que necesitaría si estuviera operando con tasa constante, dividida por el número de filtros que componen la batería.
- No tienen galería de tubos. El transporte del agua decantada, filtrada, el agua para el retro lavado de los filtros y el desagüe del agua de lavado se efectúan mediante canales. En la figura 51 se puede observar un sistema pequeño que consta de seis filtros de arena sola.
- No se requiere tanque elevado ni equipo de bombeo para efectuar el retro lavado de un filtro. A través del canal de interconexión y debido a un especial diseño hidráulico del sistema, el agua producida por lo menos por tres filtros a una unidad. Se puede observar este proceso cuando el falso fondo actúa como canal de interconexión como se presenta en la figura.

### Ilustración 5. Lavado de filtro tasa alta



Fuente: [http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2\\_cap5.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap5.pdf)

#### 10.3. Diseño filtro alta tasa.

Como en el diseño del filtro lento de arena se comienza por determinar la tasa de filtración.

Esta tasa que la determinamos según la tabla 3. (Características de los filtros) también se puede calcular con la siguiente fórmula.

$$Tasa\ filtracion = \frac{Fuerza\ impulsora}{Resistencia\ de\ filtro}$$

(Rojas, 2006) Ecuación 6.1

Procedemos a sacar el área del filtro con la fórmula  $A = \frac{Q}{TF}$

A: Área

Q: Caudal

TF: tasa de filtración

En la siguiente tabla se observa las características del filtro tasa alta.

**Tabla 4. Característica Filtro alta tasa.**

Alta tasa		
Característica	Valor	Unidad
tasa de filtración	180-480	m/d
Medio	Arena y Antracita	-
Distribución del medio	Estratificado: grueso a fino	-
Duración Carrera	12-36	Horas
Perdida de carga	Inicial: 0.3 Final: 2.4-3	m
Agua de lavado	6%	Agua filtrada
Profundidad del medio	Antracita: 0.4-0.6 Arena: 0.15-0.3	m
Profundidad de grava	0.3-0.45	m
Drenaje	Tubería perforada Falso Fondo	-

Fuente: Autor

Luego se selecciona por criterio y tomando las recomendaciones del libro de Jairo Romero Rojas 2006 en la Tabla 3. Características de los filtros, se encuentra el espesor recomendado para cada material. En este caso grava y arena los cuales se presentan en la siguiente tabla.

El rango de la tasa de filtro para un filtro lento de arena se encuentra entre 180-480 m/d. Se elige 350 m/d, con el cual se obtendrá un valor medio del área para el tanque.

El caudal del filtro se toma respectivamente igual al caudal que puede suministrar la planta de tratamiento de agua lluvia de la universidad católica de Colombia, 5 l/s.

$$Area = \frac{Caudal}{Tasa\ de\ filtracion}$$

$$A = \frac{0.005 \frac{m^3}{s}}{0.042 \frac{m}{s}}$$

$$A = 0.12 m^2$$

Ya que se va a tomar un tanque circular, se procede a sacar el diámetro.

$$Diametro = \sqrt{\frac{4 * Area}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.12m^2}{\pi}}$$

$$D = 0.3910 \text{ m}$$

El rango de el espesor de arena se encuentra entre 0.15-0.30 metros, se elige 0.15 metros, para tener un menor costo en el material.

Para este tipo filtro el rango de la antracita varía entre 0.4 – 0.6 metros. Tomamos 0.4 metros.

El espesor de la grava se encuentra en un rango de 0.3 -0.45 metros según las recomendaciones del libro de Romero Rojas 2006. Se toma 0.45 metros de espesor de lecho.

La altura libre mínima o borde libre mínimo corresponde a 0.2 metros, tomamos 0.2 metros. (temprime, 2016)

$$\textit{Altura total} = \textit{Altura de arena} + \textit{Altura de grava} + \textit{borde libre}$$

$$\textit{Altura total} = 1.20 \text{ metros}$$

Tabla 5. Diseño Filtro tasa alta

Diseño Alta tasa

Tasa de filtración	350	m/d	0,042	m/s
Caudal	5	l/s	0,005	m3/s
Área	0,12	m2	1200,00	cm2
Diámetro	0,3910	m	39,10	cm
Altura de Arena	0,20	m	15	cm
Altura antracita	0,40	m	30	cm
Altura grava	0,30	m	45	cm
Altura Libre min	0,20	m	50	cm
Altura total	1,20	m	140	cm

Fuente: Autor.

#### 10.4. Retro lavado

El lavado de filtros consiste en hacer pasar agua ascensionalmente a través del lecho filtrante, a una velocidad tal que los granos del medio filtrante se muevan a través del flujo ascensional, se froten unos contra otros y se limpien de los depósitos de mugre formados sobre ellos. La velocidad ascensional del agua es de 10-14 mm/s, hace que el lecho filtrante se expanda a un espesor mayor que el lecho en reposo en un valor generalmente menor del 40%. (ROjas, 2006).

Según Kawamura, a 20°C, para arena y antracita tipas usadas para filtros, se tiene

$$Vb > 5mm/s$$

(Kawamura, 2000)

Para filtros de alta tasa con áreas no tan considerables y bajo suministro, se puede determinar una pérdida de carga significativa, si el tiempo de retención es mayor a 36 horas. (Power Efficiency and EMI Attenuation Optimization in Filter Design, 2017)

Ya que el diámetro de la tubería para el retro lavado es de ½’’ se procede a hallar el caudal con el que se debe hacer el lavado.

$$CAudal = Area\ de\ tubería * Velocidad\ de\ lavado$$

(Mott, 2006)

Velocidad de lavado = 5mm/s = 0.005m/s

Diámetro = ½’’ = 0.0127 metros

$$A = \frac{\pi * Diámetro^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0.0127m^2}{4}$$

$$A = 0.00012667\ m^2$$

$$Q = 0.005 \frac{m}{s} * 0.00012667m^2$$

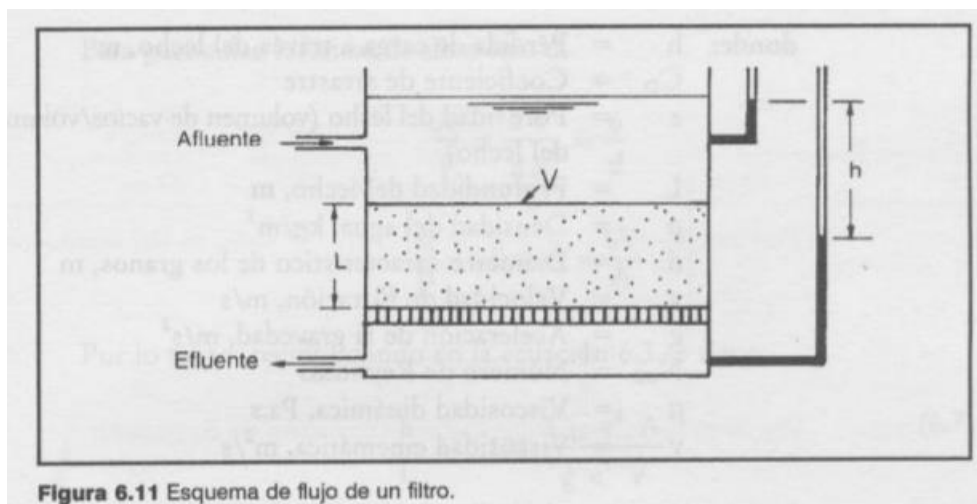
$$Q = 6.33x10^{-7} \frac{m^3}{s} = 0.000633 \frac{Litros}{segundo}$$

El Caudal para realizar el retro lavado es de 0.000633 litros/segundo.

Para revisar la pérdida de carga se instala una manguera transparente de lavadora como se ve en la **Ilustración 21**.

Esta manguera tiene unas marcas las cuales van divididas por 1 centímetros como se ve en la **Ilustración 7**.

Ilustración 6. Pérdida de carga



Fuente: (Rojas, 2006)

$H$  = pérdida de carga

Para hallar la pérdida se mira la diferencia entre la altura de la lámina de agua dentro del filtro y la altura que marca la manguera por fuera del filtro.

Ilustración 7. Tubería pérdida de carga.



Fuente: Autor

## 11. FILTRO DE ALTA TASA VS FILTRO LENTO DE ARENA

El filtro lento de arena y el filtro de alta tasa tiene beneficios similares a comparación de otros filtros.

Estos filtros tienen una simplicidad bastante grande, la cual permite su utilización en zonas rurales o laboratorios.

Su construcción, operación y mantenimiento son sencillos; A comparación de grandes plantas las cuales cuentan con mínimo 2 filtros, para su mantenimiento y resiliencia. Los dos filtros deben ser suministrados con turbiedad entre 20 a 30 UNT (Catolica, 2015)

**El filtro de tasa alta** tiene beneficios respecto a el filtro de arena los cuales son:

- EL costo de construcción se puede disminuir hasta un 50% debido a que su área siempre será menor.
- Se obtiene filtración de tasa constante sin controladores de caudal, si el caudal total de la planta permanece constante.
- Cuando se hace el proceso de retro lavado, el nivel del agua sube o baja gradualmente en el filtro hasta que se obtiene la energía requerida para impulsar el flujo. Por lo tanto, los cambios en la tasa de filtración son muy suaves y no se disturba la operación del filtro ni se daña la calidad del efluente.
- Su tasa de filtración es Mayor lo cual nos permite una velocidad mayor en el filtro, evitando taponamientos.
- El tiempo de retención del filtro es de máximo 36 horas, mientras que el filtro de tasa lenta es de mínimo 20 días.

**El filtro lento de arena** Tiene beneficios respecto a el filtro de alta tasa

- El filtro lento no tiene dificultad con alto contenido de turbiedad.
- El filtro lento de arena no necesita un control continuo o riguroso, su mantenimiento no es tan constante como el filtro de tasa alta.
- Este filtro debe estar en continuo uso, ya que no se puede usar como recipiente de almacenamiento.
- No tiene la facilidad de hacer un retro lavado, para su limpieza, toca raspar la parte superficial del lecho filtrante superior.

En la siguiente tabla se comparan algunas características entre los filtros.



Tabla 6. Alta tasa vs lento de arena.

	Filtro Alta tasa	Filtro Lento de arena
Característica	Valor	Valor
tasa de filtracion	180-480 m/d	2-12 m/d
Medio	Arena y Antracita	Arena
Distribucion del medio	Estratificado: grueso a fino	No estratificado
Duracion Carrera	12-36 Horas	20-60 Dias
Perdida de carga	Inicial: 0.3 Final: 2.4-3	Inicial: 0.6 Final: 1.2
Agua de lavado	6% Agua filtrada	No usa
Profundidad del medio	Antracita: 0.4-0.6 m Arena:0.15-0.3 m	Arena:0.6-1 m
Profundidad de grava	0.3-0.45 m	0.3 m
Drenaje	Tuberia perforada Falso Fondo	Tuberia perforada

Fuente: Autor

## 12. CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO

### 12.1. Construcción filtro tasa alta.

Al tener gran variedad de filtros, se tienen diversas maneras para la construcción de un filtro, según su necesidad, tamaño, practicidad entre otros.

Analizando los 2 diseños presentados anteriormente, filtro tasa alta y filtro lento de arena; se decide construir el filtro de tasa alta.

Comparando estas dos posibilidades, se observa que el filtro de tasa alta es más conveniente por:

- La duración de la carrera, es mucho menor en el filtro de tasa alta, lo cual es conveniente para procesos académicos, en los cuales necesitamos los datos de una manera más eficaz.
- En estos momentos el laboratorio de planta de agua lluvia de la universidad católica no cuenta con el área que ocupa el filtro lento de arena, debido a que es 30 veces más grande que el filtro de alta tasa.

$$\text{Área filtro alta tasa} = 0.12m^2$$

$$\text{Área filtro lento de arena} = 3.5m^2$$

- Podemos realizar el retro lavado en el filtro de alta tasa y se puede observar la pérdida de carga que se tenga en cualquier momento con el manómetro instalado en su afluente.

### 12.2. Descripción del filtro de tasa alta.

Por procesos constructivos se realiza el filtro de alta tasa con un área circular, esto va a ayudar con la rapidez de su construcción, a continuación, se indicará los materiales y accesorios que se utilizaron para la construcción.

- Tanque tambor: Tanque plástico de alta densidad con capacidad para 100 L con tapa, debido que si presenta reboses poder suplir este problema con facilidad.

Cantidad :1

Precio: \$150.000

Ilustración 8. Tanque tambor



Fuente: Autor

- Entrada tanque: Diámetro nominal de 1 pulgada.

Cantidad: 1

Precio: \$5.000

Ilustración 9. Entrada tanque



Fuente: <http://www.plasticosvicar.com.ar/plasticos-linea-aguada.html>

- Adaptador macho: Diámetro Nominal 1 pulgadas PVC.

Cantidad:4

Precio: \$1.500 Precio total: \$6.000

Ilustración 10. Adaptador macho



Fuente: <http://www.plasticosvicar.com.ar/plasticos-linea-aguada.html>

- Adaptador hembra: Diámetro nominal 1 pulgada PVC.

Cantidad:4

Precio: \$1500 Precio total: \$6000

Ilustración 11. Adaptador Hembra



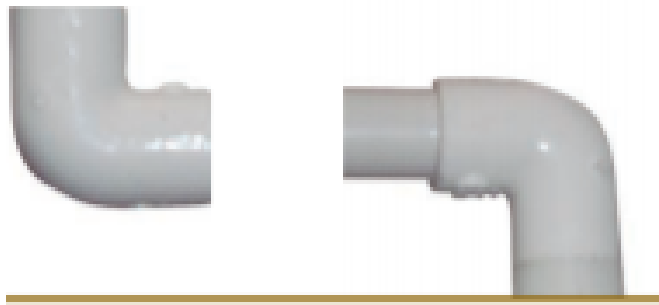
Fuente: <http://www.plasticosvicar.com.ar/plasticos-linea-aguada.html>

- Codo de 90°: Diámetro Nominal de 1 pulgada estará ubicado en línea de entrada al filtro.

**Cantidad:8**

**Precio: \$4.000**

Ilustración 12. Codo de 90°



Fuente: <http://www.plasticosvicar.com.ar/plasticos-linea-aguada.html>

- Tubería PVC: Diámetro nominal 1 pulgada 2 metros de tubería marca pavco.  
Cantidad: 2 metros  
Precio metro: \$4000      Precio total: \$8000

Ilustración 13. Tubería PVC



Fuente: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/>

- Empaques: Diámetro Nominal 1 pulgada, evitan las fugas en el tanque.  
Cantidad: 3  
Precio Unitario: \$1.000    Precio total: \$3.000

Ilustración 14. Empaque



Fuente: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/>

- Unión universal: Diámetro nominal 1 pulgada PVC se utiliza en la acometida de suministro de agua sin tratar y conecta con los accesorios de línea de entrada al filtro.  
Cantidad: 1  
Precio: \$2.400

Ilustración 15. Unión Universal



Fuente: <http://www.plasticosvicar.com.ar/plasticos-linea-aguada.html>

- Registro: Diámetro nominal 1 pulgada conexión en afluente y efluente.  
Cantidad:2  
Precio: \$18.000      Precio total: \$36.000

Ilustración 16. Registro



Fuente: Autor

- Geotextil: tela tejida de geotextil ancho de orificios 5 mm de color verde, permite el drenaje, Ancho 80 cm.  
Cantidad: 3m lineal  
Precio total: \$30.000

Ilustración 17. Geotextil



Fuente: Autor



- Soldadura líquida PVC: Para uniones y acoples, marca ENar.  
Cantidad: 2  
Precio: \$2.000 Precio Total: \$4.000

Ilustración 18. Soldadura PVC



Fuente: Autor

- Limpiador PVC: Limpiador para uniones y acoples, marca pavco.  
Cantidad: 2  
Precio: \$2.000 Precio total: \$4.000

Ilustración 19. Limpiador PVC



Fuente: Autor

- Grava: El tamaño de las partículas se encuentra en un rango de 20 mm y se utiliza para la capa base del lecho filtrante con espesor de 30 cm.  
Cantidad: 1 bulto  
Precio Total: \$15.000

Ilustración 20. Grava



Fuente: Autor

- Antracita: antracita de grado 1.5, granulometría de 2mm a 0.84 mm, tamaño efectivo de la partícula de 0.85 mm a 0.95 mm para la capa de lecho filtrante con espesor de 40 cm.  
Cantidad: 1 bulto  
Precio: \$ 25.000

### **Ilustración 21. Antracita**



Fuente: <https://www.carbotecnia.info/producto/antracita/>

- Arena: Arena de peña, el tamaño de las partículas se encuentra en un rango de 0,3 a 0,45 mm con coeficiente de uniformidad  $< 2$ . Se utiliza para capa superior del lecho filtrante con espesor de 20 cm.

