

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES
ALTERNATIVOS PARA LECHOS FILTRANTES EN PROCESOS DE
POTABILIZACIÓN DE AGUA.

KELLY YELLEINY DIAZ RESTREPO
YERLI EDITH NIÑO LOZADA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D. C.
2018

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES
ALTERNATIVOS PARA LECHOS FILTRANTES EN PROCESOS DE
POTABILIZACIÓN DE AGUA.

KELLY YELLEINY DIAZ RESTREPO
YERLI EDITH NIÑO LOZADA

Trabajo de grado para optar por el título de
INGENIERA CIVIL

Director

ING. FELIPE SANTAMARÍA ÁLZATE

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



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

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

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

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la 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).



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



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

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado.

Firma del jurado.

Firma del jurado.

Bogotá D.C, 22 mayo 2018.

DEDICATORIA

Agradecemos a Dios por iluminar el camino a la meta sin permitir que obstáculos fuesen impedimento para lograr este paso tan importante en nuestras vidas.

Agradecemos infinitamente a nuestros padres, por su esfuerzo, paciencia, entrega y dedicación, quienes han sido un apoyo incondicional en nuestro proceso, a nuestros hermanos quienes son razón principal para querer lograr esto y a demás familiares por los consejos y el apoyo siempre.

Dedicado a la memoria de aquellos seres que fueron incondicionales durante este proceso y que hoy nos acompañan desde el cielo.

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos a la Universidad Católica De Colombia. Facultad de ingeniería, Programa de ingeniería civil a directivos y cuerpo docente en general por el acompañamiento en el proceso educativo y todos los conocimientos que impartieron durante el desarrollo de cada escalafón de esta carrera profesional.

Ing. Felipe Santamaría Álzate. Director de tesis, por el apoyo, paciencia, dedicación y sentido de pertenencia durante el proceso de desarrollo del presente trabajo.

Laboratorio de Plantas de tratamiento de agua y a todo el cuerpo operativo por la asesoría y el compromiso durante el proceso de investigación.

TABLA DE CONTENIDO.

	Pág.
1. GENERALIDADES.....	8
1.1 INTRODUCCIÓN.....	8
1.2 ANTECEDENTES.....	8
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.5 OBJETIVOS.....	11
1.5.1 Objetivo general	11
1.5.2 Objetivos específicos	11
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	11
1.7 DELIMITACIÓN	12
1.7.1 Alcances.....	12
1.7.2 Limitaciones.....	13
1.8 MARCO DE REFERENCIA.	13
1.8.1 Marco teórico.....	13
1.8.1.1 Filtración con arena antracita.....	16
1.8.1.2 Filtración con tierra diatomea.....	17
1.8.1.3 Filtración con carbón activado.....	17
1.8.2 Marco conceptual	8
1.8.3 Marco legal.....	8
1.9 GLOSARIO	9
1.10 ESTADO DEL ARTE.....	12
1.11 METODOLOGÍA	15
2 CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA.	17
2.1 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO.....	17
2.2 OPERACIÓN DE LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	21
3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES A UTILIZAR.	25
3.1 GRAVA	27
3.2 ARENA ANTRACITA	28

3.3 CARBÓN ACTIVADO	29
3.4 TIERRAS DIATOMEAS	31
4. FASE DE EXPERIMENTACIÓN PARA LA CONFORMACIÓN DEL FILTRO DE TIERRAS DIATOMEAS.....	33
4.1 PRUEBA PILOTO 1 – DIATOMEA	33
4.2 PRUEBA PILOTO 2 – DIATOMEA	35
4.3 PRUEBA PILOTO 3 – DIATOMEA	37
4.4 PRUEBA PILOTO 4 – DIATOMEA	39
4.5 PRUEBA PILOTO 5 – DIATOMEA	41
4.7 CONFIGURACIÓN ESCOGIDA PARA LA CONFORMACIÓN DEL LECHO DE TIERRAS DIATOMEAS	42
5. RESULTADOS.	44
5.1 CARACTERIZACIÓN AGUA DEL PUNTO (1 -6)	45
5.2 CARACTERIZACIÓN AGUA DEL PUNTO 7 (CARBÓN ACTIVADO)	46
5.3 CARACTERIZACIÓN AGUA DEL PUNTO 8 (TIERRA DIATOMEA).....	47
5.4 CARACTERIZACIÓN AGUA DEL PUNTO 9 (ARENA ANTRACITA)	48
6. PROCESO DE RETROLAVADO DEL PROTOTIPO.....	50
6.1 RECOMENDACIONES PARA EL RETRO LAVADO DEL FILTRO.....	51
7. CONCLUSIONES.....	52
8. RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS.	59

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.Filtración por gravedad	15
Figura 2.Arena antracita	16
Figura 3.Tierra Diatomea	17
Figura 4.Carbón Activado	18
Figura 5. Resultados de la calidad del agua antes y después de la filtración.	14
Figura 6.Vista isométrica de la base.	20
Figura 7.Vertedero Triangular	22
Figura 8.Vista Tierras Diatomeas en microscopio electrónico.	32

TABLA DE IMAGENES

	Pág.
Imagen 1. Construcción de Prototipo de Filtración.	17
Imagen 2 .Pruebas de fuga al prototipo.	18
Imagen 3. Adaptación de Desagües en tubería de PVC.....	18
Imagen 4. Perforaciones de Desagües. Imagen 5. Protección de Desagües. ...	19
Imagen 6. Instalación de Desagües. Imagen 7. Instalación de Desagües. ...	19
Imagen 8.Planta de Tratamiento de Agua Potable.	21
Imagen 9.Adaptación PTAP al Filtro.	24
Imagen 10.Prueba piloto 1.....	34
Imagen 11.Prueba piloto 1.....	34
Imagen 12. Prueba piloto 2.....	44
Imagen 13. Prueba piloto 2.....	36
Imagen 14.Prueba piloto 3.....	46
Imagen 15.Prueba piloto 3.....	38
Imagen 16.Prueba piloto 4.	38
Imagen 17.Prueba piloto 4.....	40
Imagen 18. Prueba piloto 5.....	40
Imagen 19. Prueba piloto 5.....	41
Imagen 20.Localización de puntos de toma de muestras.	44

ÍNDICE DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Parámetros de Caracterización del Agua.....	22
Tabla 2. Parámetros de Caracterización del Agua.....	23
Tabla 3. Relación de espesores prueba piloto 1.....	33
Tabla 4. Calculo del caudal de filtro prueba piloto 1.	34
Tabla 5. Relación de espesores prueba piloto 2.....	35
Tabla 6. Calculo del caudal de filtro prueba piloto 2.	36
Tabla 7. Relación de espesores prueba piloto 3.....	37
Tabla 8. Calculo del caudal de filtro prueba piloto 3.	38
Tabla 9. Relación de espesores prueba piloto 4.....	39
Tabla 10. Calculo del caudal de filtro prueba piloto 4.	40
Tabla 11. Relación de espesores prueba piloto 5.....	41
Tabla 12. Calculo del caudal de filtro prueba piloto 5.	42
Tabla 13. Características de un agua en dos filtros.....	43
Tabla 14. Tabla caracterización del agua en puntos.....	45
Tabla 15. Tabla caracterización del agua punto 7. Carbón Activado	46
Tabla 16. Tabla caracterización del agua punto 8. Tierras Diatomeas	47
Tabla 17. Tabla caracterización del agua punto 9. Arena Antracita.....	48
Tabla 18. Velocidades de lavado Carbón Activado.....	50
Tabla 19. Velocidades de lavado Arena Antracita.	50

TABLA DE GRÁFICAS.

	Pág.
Gráfica 1. Curva granulométrica de la Grava.....	27
Gráfica 2. Curva granulométrica de la arena antracita.....	28
Gráfica 3. Curva granulométrica del Carbón Activado.....	30
Gráfica 4. Curva granulométrica del Diatomeas.	31

1. GENERALIDADES.

1.1 INTRODUCCIÓN

La necesidad de disponer continua y eficientemente de agua potable en todas las comunidades hace necesaria la búsqueda de nuevas formas de potabilización del agua y alternativas en sistemas de filtración, opciones que sean viables tanto constructiva como económicamente y estén en la capacidad de satisfacer a cabalidad la necesidad del abastecimiento de agua potable.

Los lechos de filtración han sido durante mucho tiempo la solución a este problema, ya que esta técnica permite retener compuestos indeseables del agua y la remoción de micro-contaminantes. Por esta razón se pretende realizar un prototipo para generar un estado comparativo de algunos materiales susceptibles a ser utilizados como medidas de alternación en lechos filtrantes, a partir de una evaluación hidráulica del funcionamiento de cada material, donde se podrán conocer sus propiedades físicas y en función de estas establecer la viabilidad en una posible implementación.