Cantidad: 1 bulto

Precio: \$25.000

Ilustración 22. Arena



Fuente: Autor

- Tubería para pérdida de carga: es una manguera de lavadora transparente en la cual se puede ver claramente el nivel, es de  $\frac{1}{2}$  pulgada.

Cantidad :1

Precio: \$15.000

Ilustración 23. Tubería pérdida de carga



Fuente: Autor

### 13. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL FILTRO DE ALTA TASA

Primero que todo se compra el tanque de tapón (Ilustración 6), para conocer nuestra área real y tener una idea de cómo hacer nuestras conexiones.

Con la muestra del tanque se dirige a comprar la tubería y accesorios los cuales se ensamblan en el sitio de la compra para prevenir alguna equivocación, o si falta algún accesorio.

Se construye una espina de pescado la cual está adherida a la tapa del tanque, cabe resaltar que en cada unión respectiva se utiliza el limpiador de PVC (Ilustración 17) y el soldador de PVC (Ilustración 16). La tapa esta intermedia entre el accesorio macho y hembra con su respectivo empaque.

Ilustración 24. Espina de pescado



Fuente: Autor

Una vez ensamblada la espina de pescado se procede a realizar las perforaciones con taladro usando broca de 3/8 de pulgada. Esto para que el agua pueda llegar plenamente sin ninguna dificultad a el primer lecho filtrante. Este modelo de tubería se construyó para que el efluente sea lo más uniforme posible en toda el área.

#### **Ilustración 25. Proceso de perforación Espina de pescado**



Fuente: Autor

Este proceso se realiza también para el ensamble de tubería de la parte inferior del filtro la cual sirve como recolector del agua, esta tubería se coloca a 10 cm de altura del tanque para poder dejar un borde libre.

**Ilustración 26. Espina de pescado perforada**



Fuente: Autor

**Ilustración 27. Tubería colectora**

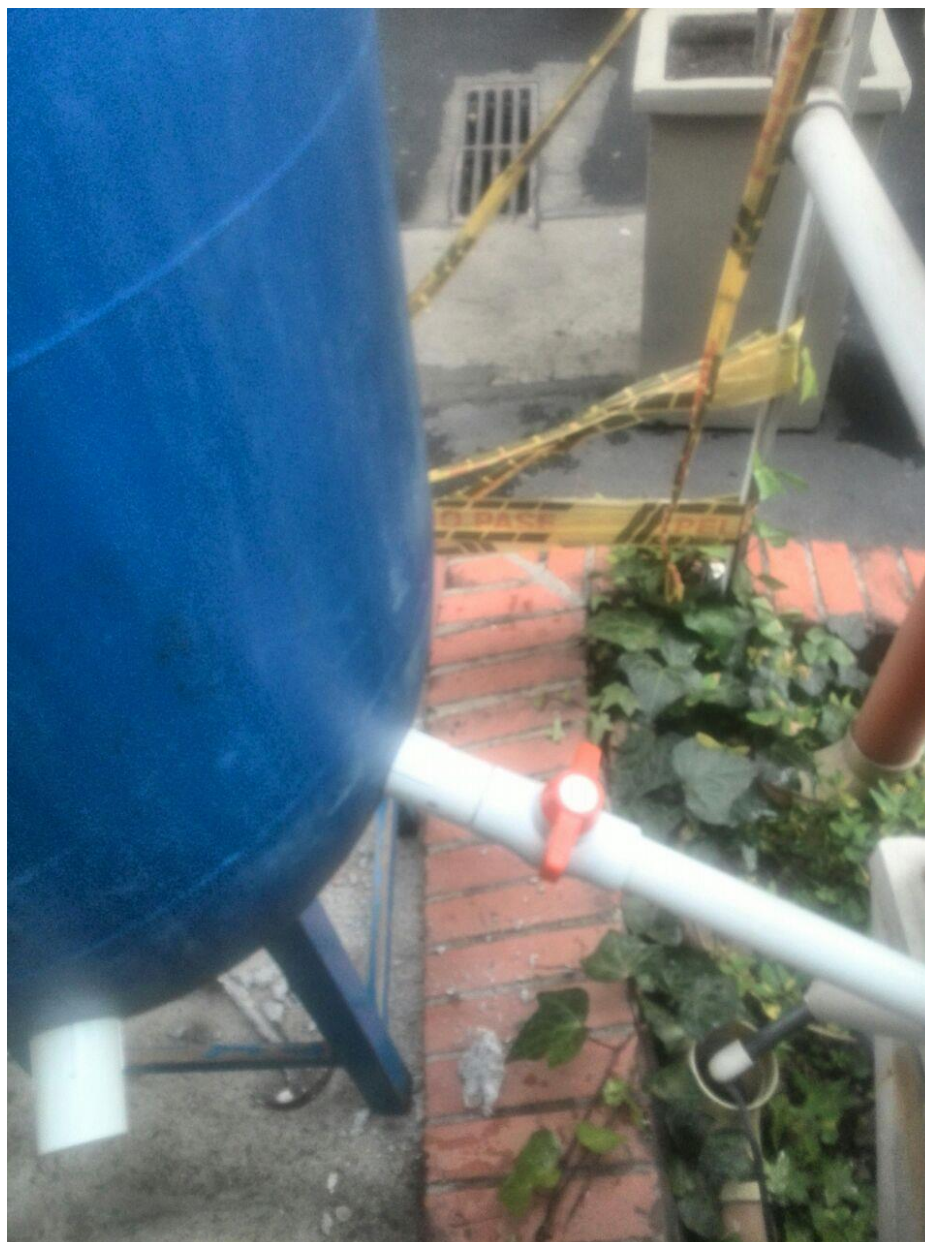


Fuente: Autor

Con el mismo taladro y la broca de copa de 1 pulgada se procede hacer 3 orificios en el tanque y uno en la tapa del tanque.

Un orificio en el tanque para el afluente el cual tendrá un registro de 1 pulgada con accesorio hembra y macho con empaque para evitar fugas.

Ilustración 28. Tubería Afluente



Fuente: Autor



Un orificio en el tanque para el retro lavado del tanque el cual cuenta con accesorio hembra y macho de 1 pulgada, y un tapón el cual no está soldado.

Ilustración 29. Tubería de retro lavado



Fuente: Autor

Un orificio en el tanque para colocar la tubería lavadora (Ilustración 21) con accesorios hembra y macho de ½ pulgada.

Ilustración 30. Tubería perdida de carga



Fuente: Autor

Ilustración 31. Tanque perforado



Fuente: Autor

Una perforación en la tapa del tanque para poder conectar con los accesorios macho y hembra, la espina de pescado y el registro de entrada de 1 pulgada.

Ilustración 32. Tubería de efluente



Fuente: Autor

Con las tuberías ya instalada, se procede a colocar un bloque de madera el cual tiene una medida de 10X10X10 el cual nos sirve como soporte de una tapa de tanque.

Ilustración 33. Bloque de apoyo



Fuente: <http://www.constructor.com.co>

Se coloca una tapa para que la grava no pase a la tubería de captación y pueda obstruir el flujo, causando taponamiento. Esta tapa se corta y se perfora para su implementación

Ilustración 34. Tapa de tanque



Fuente: Autor

Se procede a colocar el geotextil encima de la tapa perforada para poder colocar la grava.

Ilustración 35. Geotextil



Fuente: Autor

Se procede a colocar el lecho filtrante de grava el cual tiene un espesor de 0.3 metros, no se puede dejar ningún lugar sin enrasar.

Para colocar este material se lava cuidadosamente para que el filtro tenga un mejor funcionamiento y los resultados se puedan obtener más rápido, ya que contiene mucha suciedad este material, aparte de materia orgánica.

Ilustración 36. Lavado de Grava



Fuente: Autor

Ilustración 37. Lecho filtrante de grava



Fuente: Autor

Se coloca el geotextil y ahora el lecho filtrante de antracita el cual tiene un espesor de 0.4 metros.

Este material también debe ser lavado cuidadosamente, para retirar cualquier materia orgánica o suciedad.

Ilustración 38. Lecho filtrante de antracita



Fuente: Autor

Se vuelve a colocar otra malla de geotextil y encima se deposita el lecho filtrante de arena, el cual tiene un espesor de 0.20metros.

Este material ya viene lavado y sin impurezas.

Ilustración 39. Arena de peña



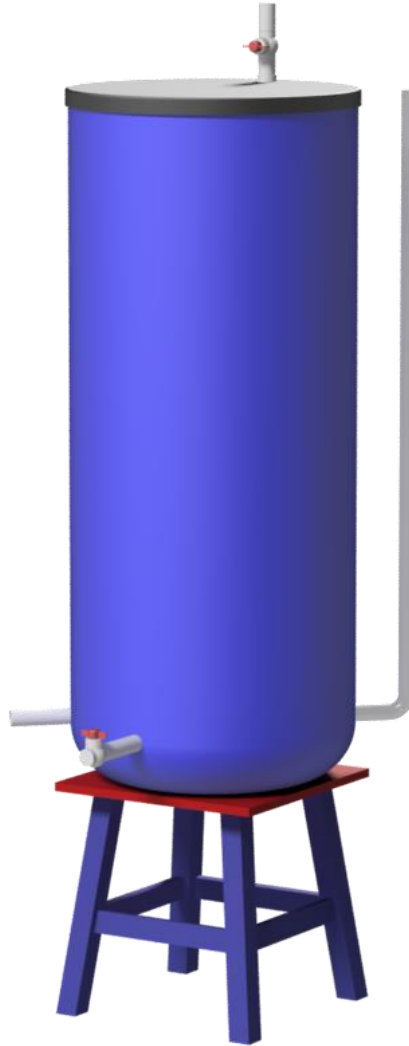
Fuente: Autor

Ilustración 40. Lecho filtrante de arena



Fuente: Autor

Ilustración 41. Modelo filtro tasa alta



Fuente: Autor



Ilustración 42. Filtro de alta tasa ensamblado



Fuente: Autor

#### 14. RESULTADOS

Para comenzar a realizar las mediciones en el filtro se aclara que el suministro de agua viene de la planta de agua lluvia de la universidad católica de Colombia y se le hace una pequeña conexión con la cual tendremos el caudal requerido para trabajar, a continuación, se muestra el registro con el que controlamos el caudal.

Ilustración 43. Registro de planta de aguas lluvias, Universidad Católica de Colombia



Fuente: Autor

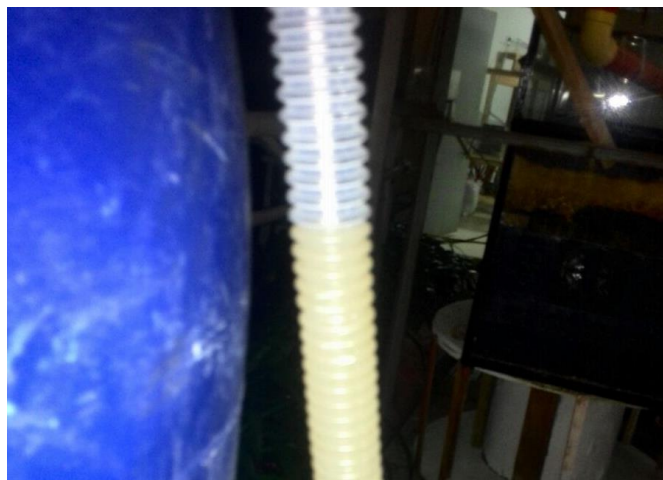
Ilustración 44. Conexión de suministro para filtro.



Fuente: Autor

Cuando se activa la planta de la universidad, se puede observar que el agua comienza a salir con un color completamente amarillo, y se deja en función por media hora, para que se puedan empezar a tomar datos.

Ilustración 45. Color de la primera muestra



Fuente: Autor

## 14.1. Cálculo de Caudal

Se calcula el caudal con la siguiente fórmula:

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

Q: Caudal

V: Volumen

T: tiempo

Se va a aforar por la parte del retro lavado, quitando el tapón y cerrando el afluyente. Se tiene un balde de 12 Litros y un cronómetro. Se toma el tiempo de llenado 6 veces para tener un dato más.

Ilustración 46. Balde 12 litros



Fuente: <http://tiendacentral.com.co/wp-content/uploads/2016/12/Balde-plastico.jpg>

Ilustración 47. Cronómetro de precisión



Fuente: [http://dissensport.com/1761-large\\_default/cronometro-fasttime.jpg](http://dissensport.com/1761-large_default/cronometro-fasttime.jpg)

Para hallar el caudal promedio se hace la suma de todos los caudales y se divide en el número de datos.

Estos fueron los datos obtenidos:

Tabla 7. Datos Aforo

Tiempo (seg)	Volumen (L)	Caudal (L/seg)	Caudal promedio (L/seg)
33,085	12	0,36270213	
33,254	12	0,36085884	0,358198882
34,596	12	0,34686091	
33,123	12	0,36228602	
33,569	12	0,35747267	
33,425	12	0,35901272	

Fuente: Autor

La tabla 8. Nos indica que el caudal máximo para que no se rebose el filtro es de 0.3581 L/seg. Esto debido a que el caudal utilizado, nos indicaba un nivel en el que quedaba 5 cm de borde libre en el tanque, si se llega a aumentar el valor, muy probablemente se rebosa el filtro.

#### 14.2. Ensayos de laboratorio

El ensayo de laboratorio, se realizó en el laboratorio de plantas de la universidad católica de Colombia.

Se realizó el ensayo para la muestra antes de pasar por el filtro, y después de pasar por el filtro.

Los ensayos se realizaron 24 veces, cada día se hacía 3 ensayos cada 2 horas. el mismo día que se construye el filtro, no se puede realizar ensayo por cuestiones de tiempo. En el ensayo se obtendrá los valores de:

- Turbiedad (NTU)
- Color (Unidades platino cobalto)
- Conductividad (MicroS/cm)
- Resistividad (KΩ/cm)
- Sólidos en suspensión (mg/l)

- Salinidad (ups)
- Temperatura (°C)
- PH
- Oxígeno (mg/L)
- % Oxígeno (%)

Los ensayos se realizan a el 2º, 3º, 4º, 5º, 9º, 10º, 13º y 14º día de construido el filtro. A continuación, se presenta el resultado de todos los ensayos.

Para hallar la turbiedad se requiere de un turbidimetro marca HACH 2100N, el cual se encuentra en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia.

Ilustración 48. Turbidimetro



Fuente: Autor

Para hallar el valor de las unidades de color, tenemos que utilizar el espectro fotómetro DR2800, que se encuentra en la universidad católica de Colombia.

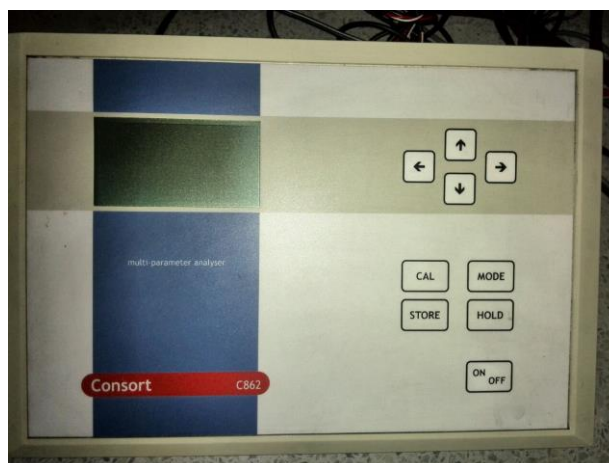
Ilustración 49. Espectro Fotómetro



Fuente: Autor

Para Hallar las Unidades de Conductividad, resistividad, Sólidos en suspensión, salinidad, temperatura, PH, oxígeno y porcentaje de oxígeno. Se debe utilizar el Multiparametrico Consort C862, el cual se encuentra en la universidad católica de Colombia.

Ilustración 50. Multiparametrico



Fuente: Autor

Ilustración 51. Probetas Antes y después del proceso de filtración



Fuente: Autor

Ilustración 52. Tubería después Y antes del proceso de filtración



Fuente: Autor



Tabla 8. Resultados Ensayos Dia2

Dia 2 Hora 00:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,38	9,61	-1,23
Color (Unidades platino cobalto)	57	102	-45
Conductividad (MicroS/cm)	102,8	102,8	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	54,2	54,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,1	16,9	
PH	5,65	5,81	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	
Dia 2 Hora 02:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	9,11	8,75	0,36
Color (Unidades platino cobalto)	70	89	-19
Conductividad (MicroS/cm)	101,3	101,3	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,7	9,3	
Sólidos en suspensión (mg/l)	55,3	53,4	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	17,5	
PH	5,3	5,6	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	
Dia 2 Hora 04:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,42	8,05	0,37
Color (Unidades platino cobalto)	89	63	26
Conductividad (MicroS/cm)	100,65	100,65	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	50,3	51,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	16,3	
PH	5,4	5,9	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxigeno (%)	35	35	

Fuente: Autor

Tabla 9. Resultados Ensayo Dia3

Dia 3 Hora 00:00			
	Entrada	Salida	Δ
Turbiedad (NTU)	8,5	9,1	-0,6
Color (Unidades platino cobalto)	70	90	-20
Conductividad (MicroS/cm)	102,8	102,8	
Resistividad (KΩ/cm)	8,8	7,6	
Sólidos en suspensión (mg/l)	51,2	51,2	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,8	18	
PH	5,5	5,29	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxigeno (%)	35	35	0
			2
			4
Dia 3 Hora 02:00			
	Entrada	Salida	Δ
Turbiedad (NTU)	8,8	8,65	0,15
Color (Unidades platino cobalto)	85	89	-4
Conductividad (MicroS/cm)	101,3	101,3	
Resistividad (KΩ/cm)	9,7	9,3	
Sólidos en suspensión (mg/l)	55,3	53,4	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	17,5	
PH	5,3	5,6	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	
Dia 3 Hora 04:00			
	Entrada	Salida	Δ
Turbiedad (NTU)	8,5	8,4	0,1
Color (Unidades platino cobalto)	80	70	10
Conductividad (MicroS/cm)	102,3	101,4	
Resistividad (KΩ/cm)	9,76	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	50,3	51,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	17,2	
PH	5,4	5,3	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxigeno (%)	35	35	

Fuente: Autor.

Tabla 10. Resultado Ensayo Día 4

Dia 4 Hora 00:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,38	9,61	-1,23
Color (Unidades platino cobalto)	57	102	-45
Conductividad (MicroS/cm)	102,8	102,8	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	54,2	54,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,1	16,9	
PH	5,65	5,81	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	0
			2
			4
Dia 4 Hora 02:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	9,11	8,75	0,36
Color (Unidades platino cobalto)	85	89	-4
Conductividad (MicroS/cm)	101,3	101,3	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,7	9,3	
Sólidos en suspensión (mg/l)	55,3	53,4	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	17,5	
PH	5,3	5,6	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	
Dia 4 Hora 04:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,42	8,05	0,37
Color (Unidades platino cobalto)	89	70	19
Conductividad (MicroS/cm)	100,65	100,65	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	50,3	51,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	16,3	
PH	5,4	5,9	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxigeno (%)	35	35	

Fuente: Autor

Tabla 11. Resultado Ensayo Día 5

Día 5 Hora 00:00			
	Entrada	Salida	Δ
Turbiedad (NTU)	8,6	9	-0,4
Color (Unidades platino cobalto)	59	72	-13
Conductividad (MicroS/cm)	102,8	102,8	
Resistividad (KΩ/cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	54,2	54,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,1	16,9	
PH	5,65	5,81	
Oxígeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxígeno (%)	35	35	0
			2
			4
Día 5 Hora 02:00			
	Entrada	Salida	Δ
Turbiedad (NTU)	8,68	8,6	0,08
Color (Unidades platino cobalto)	85	89	-4
Conductividad (MicroS/cm)	101,3	101,3	
Resistividad (KΩ/cm)	9,7	9,3	
Sólidos en suspensión (mg/l)	55,3	53,4	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	17,5	
PH	5,3	5,6	
Oxígeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxígeno (%)	35	37	
Día 5 Hora 04:00			
	Entrada	Salida	Δ
Turbiedad (NTU)	8,5	8,36	0,14
Color (Unidades platino cobalto)	89	70	19
Conductividad (MicroS/cm)	100,65	100,65	
Resistividad (KΩ/cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	50,3	51,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	16,3	
PH	5,4	5,9	
Oxígeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxígeno (%)	35	35	

Fuente: Autor

Tabla 12. Resultado Ensayo Día 9

Dia 9 Hora 00:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,38	9,61	-1,23
Color (Unidades platino cobalto)	57	102	-45
Conductividad (MicroS/cm)	102,8	102,8	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	54,2	54,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,1	16,9	
PH	5,65	5,81	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	0
			2
			4
Dia 9 Hora 02:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	9	8,75	0,25
Color (Unidades platino cobalto)	85	89	-4
Conductividad (MicroS/cm)	101,3	101,3	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,7	9,3	
Sólidos en suspensión (mg/l)	55,3	53,4	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	17,5	
PH	5,3	5,6	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	
Dia 9 Hora 04:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,42	8,2	0,22
Color (Unidades platino cobalto)	86	70	16
Conductividad (MicroS/cm)	100,65	100,65	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	50,3	51,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	16,3	
PH	5,4	5,9	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxigeno (%)	35	35	

Fuente: Autor

Tabla 13. Resultado Ensayo Día 10

Dia 10 Hora 00:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,5	9,1	-0,6
Color (Unidades platino cobalto)	96	102	-6
Conductividad (MicroS/cm)	102,8	102,8	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	54,2	54,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,1	16,9	
PH	5,65	5,81	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	0
			2
			4
Dia 10 Hora 02:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	9	8,75	0,25
Color (Unidades platino cobalto)	80	89	-9
Conductividad (MicroS/cm)	101,3	101,3	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,7	9,3	
Sólidos en suspensión (mg/l)	55,3	53,4	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	17,5	
PH	5,3	5,6	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxigeno (%)	35	2,5	
Dia 10 Hora 04:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,3	8,05	0,25
Color (Unidades platino cobalto)	85	70	15
Conductividad (MicroS/cm)	100,2	100,65	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	50,3	51,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	16,3	
PH	5,3	5,9	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxigeno (%)	35	35	

Fuente: Autor

Tabla 14. Resultado Ensayo Día 13

Dia 13 Hora 00:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,7	9,25	-0,55
Color (Unidades platino cobalto)	70	102	-32
Conductividad (MicroS/cm)	102,8	102,8	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	54,2	54,8	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,1	17,1	
PH	5,65	5,65	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxigeno (%)	35	35	0
			2
			4
Dia 13 Hora 02:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	9,11	8,9	0,21
Color (Unidades platino cobalto)	85	89	-4
Conductividad (MicroS/cm)	101,3	101,3	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,7	9,3	
Sólidos en suspensión (mg/l)	55,3	53,4	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	17,5	
PH	5,3	5,6	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	
Dia 13 Hora 04:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,42	8,05	0,37
Color (Unidades platino cobalto)	89	70	19
Conductividad (MicroS/cm)	100,65	100,65	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	50,3	51,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	16,3	
PH	5,4	5,9	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxigeno (%)	35	35	

Fuente: Autor

Tabla 15. Resultado Ensayo Día 14

Dia 14 Hora 00:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,38	8,5	-0,12
Color (Unidades platino cobalto)	57	102	-45
Conductividad (MicroS/cm)	102,8	102,8	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	54,2	54,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,1	16,9	
PH	5,65	5,81	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	0
			2
			4
Dia 14 Hora 02:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	9,11	9	0,11
Color (Unidades platino cobalto)	85	89	-4
Conductividad (MicroS/cm)	101,3	101,3	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,7	9,3	
Sólidos en suspensión (mg/l)	55,3	53,4	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	17,5	
PH	5,3	5,6	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,6	
% Oxigeno (%)	35	37	
Dia 14 Hora 04:00			
	Entrada	Salida	$\Delta$
Turbiedad (NTU)	8,42	8,3	0,12
Color (Unidades platino cobalto)	89	70	19
Conductividad (MicroS/cm)	100,65	100,65	
Resistividad (K $\Omega$ /cm)	9,82	9,76	
Sólidos en suspensión (mg/l)	50,3	51,6	
Salinidad (ups)	0,1	0,1	
Temperatura (°C)	17,5	16,3	
PH	5,4	5,9	
Oxigeno (mg/L)	2,5	2,5	
% Oxigeno (%)	35	35	

Fuente: Autor



### 14.3. Análisis de Resultados

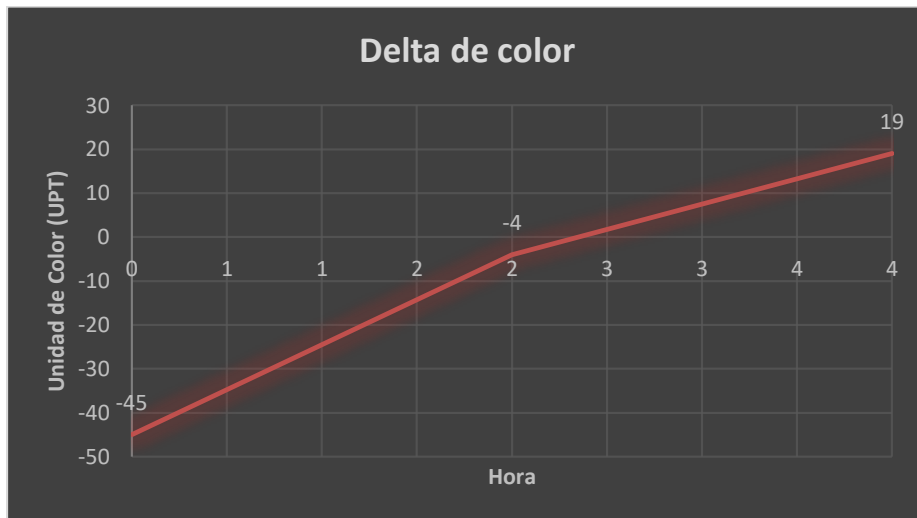
Para comprender como varia el color según la diferencia de antes y después de un ensayo se resta:

$$\Delta\text{Color} = \text{Valor despés del proceso} - \text{valor antes del proceso}$$

Si el valor es positivo es que mejoro el color, si es negativo significa que empeoro el color. Hay que tener en cuenta que el máximo color permitido para agua potable es 20 unidades de platino cobalto. (ambiente, 2015)

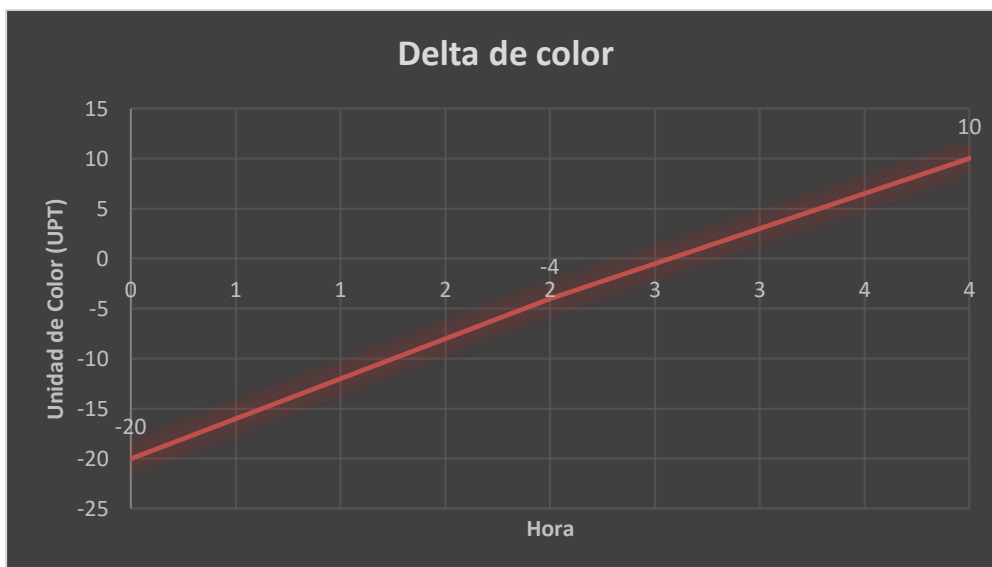
Se realiza unos gráficos en la que se muestra el delta de color en las 3 horas distintas por día como se muestra a continuación.