Los materiales alternativos que se implementaran en este prototipo serán: Tierras Diatomeas, carbón activado y arena antracita, estos materiales estarán en un cubículo que contara con tres módulos en donde se ubicaran respectivamente, estos estarán sometidos bajo las mismas condiciones de ensayo para establecer valores como: cargas superficiales, capacidad de remoción, tamaño efectivo, coeficiente de uniformidad y velocidades de filtración de cada material.

Una vez se conozcan los valores y las propiedades mencionadas anteriormente, conoceremos las ventajas y características con las cuales competirá este material frente a los componentes granulares utilizados convencionalmente.

1.2 ANTECEDENTES

La filtración es un proceso el cual se encarga de la separación de sólidos¹ en suspensión por medio de un cribado, tamizado o filtro; es uno de los métodos más antiguos para la purificación del agua, ya que este método imita el proceso de filtración que se produce en la naturaleza.

¹ Ing. Víctor Maldonado Yactayo. Filtración cap.9. p 83.

Los primeros filtros que existieron a inicios de los siglos XVIII y XIX fueron los filtros domésticos los cuales consistían en piedras porosas colocadas en tinajeros². Una de las primeras plantas de filtración lenta se instaló en Paisley Escocia en 1804, con el aumento de la demanda en el agua filtrada en la época se fueron realizando estudios más profundos donde encontraron que los filtros no solamente ofrecían un proceso de cribado, sino que a su vez transformaban la materia orgánica.³

Durante estos siglos también se desarrolló el filtro rápido el cual su proceso era más eficiente ya que removía las impurezas generadas por el mismo sin necesidad de hacerlo de forma manual, sino que bastaba con invertir el proceso para la limpieza del mismo y eliminar impurezas dentro del ciclo de filtrado; estas nuevas técnicas calificaron de obsoleto al filtro lento debido a que era más simple que las innovaciones más recientes y por esto suponían que era inferior⁴.

A nivel nacional, la filtración lenta de arena ha sido estudiada en investigaciones, que lo proponen como una respuesta a la necesidad de alternativas de tratamiento de agua de fuentes superficiales. El centro internacional de agua y saneamiento (IRC) con cooperación del Centro Inter-regional de Abastecimiento y Remoción de Agua (CINARA), desarrolló un proyecto integrado de investigación y demostración para probar en terreno el proceso de filtración lenta de arena, y formular guías prácticas para su aplicación en los países en desarrollo⁵.

Dentro de la investigación realizada se utilizarán materiales de lecho filtrante como son el carbón activado y las tierras diatomeas en los que se evaluará el comportamiento que presenta cada uno de ellos dentro de procesos de filtración. El uso del carbón activado en el tratamiento del agua para consumo humano ha sido ampliamente investigado con interés para la remoción de contaminantes orgánicos en el abastecimiento de agua. Este problema no es nuevo ya que las industrias han venido implementando el carbón activado en sus sistemas de tratamiento frente a agua con problemas de olor y color; principalmente carbón activado en polvo (CAP). El carbón activado posee una alta porosidad y una gran superficie específica (la cual puede ir de áreas pequeñas hasta áreas de miles de metros cuadrados por gramo). Esto hace a este medio apto para el proceso de adsorción dando como resultado un óptimo tratamiento del agua. Una de las mayores ventajas de utilizar carbón activado es su fácil obtención⁶.

² ARBOLEDA VALENCIA, JORGE A. Teoría, Diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Lima CEPIS 1972 P.297.

³ *Ibíd.*, p298-299

⁴ BLACIO ORDOÑEZ, Diego Andrés y PALACIOS PEREZ, José Luis. Sistemas de filtros Biológicos Para La Potabilización del Agua. Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil. Ecuador. Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería, 2011 .8 p.

⁵ CENTRO INTER-REGIONAL DE ABASTECIMIENTO Y REMOCION DE AGUA. Filtración lenta en arena Tratamiento de Agua para Comunidades: Planeación, Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento. Cali.1992.1-2p.

⁶ ARANA CORREA, José Edward. Evaluación de la Aplicación de Carbón Activado Granular en la Filtración de Agua Clarificada del Rio Cauca. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Sanitario y Ambiental. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.2016. 11-12p.