Tabla 16. Delta de color Ensayo1



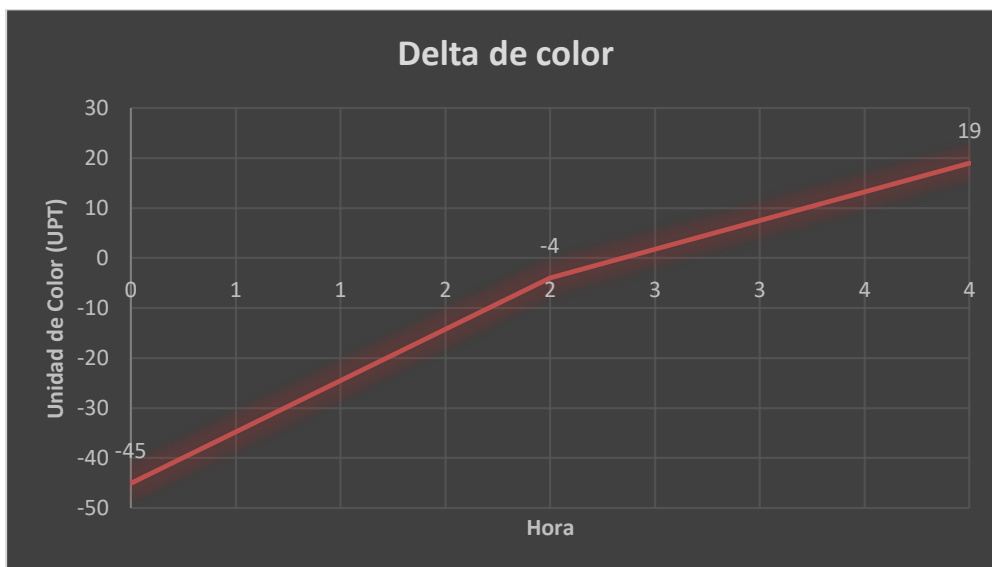
Fuente: Autor

Tabla 17. Delta de Color Ensayo 2



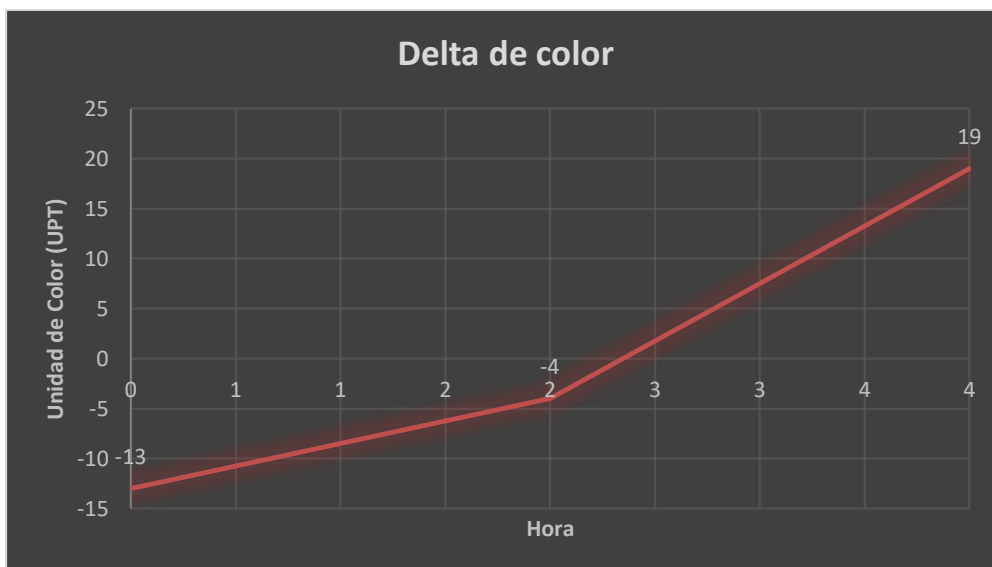
Fuente: Autor

Tabla 18. Delta de Color Ensayo 3



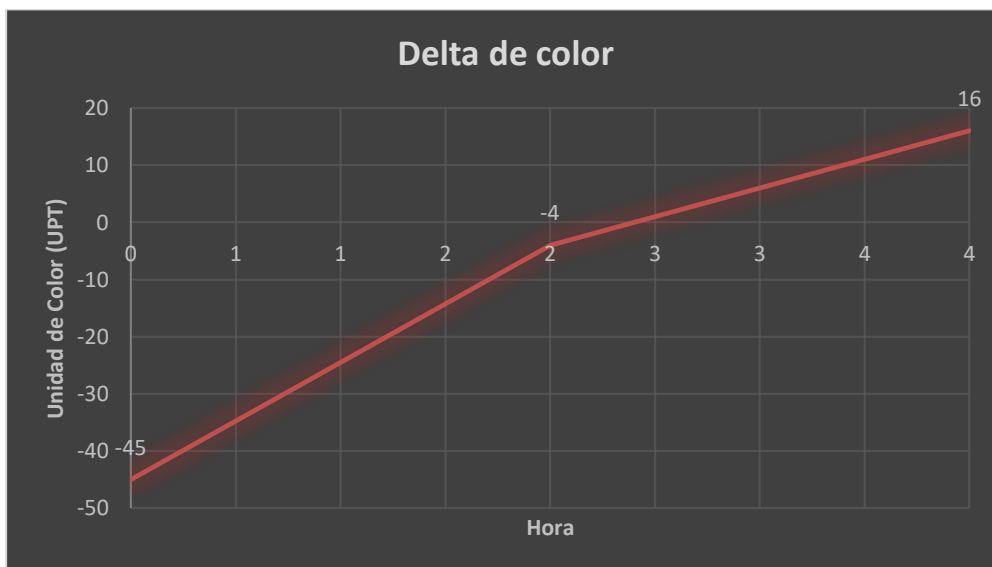
Fuente: Autor

Tabla 19. Delta de Color Ensayo 4



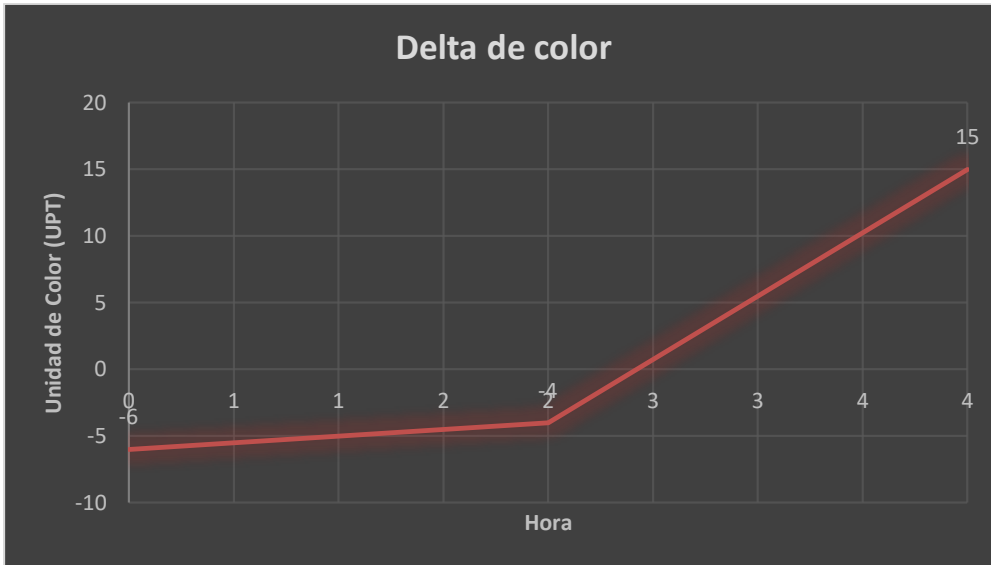
Fuente: Autor

Tabla 20. Delta de Color Ensayo 5



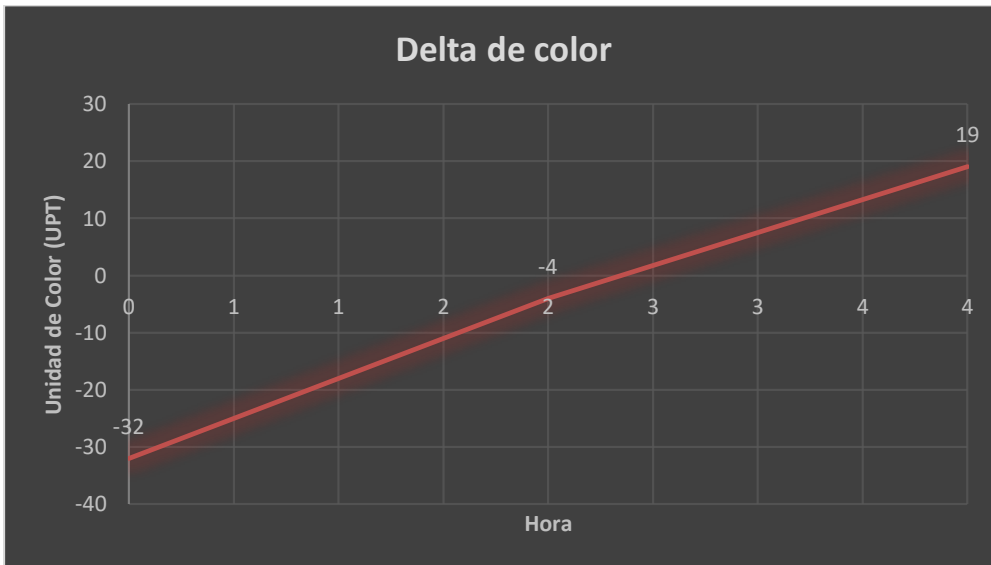
Fuente: Autor

Tabla 21. Delta de Color Ensayo 6



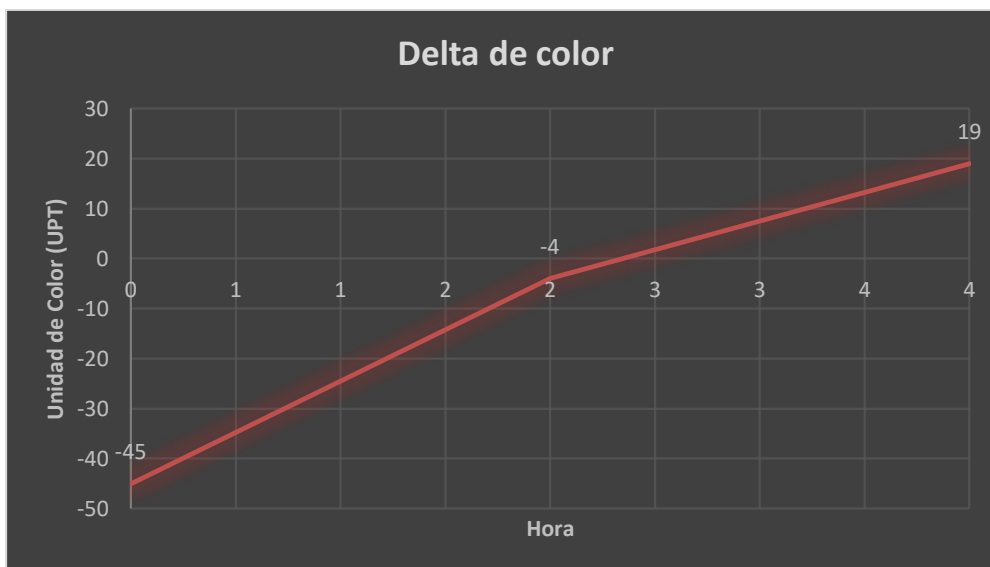
Fuente: Autor

Tabla 22. Delta de Color Ensayo 7



Fuente: Autor

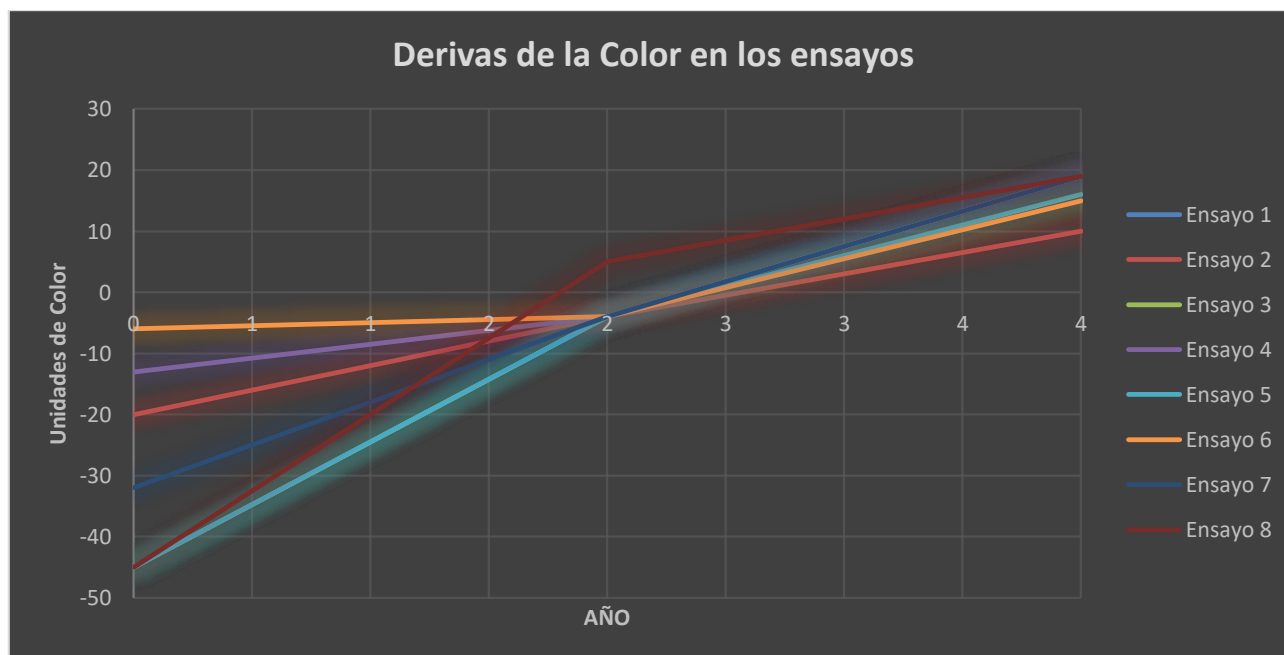
Tabla 23. Delta de Color Ensayo 8



Fuente: Autor

Para resumir la información y el análisis se unifican estos gráficos.

Tabla 24. Derivas de Color en todos los ensayos



Fuente: Autor

Se puede observar que en las horas 00:00 y 2:00, la diferencia de deltas de color es muy grande. Esto se evidencia por su gran pendiente. Mientras que en las horas 2:00 y 4:00, la diferencia de deltas de color es mínima Y su pendiente es muy pequeña.

Para poder observar cómo se comporta la turbiedad antes y después de proceso de filtración, se tiene en cuenta un valor muy importante, el cual es la variación de la turbiedad.

$$\Delta \text{ turbiedad} = \text{Turbiedad despues del proceso} - \text{Tubiedad antes del proceso}$$

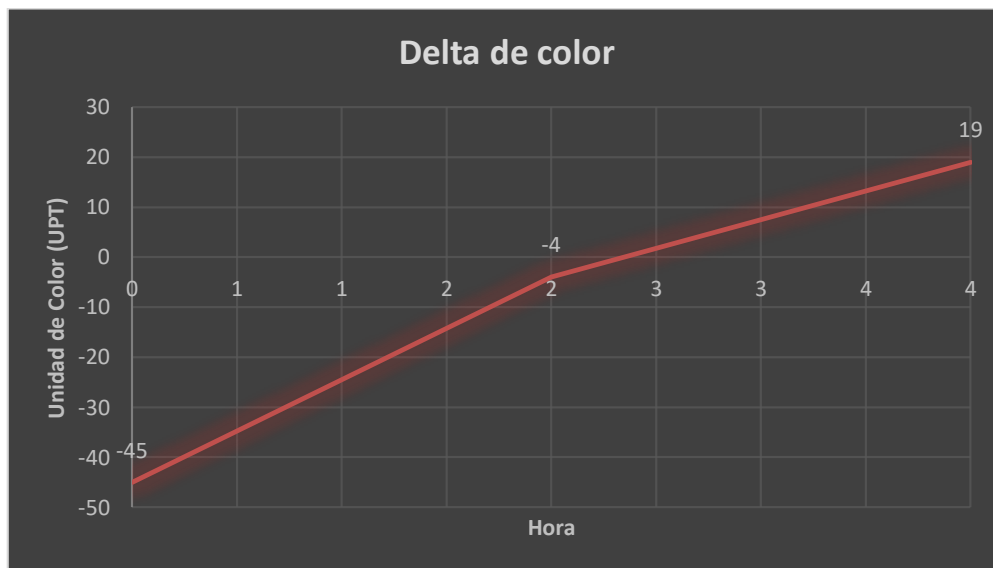
Si el valor es positivo la turbiedad está descendiendo lo cual es positivo.

Si el valor es negativo la turbiedad esta aumentado lo cual es poco deseable.

Cabe recalcar que las Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)máximas para agua potable son 2. (SOCIAL, y otros, 2007)

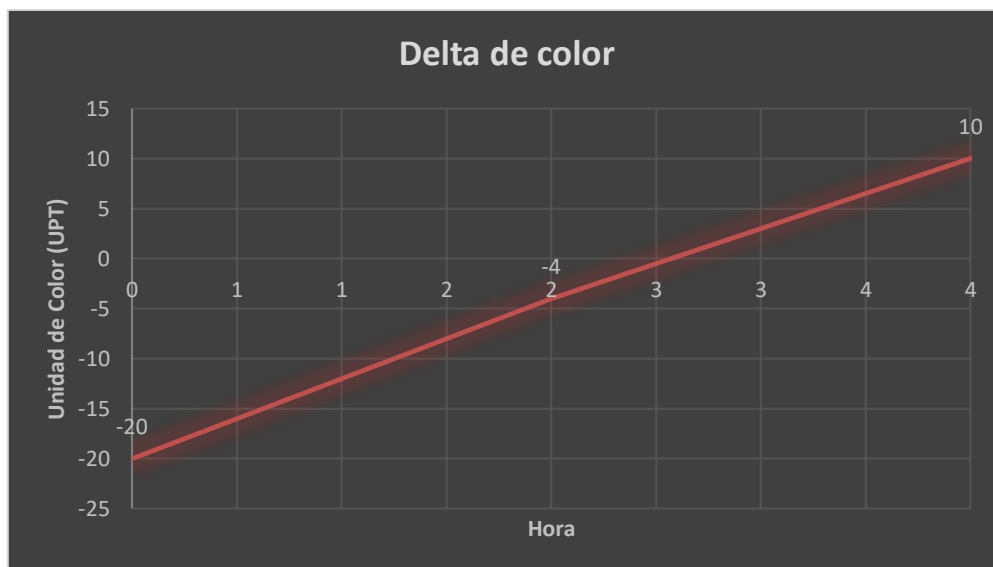
Se realiza unas tablas en la que se muestra el delta de turbiedad en las 3 horas distintas por día como se evidencia a continuación.

Tabla 25. Delta de turbiedad Ensayo 1



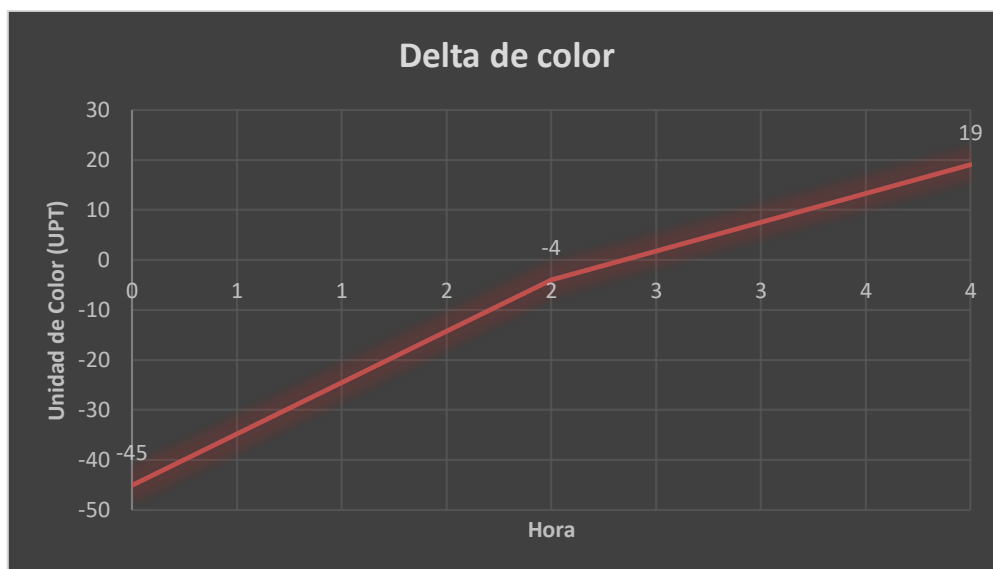
Fuente: Autor

Tabla 26. Delta de turbiedad Ensayo 2



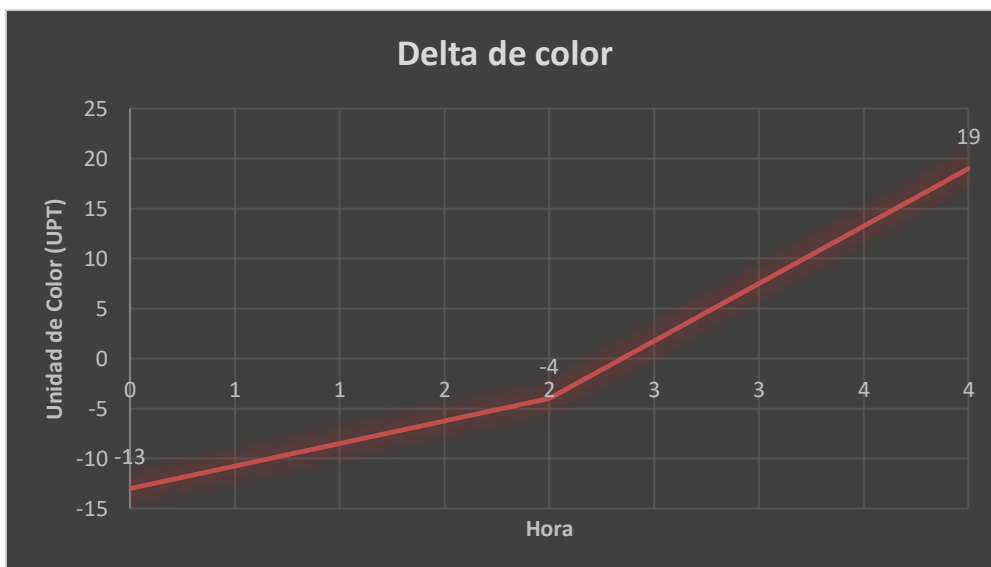
Fuente: Autor

Tabla 27. Delta de turbiedad Ensayo 3



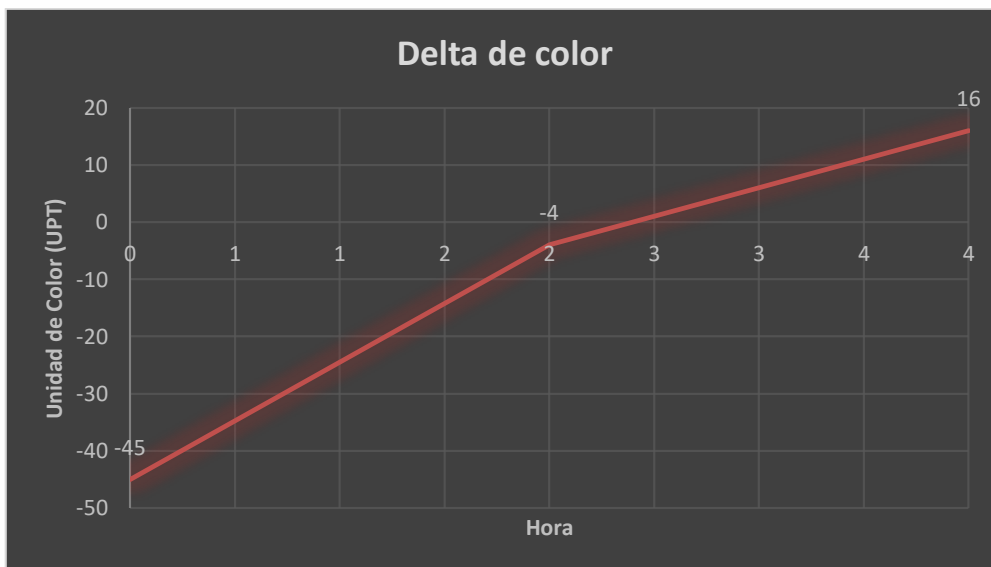
Fuente: Autor

Tabla 28. Delta de turbiedad Ensayo 4



Fuente: Autor

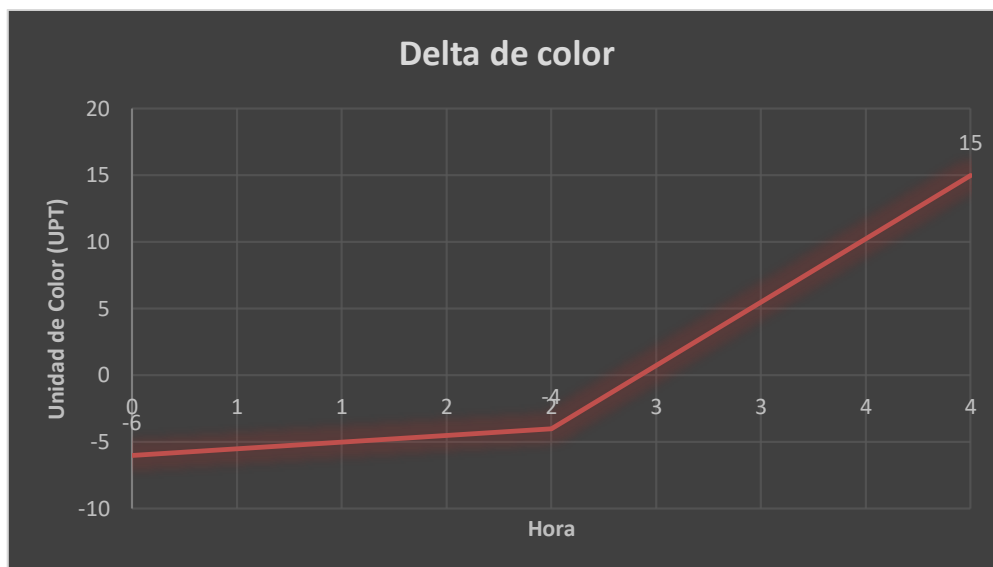
Tabla 29. Delta de turbiedad Ensayo 5



Fuente: Autor

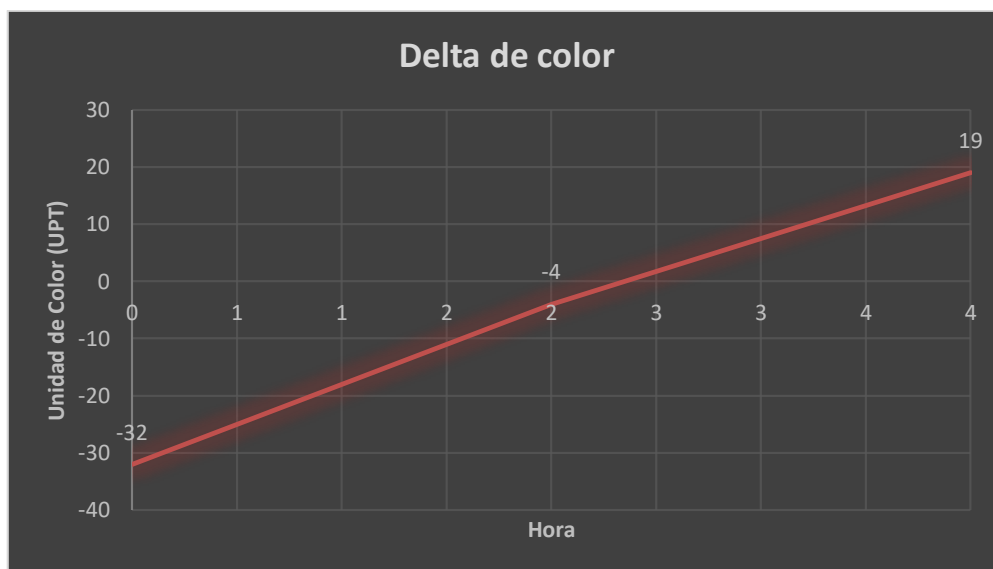


Tabla 31. Delta de turbiedad Ensayo 6



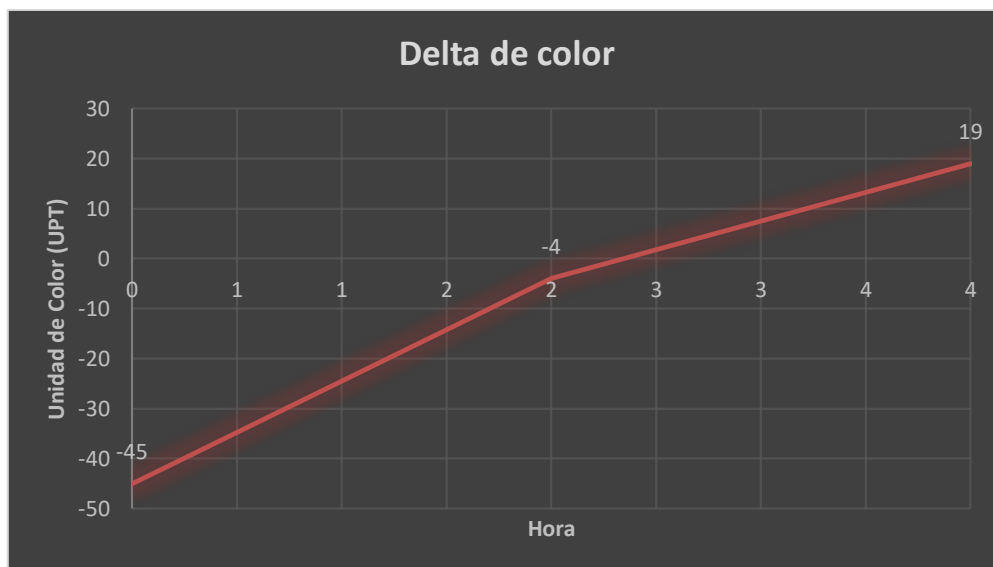
Fuente: Autor

Tabla 32. Delta de turbiedad Ensayo 7



Fuente: Autor

Tabla 33. Delta de turbiedad Ensayo 8



Fuente: Autor

Para poder analizar mejor la información se unifican las tablas de delta de turbiedad. La se presenta a continuación.

Tabla 304. Derivas de turbiedad de todos los ensayos



Fuente: Autor

En la tabla 31. Se puede observar, que la turbiedad varia con pendientes similares sin importar que día se hizo el ensayo ni la hora, aunque en las 4 últimas horas, se disminuye la pendiente, lo que significa que el delta de turbiedad disminuye.

## 15. Inspección de la planta de tratamiento de agua lluvia de la universidad católica de Colombia

La planta de tratamiento de agua lluvia está ubicada en la sede claustro, al respaldo de los laboratorios de hidráulica, cabe resaltar que esta fue construida en el 2009 por unos estudiantes del programa de ingeniería civil, como proyecto de grado.

Esta planta fue diseñada para un caudal de 5l/s. solo cuenta con un tanque de agua lluvia para abastecer y para recibir el suministro de esta misma, está conectada en circuito.

La planta se construye sobre material vegetal y está rodeada de 2 árboles de gran altura.

Ilustración 53. Vegetación planta de aguas lluvia



Fuente: Autor

- Sistema de bombeo

Se encuentra localizado dentro del laboratorio de plantas de la Universidad, cuenta con una bomba centrífuga UST1102 con motor modelo C48L2DB11 marca A. O. SMITH CORP., MÉXICO

Ilustración 54. Bomba suministro



Fuente: Autor

- Tanque de almacenamiento

Es un tanque enterrado de 17.000 litros el cual alimenta tanto la planta, como las instalaciones del laboratorio de hidráulica (contiguo al de plantas) de la Universidad. Esta es la fuente del agua problema de la planta, el agua almacenada en esta estructura fue la que se evaluó física y biológicamente con el fin de reconocer concretamente el estado de la misma al salir de este tanque.

Ilustración 55. Tanque de almacenamiento



Fuente: Autor

Para comenzar el recorrido de esta, se tiene una cámara de aquietamiento que se encuentra desportillada en la parte de arriba, La cámara de aquietamiento comprende la interface del almacenamiento y como tal el proceso de depuración del agua, esta reduce la velocidad con la que sale de la tubería de entrada. Esta unidad genera que se pueda trabajar con velocidades apropiadas el curso del fluido.