“La diatomita es una roca de carácter silíceo constituida por acumulación de caparazones fósiles de algas microscópicas o diatomeas. Tras su extracción y secado, se calcinan a 900 °C para eliminar restos de materia orgánica o arcilla, las partículas son finas (2-10 µm), de débil permeabilidad y buena capacidad de retención”⁷, dentro de las cualidades de las tierras diatomeas están: agente de purificación, filtrado, abrasivo, material aislante y fertilizante. El proceso de filtración con tierras diatomeas fue desarrollado inicialmente durante la Segunda Guerra Mundial cuando el ejército de EE.UU. satisfizo la necesidad de contar con instalaciones portátiles para el tratamiento de agua. Los sistemas de filtración de tierra diatomácea son fáciles de operar y son económicamente atractivos. Otras investigaciones demuestran la utilización de las tierras diatomitas en la clarificación de soluciones con alto contenido de sólidos, y el fraccionamiento del plasma humano.⁸

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento imparable de la población y la contaminación de los recursos hídricos son las principales razones por las cuales aún no se goza de la calidad del agua en todas las poblaciones, el agua contaminada es un problema universal que se debe tratar de abatir, transformando los recursos y materias primas que estén al alcance para que por medio de estos procesos se pueda abordar de manera adecuada esta problemática⁹.

Pero la idea es dar soluciones enmarcadas en procesos ecológicamente sostenibles, sacando el mayor provecho posible de la naturaleza, utilizando recursos y materias primas que no contaminen ni destruyan en medio ambiente, generando procesos naturales¹⁰. Si bien la implementación de lechos filtrantes ha sido la solución y la mejora durante muchos años al problema de la contaminación de este recurso, no ha existido más investigación ni avance acerca de nuevas opciones de materiales para estos procesos de filtración, por esta razón se pretende estudiar y evaluar por medio de una caracterización de materiales no convencionales los aportes y beneficios que puedan llegar a brindar mejores condiciones y lleguen a cumplir los parámetros que se tienen en cuenta para la evaluación de calidad del agua.

⁷ URBINA. Filtración por Tierras. Barcelona.2012, p.1.

⁸ MINOW, Benjamín. Pharmaceutical Technology. Edición Suramericana 2015- N°135, p67.

⁹ BLACIO ORDOÑEZ. Op.cit,9 p.

¹⁰ SANCHEZ CASTAÑO. Op.cit.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Las propiedades y características que desarrolla un material alternativo serían las suficientes para que esté logre conformar un lecho filtrante de mejor eficiencia que uno convencional?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Presentar las características funcionales de diferentes medios filtrantes alternativos para la posible implementación en procesos de potabilización del agua.

1.5.2 Objetivos específicos

- Crear un prototipo que evalué el comportamiento filtrante de los materiales escogidos.
- Determinar las características hidráulicas de la filtración de los materiales granulares escogidos.
- Analizar la eficiencia de remoción de los principales parámetros fisicoquímicos del agua para cada uno de los materiales alternativos.

1.6 JUSTIFICACIÓN

El agua es la fuente de toda la vida en la tierra ,las aguas dulces constituyen un recurso escaso , de acuerdo con los estudios sobre los balances hídricos del planeta solamente el 0.007% del agua dulce en el mundo se encuentra disponible para los usos humanos directos , al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua contaminada, el consumo de este agua contaminada puede transmitir diversas enfermedades como la diarrea , el cólera , la disentería , la fiebre tifoidea

y la poliomielitis , se calcula que este problema provoca más de 502.000 muertes por diarrea al año¹¹.

Colombia es un país en vía de desarrollo que no cuenta en todo su territorio con la tecnología adecuada para la potabilización de agua y la necesidad de purificarla para el consumo humano es vital e indispensable. Este proyecto pretende contribuir con la solución a un problema no solamente social, sino también ambiental, pues con la implementación de un sistema de potabilización de agua, se estaría proponiendo una alternativa para una posible implementación a sectores que carecen de este servicio, y a la vez se estaría utilizando un recurso natural sin generar daños al medio ambiente¹².