Ilustración 56. Cámara de aquietamiento



Fuente: Autor

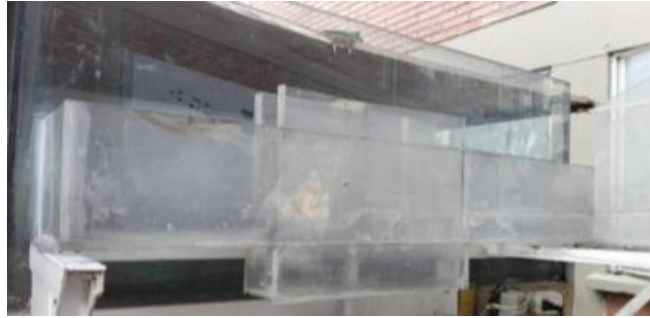
- Canaleta Parshall

Las canaletas Parshall están constituidas por tres partes fundamentales, en su orden de curso: entrada (convergencia) garganta W y salida (divergencia), la entrada a su vez está formada por dos paredes verticales convergentes, el fondo es inclinado con pendiente ascendente. La garganta tiene igualmente dos paredes verticales simétricas y un fondo con pendiente descendente, por último, la salida cuenta con dos paredes divergentes con el fondo levemente inclinado con pendiente ascendente muy suave.

En esta unidad se presentan dos tipos de flujo, uno a descarga libre que es donde se mide la altura  $H_a$  (en este lugar se mide para saber el caudal) y un flujo en que se puede presentar la sumergencia en donde se toma la altura  $H_b$ . La canaleta en cuestión se encuentra justo después de la cámara de aquietamiento, con un ancho de garganta  $W=4.2\text{cm}$  y con una longitud total de  $37\text{cm}$ , con dos funciones

específicas; aforar el caudal y mezclar el agua aprovechando el resalto hidráulico generado en su garganta W. ver figura 18.

Ilustración 57. Canaleta Parshall.



Fuente: Autor

- Floculador

Enseguida se tiene el floculador el cual tiene una longitud de 82m, sus paredes laterales empañadas, se le puso un tipo de cubierta, pero este está en estado deteriorado y se encuentra en malas condiciones, este floculador está lleno de materia orgánica ya que se tienen un árbol aledaño como se observa en la figura.

Ilustración 58. Floculador



Fuente: Autor

Ilustración 59. Pared lateral floculador



Fuente: Autor

El canal que conecta el floculador con el sedimentador tiene una pared caída, y está lleno de material orgánico.

Ilustración 60. Canal de conexión



Fuente: Autor



- Sedimentador

Se usaron 30 placas planas paralelas con una inclinación de 60 grados para que el agua pueda subir con un flujo laminar. El cristal del sedimentador está en buen estado ya que en el 2016 se cambiaron estas gracias a los estudiantes con proyecto de grado Rehabilitación de modelo existente de la planta de tratamiento de agua de la Universidad Católica de Colombia, pero su parte inferior, presenta moho y arto contenido de materia orgánica. (Sierra, y otros, 2016)

Ilustración 61. Sedimentador



Fuente: Autor

Ilustración 62. Sedimentador parte inferior



Fuente: Autor

- Filtro

El filtro de la planta de agua lluvia de la universidad católica de Colombia, presenta frecuentemente rebose, ya que cuenta con un área de 40X40 cm, no tiene el área suficiente para satisfacer la demanda de caudal y posteriormente no recibe un retro lavado frecuentemente, se le adecuo una malla en la parte superior para que no entrara ningún material orgánico como se observa en la ilustración 60. Malla del filtro UCC, y está expuesto a la luz lo cual no es muy conveniente.

Para el filtro se realiza una comprobación de diseño.

Es un filtro tipo alta tasa, con área de 40 X 40 cm, el cual circula 5 l/s en él, el filtro se encuentra a la intemperie, y tiene 4 lechos filtrantes una capa de 20 cm de grava gruesa, una capa de 45 cm de grava fina, una capa de 30 cm de arena y por ultimo 10 cm de antracita.

En la **Tabla 3.**, se presentó las recomendaciones para un filtro de alta tasa.

Y estas son las características.

Tabla 31. Características recomendadas filtro alta tasa

Alta tasa		
Característica	Valor	Unidad
tasa de filtración	180-480	m/d
Medio	Arena y Antracita	-
Distribución del medio	Estratificado: grueso a fino	-
Duración Carrera	12-36	Horas
Perdida de carga	Inicial: 0.3 Final: 2.4-3	m
Agua de lavado	6%	Agua filtrada
Profundidad del medio	Antracita: 0.4-0.6 Arena: 0.15-0.3	m
Profundidad de grava	0.3-0.45	m
Drenaje	Tubería perforada Falso Fondo	-

Fuente: Autor

Se supone la tasa de filtración más favorable en este caso 480 m/d, la cual debe ser menor por su desgaste y taponamiento.

Y se va a rectificar si el área cumple con el área mínima.

Procedemos a sacar el área del filtro con la fórmula

$$Area = \frac{Caudal}{Tasa\ de\ Filtración}$$

(Rojas, 2009) Ecuación 6.2

$$A = \frac{0.005 \frac{m^3}{s}}{0.02143 \frac{m}{s}}$$

$$A = 0.23m^2$$

A: Área mínima

Q: Caudal

TF: tasa de filtración

Área Mínima del filtro =  $0.23 \text{ m}^2$

Área del filtro actualmente = 0.40 metros X 0.40 metros = 0.16 metros cuadrados

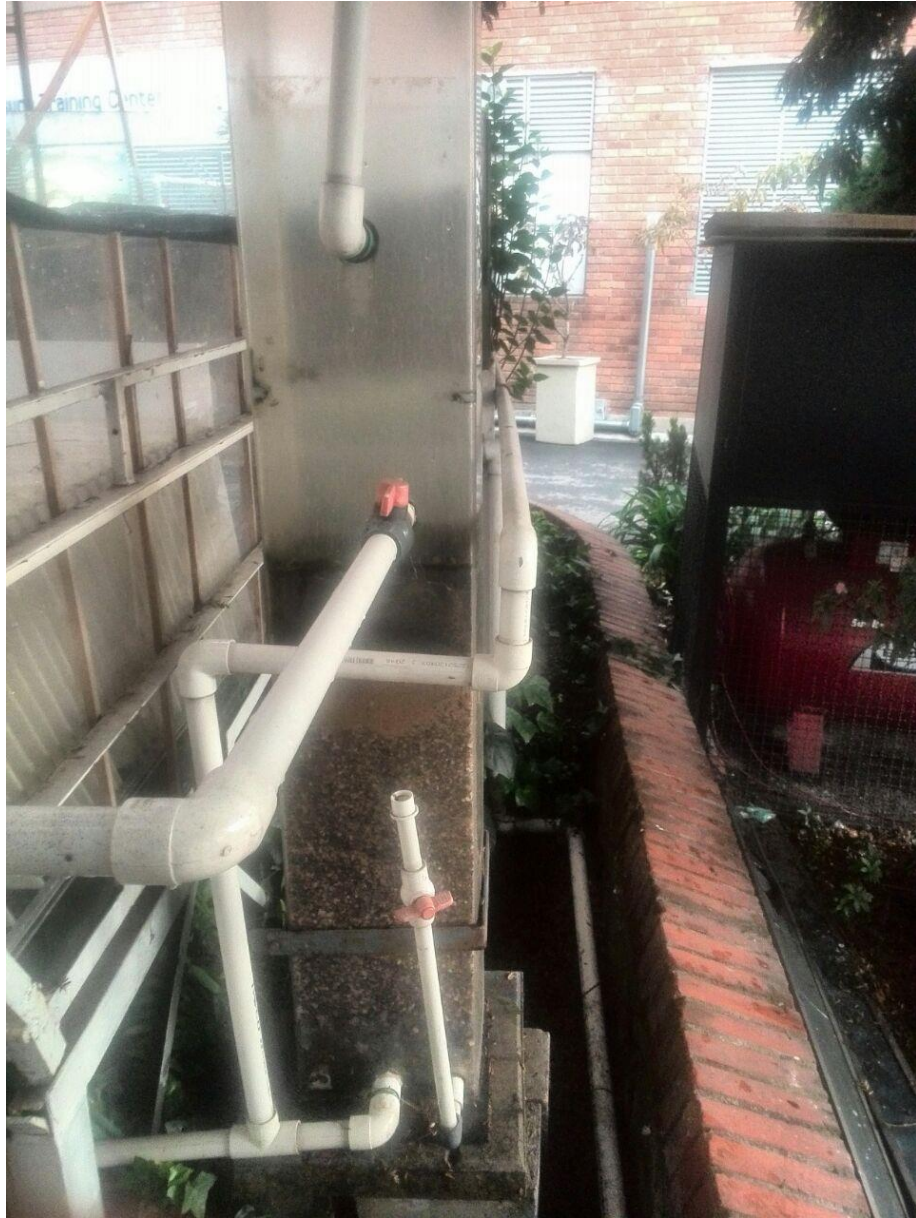
Área del filtro actualmente =  $0.16 \text{ m}^2$

Tabla 32. Comprobación de diseño filtro UCC

Diseño Alta tasa				
Tasa de filtracion	480	m/d	0,02143	m/s
Caudal	5	l/s	0,005	m3/s
Area minima	0,23	m2	2333,18	cm2
Base	0,4830	m	48,30	cm
Altura de Arena	0,20	m	20	cm
Altura antracita	0,40	m	40	cm
Altura grava	0,20	m	20	cm
Altura grava	0,45	m	45	cm
Altura Libre min	0,20	m	20	cm
Falso fondo	0,10	m	10	cm
Altura total	1,55	m	155	cm

Fuente: Autor

Ilustración 63. Filtro U.C.C.



Fuente: Autor

Ilustración 64. Malla del filtro U.C.C.



Fuente: Autor

## 16. CONCLUSIONES

Se realiza una inspección a la planta de tratamiento de Aguas Lluvia de la Universidad católica de Colombia. La cuenta actualmente con un tanque de almacenamiento de 17.000 litros de capacidad, esta planta está recirculando su caudal total, ya que no cuenta con ningún punto de descarga. Por lo tanto, no se aprovecha el uso de esta misma.

En la inspección realizada se puede observar que la planta necesita un mantenimiento frecuente y algunas reparaciones leves, como la pared lateral del canal de conexión entre el floculador y el sedimentador **Ilustración 56**. La planta necesita una solución en cuanto el tanque, al cual se le filtra tierra orgánica al presentarse fuertes lluvias.

Las unidades de la planta de tratamiento que se pueden utilizar actualmente sin mayor complicación son el sedimentador Canaleta Parshall, y floculador, ya que se hizo la optimización en el 2016.

El filtro de la planta de aguas lluvias de la universidad Católica de Colombia actualmente presenta reboses, tiene materia orgánica acumulada en su interior como se observa en la **Ilustración 60**.

A este filtro se le realiza una comprobación de diseño con la cual se obtiene que el área mínima del filtro es de  $0.23m^2$ . Pero realmente tiene un área de  $0.16m^2$  lo cual presenta una deficiencia.

Al comparar el filtro lento de arena y el filtro de alta tasa, podemos decir que los dos filtros tienen una facilidad en su construcción y fácil operación. Estos filtros pueden beneficiar a las zonas rurales que tengan una captación de agua con turbiedad entre 20 a 30 UNT (Nephelometric Turbidity Unit).

Se pudo determinar que el filtro más adecuado para la planta de aguas lluvia de la universidad Católica de Colombia, es el filtro de alta tasa, debido a que es un filtro con periodo de retención de máximo 36 horas. Otro factor relevante para elegir este tipo de filtro fue el área que podría ocupar el filtro, la cual es poco probable de instalar el filtro lento de arena con su área de  $3.5m^2$ , ya que la planta cuenta con un espacio para el filtro de  $2 m^2$ . El transporte de este filtro se complica, ya que tiene una ubicación temporal hasta que se pueda implementar el filtro de alta tasa construido.

EL filtro de alta tasa tiene la opción de limpieza con retro lavado, la cual beneficia a la comunidad educativa para poder implementar esta función y analizar y comprender su aplicación.

Se construye un filtro de tasa alta **Ilustración 42**. Ubicado temporalmente al respaldo del laboratorio de hidráulica de la universidad católica de Colombia. Las medidas del filtro son diámetro de 0.4 metros, 3 lechos filtrantes Grava 0.30 metros de espesor Antracita 0.4 metros y arena de 0.20 metros de espesor; Con una altura total de 1.20 metros **Tabla 7**.

Este filtro cumple con dimensiones evitar el rebose que se presentaba en el anterior filtro.

El filtro construido se encuentra conectado desde la caja de aquietamiento **Ilustración 43**. Ya que el filtro de la universidad, no se ha desmontad, el filtro de alta tasa que se construyó se utilizó sin la presencia de las demás unidades, y los ensayos se analizan sin tener en cuenta las demás unidades de la planta.

Para los resultados de laboratorio se tiene en cuenta las características de turbiedad y color, ya que son las unidades que varían después del proceso de filtración. La eficiencia de la planta la determinamos con el símbolo  $\Delta$  para el color y la turbiedad.

Para la eficiencia de color **Ilustración 48**. se puede determinar que el color comienza a disminuir después de la hora 2:00 de cada ensayo, ya que el ensayo en la hora 00:00 arroja deltas negativos debido a que el filtro se encontraba sin circulación de caudal.

En la **Tabla 26**. Se puede observar como el delta de color adquiere valores positivos y se estabiliza después de 2 horas de usar el filtro.

Se determina, que para el buen uso de la planta se necesita como mínimo 1 día de funcionamiento continuo después de construida, ya que los valores de calidad de agua que se registran después de pasar por el proceso de filtración indican que está en peores condiciones que al entrar como se evidencia en la tabla 9. (ensayos día 2).

Estos resultados muestran un aumento en el color y la turbiedad, como se evidencia en la gráfica de la tabla 17. (Delta de color ensayo1) y la tabla 26. (Delta de turbiedad ensayo 1).

Se realiza el Manual de operación y mantenimiento del filtro de alta tasa. El cual estará a disposición de los estudiantes en el laboratorio de plantas de la



universidad Católica de Colombia. El cual ayudara a los estudiantes a manejar el filtro, entender su beneficio en la purificación del agua y saber cuál es procedimiento para realizar el mantenimiento de este.

## 17. Recomendaciones

Se recomienda la construcción de una cubierta en la planta de tratamiento de agua lluvia de la Universidad Católica de Colombia, para evitar el ingreso de materia orgánica en las unidades y así mejorar el funcionamiento y su vida útil.

Se requiere un pequeño muro para proteger el tanque de almacenamiento de agua lluvia de la universidad católica de Colombia, debido a la filtración de tierra orgánica en el tanque.

Para futuros proyectos relacionados con la optimización de la planta o mantenimiento, realizar la instalación permanente del filtro de alta tasa construido Realizar mantenimiento preventivo a toda la planta de tratamiento de agua lluvia y en especial a el filtro construido, para que tenga mayor vida útil y mejores resultados.

Revisar los lechos filtrantes, debido que al pasar el tiempo podría reducir su espesor, hasta causar cambios en los resultados del color o turbiedad significativos.

Realizar un estudio profundo de factibilidad para la construcción de una nueva planta de tratamiento de agua lluvia, la cual tenga un uso no solo académico, si no también ecológico para la universidad utilizando el agua tratada para el uso de sanitarios o fuente riego.

Realizar una adición de tubería en el filtro ubicada entre el espesor de agua, aproximadamente 5 cm arriba del lecho filtrante de arena, para poder visualizar mejor la altura de lámina de agua que se tiene. Y realizar una medición de perida de carga más precisa.