La filtración consiste en la eliminación de la materia en suspensión del agua a través de un lecho filtrante que está conformado por capas de diferentes materiales con distintas granulometrías que resultan eficaces a la hora de remoción de cualquier tipo de sólido o micro contaminante, se quiere comparar las propiedades de un material alternativo que pueda poseer mejores características y brinde una eficiencia física y química mejor que los lechos utilizados actualmente para hacer este tipo de procesos.¹³

1.7 DELIMITACIÓN

1.7.1 Alcances

El alcance de esta investigación será presentar una serie de características y propiedades que permitan establecer la viabilidad e implementación de diferentes materiales para el proceso de filtración, ofreciendo alternativas económicas y eficientes en los procesos de potabilización del agua; caracterizando cada uno de los materiales que se utilizaran durante el desarrollo del prototipo, donde arrojaran datos que demuestren cualidades de filtración, retención de partículas suspendidas y floculadas que contenga el agua cruda.

Este prototipo se pretende desarrollar haciendo uso e implementación de la planta de tratamiento de agua potable que se encuentra en las instalaciones de la

⁹ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.

¹² SANCHEZ CASTAÑO, Ana María. Sistema de Filtración para Tratamiento de Aguas Lluvias. Trabajo de grado Diseño Industrial. Pereira: Universidad Católica Popular de Risaralda. Facultad de Arquitectura y Diseño. 2010 .13 p.

¹³ GUALTEROS DÍAZ, Leidy Johana y CHACON RODRIGUEZ, Maria Angélica. Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilización de agua proveniente de la quebrada la despensa en el municipio Guaduas Cundinamarca vereda la Yerbabuena. Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C, Universidad De La Salle. Facultad de Ingeniería. 2015 .13 p.

Universidad Católica de Colombia en el área de laboratorio de hidráulica, con el fin de hacer un buen aprovechamiento de los recursos que nos ofrece la institución.

Esta investigación se desarrollará teniendo en cuenta que el tiempo disponible no debe superar el periodo académico, en el cual se deberá adquirir todos recursos necesarios para el desarrollo del proyecto.

1.7.2 Limitaciones

El lapso de tiempo con el que se cuenta para la realización del proyecto es muy limitado, tiempo dentro del cual estará incluida la adquisición de materia prima, espacio que se utilizará para la construcción del prototipo y disponibilidad del laboratorio de la universidad católica de Colombia para hacer los ensayos respectivos de análisis y caracterización de los materiales escogidos.

Todos los análisis y pruebas que se desean hacer, serán llevados a cabo en las instalaciones de la universidad católica de Colombia, haciendo uso de toda la instrumentación y equipos requeridos para los análisis granulométricos. Se hará un seguimiento periódico durante el tiempo establecido para lograr los objetivos de esta investigación, por medio de registros y mediciones que permitirán establecer valores como: carga superficial, capacidad de remoción y velocidades de filtración de cada material.

1.8 MARCO DE REFERENCIA.

1.8.1 Marco teórico

Los sistemas de filtración tratan el agua pasándola a través de lechos de materiales granulares que retiran y retienen los contaminantes del agua. Los filtros utilizados convencionalmente eliminan en un 95% la mayoría de sólidos suspendidos más sin embargo gran parte de la eficiencia de este proceso mecánico de filtrado está dada en función del tipo de material que se utilice.

Los estudios que han realizado de filtración con carbón activado y las propiedades del mismo han demostrado sus beneficios para procesos de purificación del agua , esto debido a que es altamente poroso y posee un área superficial elevada.¹⁴

¹⁴ WANG, Shaomeng, et al. "The physical and Surface chemical characteristics of activated carbons and adsorption of methylene blue from wastewater". Journal of Colloid and Interface Science. Vol. 284. 2005. pp. 440-446. Citado por ARAGON MONTER, Roberto, et al. Uso de Carbón Activado Granular (CAG) en un biofiltro

En las siguientes investigaciones se trataron temas que indican directamente en el desarrollo de este proyecto.

➤ **Uso de Carbón Activado Granular (CAG) en un biofiltro para el tratamiento de efluentes acuícolas. - Simposio iberoamericano multidisciplinario de ciencias ingenierías. – 2013.**

En este trabajo se caracterizó un carbón activado granular (CAG) en términos de su capacidad de adsorción tanto de una molécula modelo (el azul de metileno, AM) como de los contaminantes presentes en efluentes acuícolas. Para evaluar la remoción del AM, primero se realizaron pruebas estáticas por lote, cuyos resultados se ajustaron al modelo de Langmuir y permitieron estimar una capacidad de adsorción máxima de 67.57 mg AM/g CAG. Para estudiar la capacidad de remoción de los contaminantes de un efluente acuícola.