Realizar un manual de construcción para poder difundir la información en zonas rurales donde halla la necesidad de este filtro.

## 18. Bibliografía

**Acodal. 2005.** <http://www.acodal.org.co/reglamento-tecnico-ras-nueva-resolucion-0330-de-2017/>. [En línea] 21 de marzo de 2005.

**Aguasistec. 2016.** Aguasistec retrived. *Aguasistec retrived*. [En línea] 29 de 6 de 2016. <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>.

**ambiente, Ministerio de medio. 2015.** *Resolucion 1030*. 2015.

**Arboleda, J. 2000.** *Teoria y practica de la purificacion del agua*. Bogota : Mc Graw hill, 2000.

**Arvoleda, Jorge. 2000.** *TEORIA Y PRACTICA DE LA PURIFICACION DEL AGUA*. s.l. : MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE COLOMBIA, 2000.

**Association, American water works. 2008.** *Calidad y tratamiento del agua quinta edicion*. s.l. : R.D. Letterman, 2008.

**blog, Colombia. 2015.** <https://aragon30.wordpress.com/2008/10/27/la-mejor-riqueza-hidrica-del-planeta-esta-en-colombia/>. [En línea] 08 de 2015.

**bogota, Alcaldia de. 2008.** <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>. [En línea] 13 de Marzo de 2008.

**Breuker, Stefhany. 2007.** Blogspot. [En línea] 07 de mayo de 2007.

**Brigard, M.P. 2007.** *Purificacion de aguas segunda edicion*. Bogota : Escuela Colombiana de Ingenieros, 2007.

**Carrillo, F.C. Navarrez. 2015.** *Tecnologia apropiada para el agua potable*. Bogota : L.R.Lynn, 2015.

**Cartes y M.O., Cartes. 1991.** *Tecnologia para agua potable*. Bogota, Colombia : Fondo rotatorio, 1991.

**Cartes, M.O. 1991.** *Tecnologia apropiada para agua potable*. Bogota, Colombia : Fondo rotatorio, 1991.

**Catolica, Santa maria Universidad. 2015.** <https://es.scribd.com/document/361342638/Sistema-de-Filtrado-Ventajas-1>. <https://es.scribd.com/document/361342638/Sistema-de-Filtrado-Ventajas-1>. [En línea] 08 de 2015.

**Decreto1594. 1984.** *Usos del agua y residuos Liquidos*. 1984.

**Documentslide. 2012.** <https://documentslide.org/caracteristicas-organolepticas>. [En línea] 2012.

**Encolombia. 2010.** Encolombia. *Encolombia*. [En línea] 06 de 07 de 2010. [HTTPS://encolombia.com/](https://encolombia.com/).

**Freitas, Vinícius Albernaz Lacerda. 2017.** *LCL filter design for VSC-HVDC systems supplying passive grids*. 2017.

**Grace, Maebh. 2016.** *Performance of novel media in stratified filters to remove organic carbon from lake water*. 2016.

**Huisman, L. 1974.** *Slow Sand filtration*. 1974.

**Kawamura, S. 2000.** *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. 2nd Edition*, John Wiley & Sons, Inc., New York. 2000.

**Kazmi, Majida. 2017.** *A FPGA Based Two Level Optimized Local Filter Design for High Speed Image Processing Applications*. 2017.

**Lamotte. 2015.** <http://www.lamotte.com/en/blog/test-factors/91-what-is-turbidity>. [En línea] 2015.

**Macias, J.G. 2013.** *Academia de ingenieria de Mexico*. Ciudad de mexico : Retrived, 2013.

*Mecanica de fluidos 6ta edicion.* **mott, Robertt L. 2006.** 2006.

**Mendez, Salsona. 2002.** *Desinfección del agua*. 2002.

**MinDesarrollo, Colombia. 2000.** *Reglamento tecnico del secor de agua potable y saneamiento basico* . Bogota : s.n., 2000.

**Mott, Robert L. 2006.** *Mecanica de fluidos 6ta edicion*. 2006.

**Perez, Canepa. 1992.** *Tratamiento de agua para consumo humano*. 1992.

*Power Efficiency and EMI Attenuation Optimization in Filter Design.* **Ferber, Moises. 2017.** 2017.

**Rojas, J.A. 2009.** *Calidad del agua tercera edicion*. Bogota : Escuela Colombiana de ingenieria, 2009.

—. **2006.** *Purificacion del agua segunda edicion*. Bogota : Escuela colombiana de ingenieros, 2006.

**Rojas, J.A. 1997.** *Acuipurificacion*. Bogota : Escuela Colombiana de ingenieria, 1997.

**ROjas, J.A. 2006.** *Purificacion del agua segunda edicion*. Bogota, Colombia : Escuela colombiana de ingenieria, 2006.

**Romalho, R.S. 1990.** *Tratamiento de Aguas residuales*. 1990.

**Romero, F.C. y Duque Serna, J.i. 2005.** *Acueductos teoria y diseño*. Medellin : L.C Restrepo , 2005.

**Roncancio, Mogollon y williamsom. 2009.** *Proyecto de grado*. 2009.

**SCIELO. 2016.** [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0120-56092016000200003&lng=es&nrm=isso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-56092016000200003&lng=es&nrm=isso). [En línea] 2016.

**Sierra, Cardona y Francisco, Israel. 2016.** *Rehabilitación de modelo existente de la planta de tratamiento de agua de la Universidad Católica de Colombia.* 2016.

**SOCIAL, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN, y otros. 2007.** *RESOLUCIÓN NÚMERO 2115 .* 2007.

**temprime. 2016.**

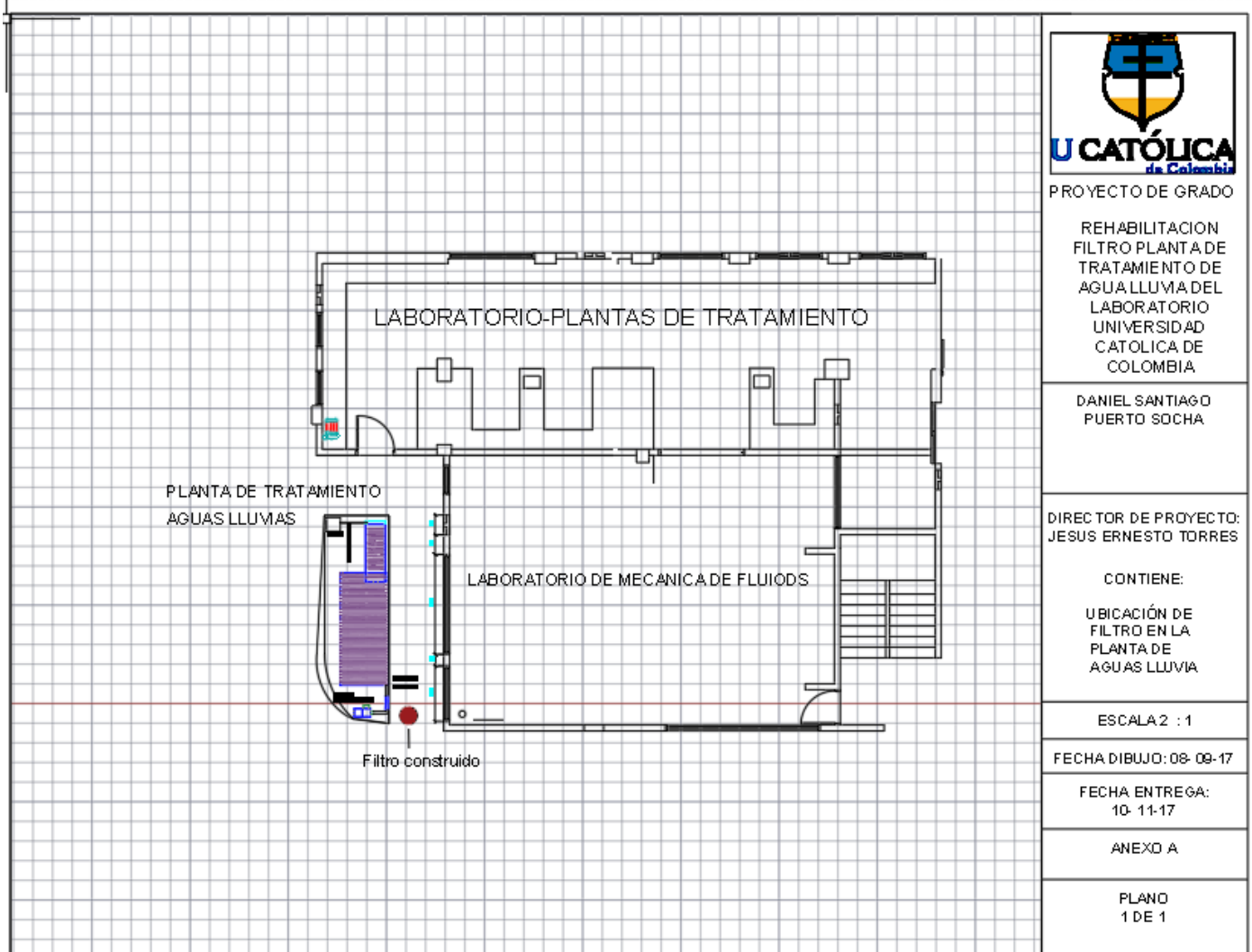
[http://temprite.com/downloads/translations/130\\_920\\_920R\\_Series\\_Filter\\_Access\\_Clearance\\_Chart\\_SPA.pdf](http://temprite.com/downloads/translations/130_920_920R_Series_Filter_Access_Clearance_Chart_SPA.pdf). [En línea] 2016.

**Unimilitar. 2015.** U militar. *U militar.* [En línea] 21 de 03 de 2015.

<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/12033/1/ChavarroRodriguezDaniel2014.pdf>.

## 19. ANEXOS

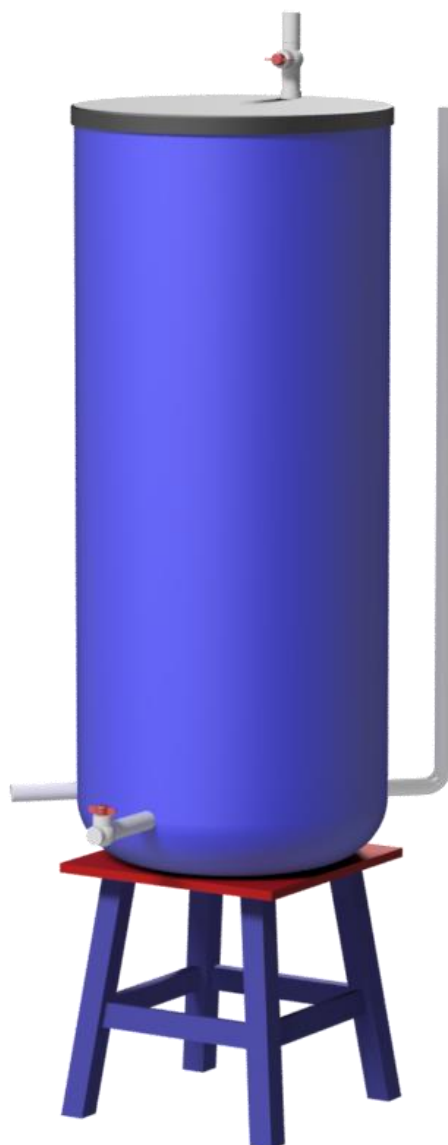
### 19.1. Anexo A. Plano ubicación del filtro construido.



## 19.2. Anexo B. Renders de modelación en Inventor 2018

Se presentan los render del modelamiento del filtro de agua lluvia propuesto en el programa de Inventor 2018

**Ilustración 65. Render1**



Fuente: Autor (Inventor2008)

**Ilustración 66. Filtro visualización de lechos filtrantes**



Fuente: Autor (Inventor2008)



**Ilustración 67. Ampliación Lechos filtrantes**



Fuente: Autor (Inventor2008)

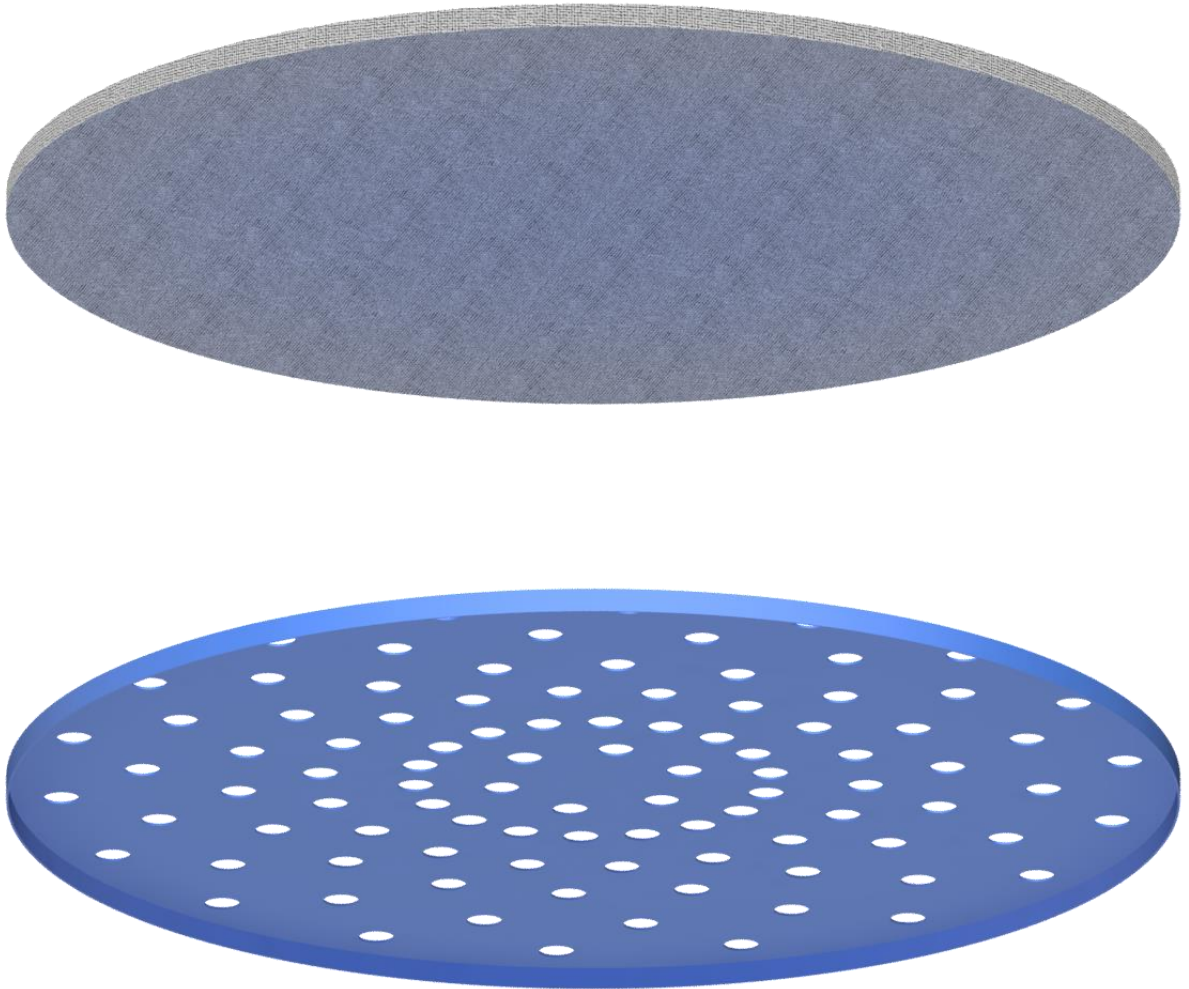
**Ilustración 68. Perfil Filtro**



Fuente: Autor (Inventor2008)

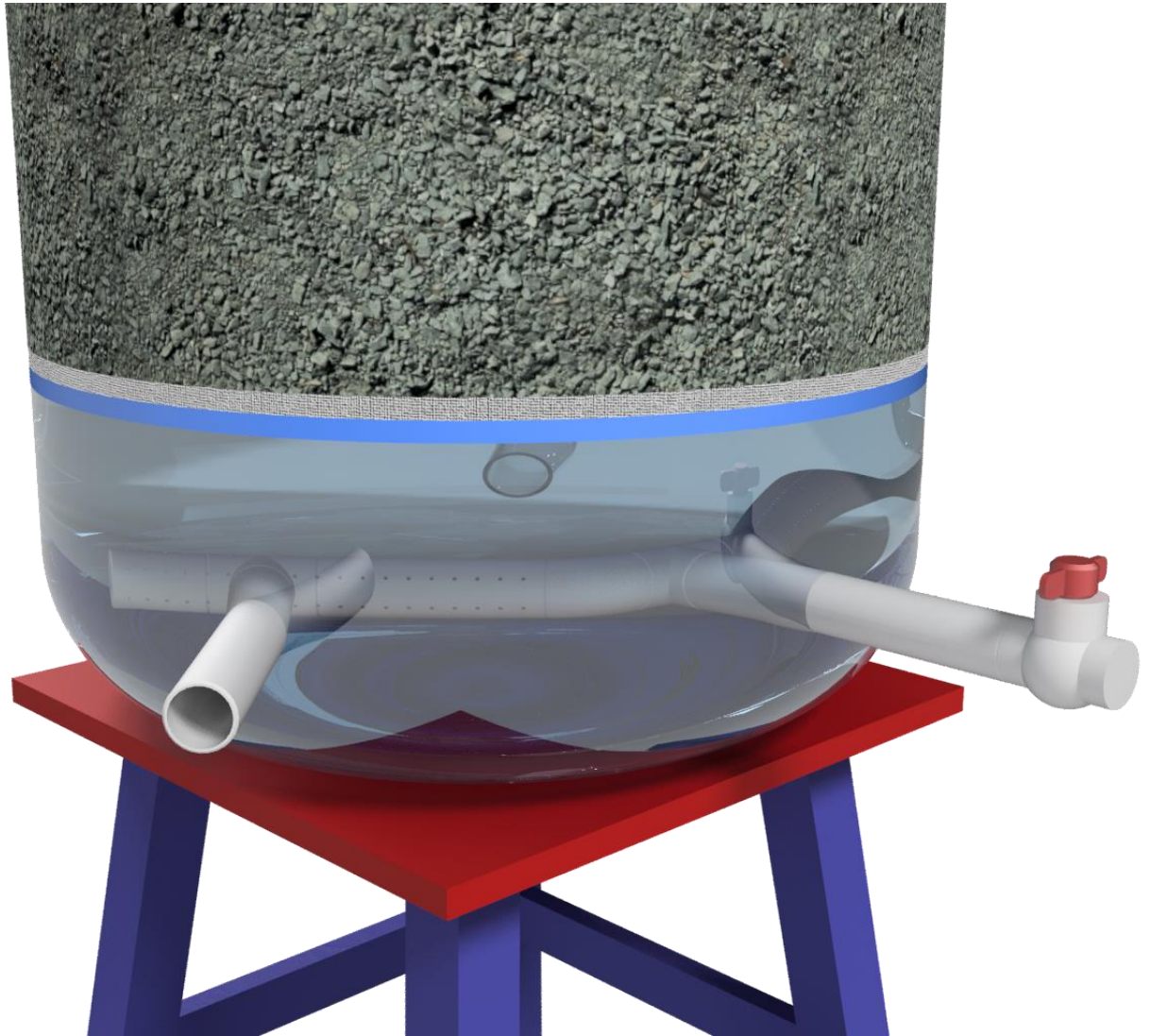
### Ilustración 69. Geotextil y malla del filtro

Respectivamente.



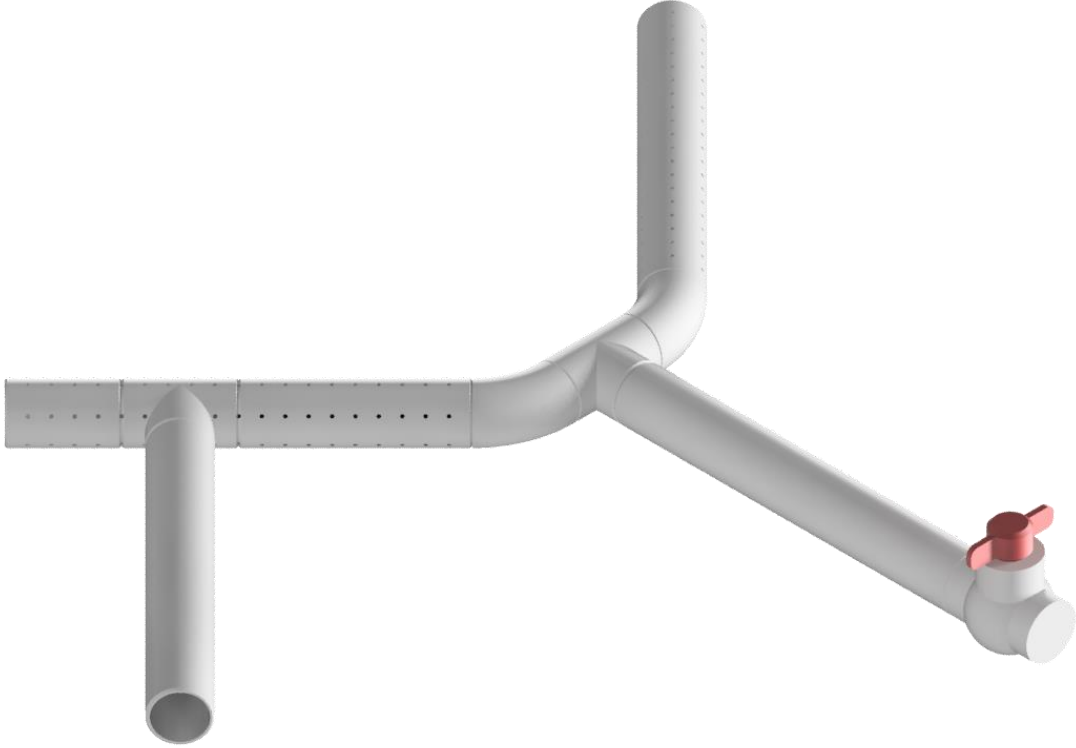
Fuente: Autor (Inventor2008)

### Ilustración 70. Tubería Afluente



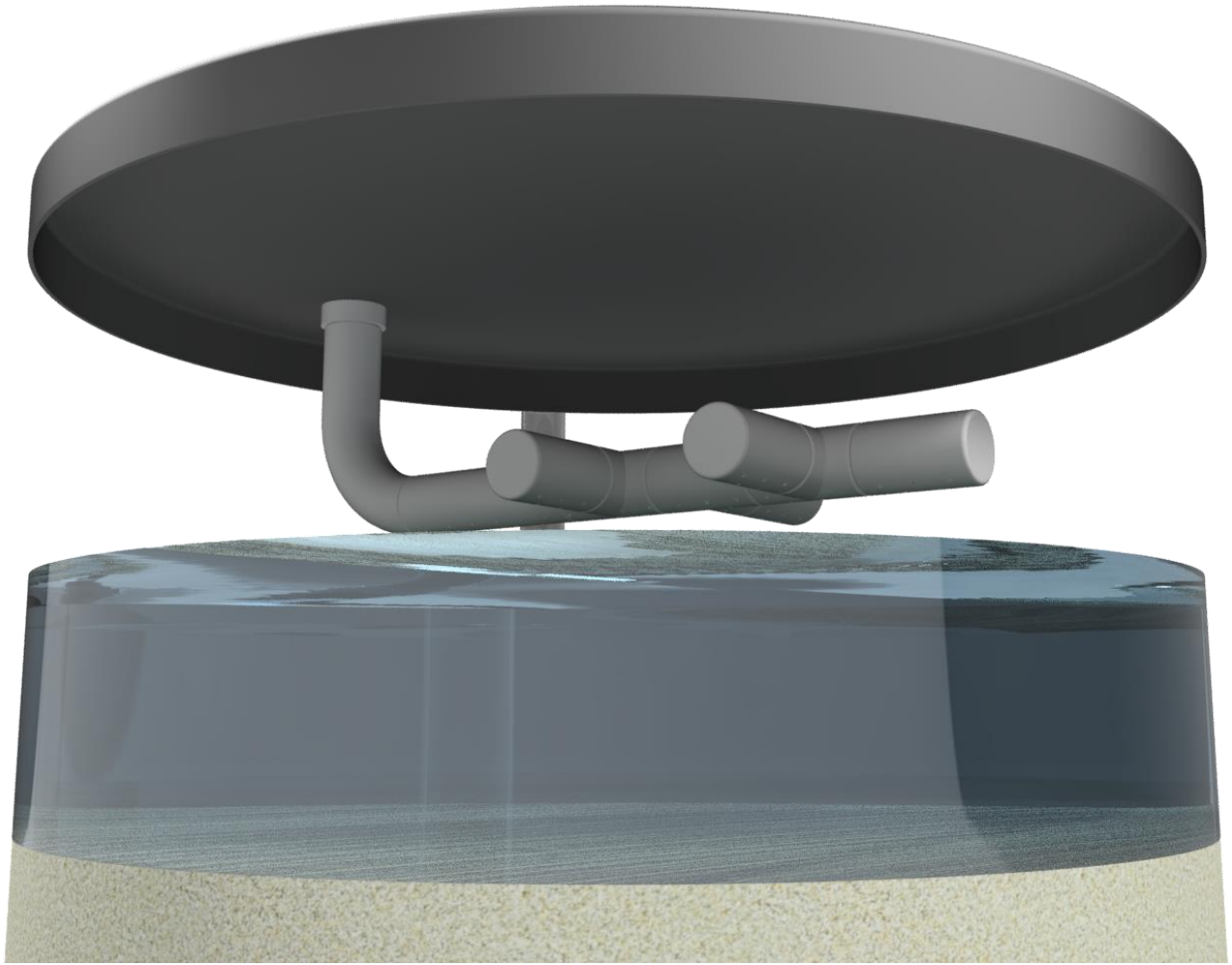
Fuente: Autor (Inventor2008)

**Ilustración 71. Detalle tubería afluyente**



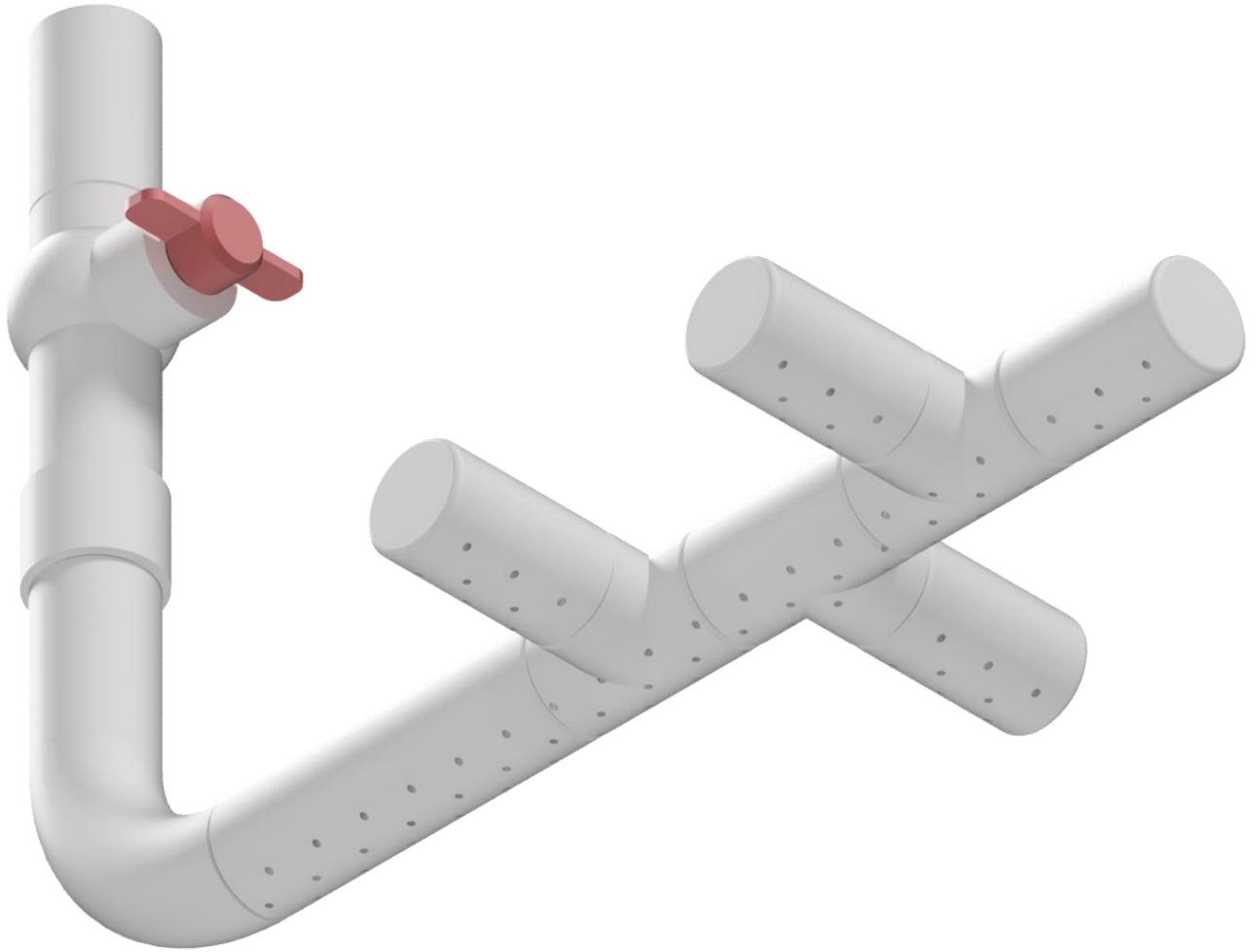
Fuente: Autor (Inventor2008)

**Ilustración 72. Tubería efluente**



Fuente: Autor (Inventor2008)

**Ilustración 73. Detalle Tubería efluente**



Fuente: Autor (Inventor2008)

**19.3. Anexo C. Manual del filtro de alta tasa construido.**

**Ilustración 74. Portada Manual**



**Fuente: Autor**

El resto del manual se encuentra en el anexo C.



#### **19.4. Anexo D. Hoja de cálculo del diseño del filtro alta tasa y filtro lento de arena en el programa Excel.**

Este Archivo se encuentra adjunto del trabajo de grado, en el cual se encuentra:

- Diseño de filtro alta tasa
- Diseño de filtro lento de arena
- Comprobación de diseño filtro de Universidad Católica
- Ensayos realizados
- Tablas delta de color y turbiedad

#### **19.5. Anexo E. Modelación del filtro de alta tasa construido en el programa Inventor 2018**

Este archivo se encuentra adjunto del trabajo de grado, en el cual se observa cada elemento que compone al filtro con su respectivo material, los detalles de cada elemento.

---

Firma Estudiante  
Nombre Estudiante Daniel Santiago Puerto Socha  
Código 504788

---

Firma Asesor del Trabajo de Grado  
Nombre Jesús Ernesto Torres Quintero

FECHA (10/11/2017)