➤ **Evaluación de la Aplicación de Carbón Activado granular en la filtración agua clarificada del río cauca. - Universidad del Valle. -2016**

En este proyecto de grado de grado estudiaron a escala de laboratorio el uso de carbón activado granular en el proceso de filtración de agua clarificada del Rio Cauca, con el fin de analizar la eficiencia de remoción de turbiedad y materia orgánica medida como UV254 y así establecer el alcance de los valores límite recomendados por las entidades internacionales para la disminución del riesgo microbiológico y el riesgo crónico que pueda estar asociado a la presencia de materia orgánica en el agua para consumo humano.

Mediante esta investigación se comprobó que la selección adecuada de las condiciones operacionales de los filtros de CAG puede generar agua comparativamente similar o superior a los filtros conformados con materiales convencionales como Antracita y arena.

➤ **KIESELGUR, Métodos de ensayo y propiedades filtrantes el kieselgur español y su activación. -Dr. JUAN HERNANDEZ CAÑAVATE. –Universidad de Murcia.**

En esta investigación realizan un análisis del mineral natural, demostrando que posee las condiciones óptimas, por lo que a composición química se refiere para tener fundadas esperanzas de conseguir por tratamiento adecuado un filtrante de buena calidad.

Las cualidades de un buen filtrante se determinaron en este estudio y se observó el rendimiento de las tierras diatomeas (velocidad de filtración elevada) y eficacia (filtrados transparentes).

para el tratamiento de efluentes acuícolas. Simposio iberoamericano multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías.2013.

Gran parte del proceso de filtración está relacionado directamente con el tamaño de poro , ya que a partir de ello estará dada la eficacia en la remoción de contaminantes , teniendo en cuenta que el tipo de filtración puede estar dado en función de diversos factores¹⁵, como:

➤ **MATERIAL A SEPARAR.**

Filtración convencional, micro filtración, ultrafiltración, ósmosis inversa.

Filtración convencional: clarificación → $\geq 10 \mu\text{m}$ (clarificar soluciones).

Micro filtración → $0.1 - 10 \mu\text{m}$.

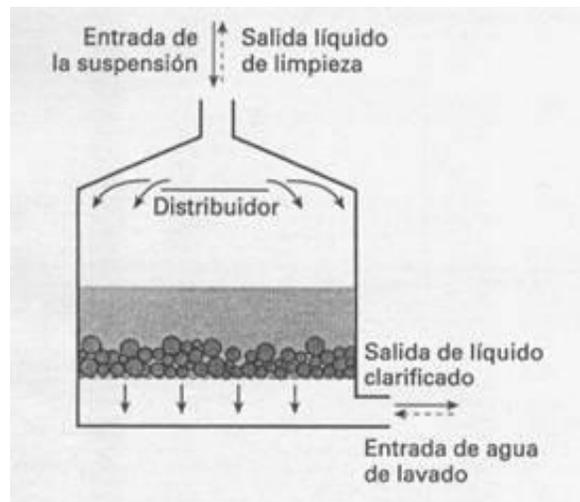
Ultrafiltración → $0.001 - 0.1 \mu\text{m}$ (macromoléculas) , Membranas.

Osmosis inversa → $0.001 - 0.0001 \mu\text{m}$ (iones) , Membranas.

➤ **FUERZA IMPULSORA**

Existen filtros que funcionan por gravedad, por presión, por vacío o por centrifugación, en el caso de este proyecto la filtración del prototipo será por gravedad, básicamente consiste en dejar que el agua escurra y por acción de la gravedad pase a través de los medios filtrantes.

Figura 1.Filtración por gravedad



Fuente: <http://ocwus.us.es/ingeniería>.

¹⁵ ESPIGARES GARCÍA, M. y PÉREZ LÓPEZ, J., 1999. Estudio sanitario del agua.

➤ **TIPO DE FLUJO**

Continuo o discontinuo, en este tipo de filtros de medios granulares usualmente el proceso es discontinuo.

➤ **MECANISMO DE RETENCIÓN:** para este caso será

Filtros en superficie (en torta, sobre soporte): Cuando las partículas tienen un tamaño suficiente, quedan retenidas en la superficie filtrante, perpendicularmente al flujo del agua.

➤ **VELOCIDAD DE FILTRACIÓN**

Podemos distinguir entre: Filtración lenta con formación de capa biológica y Filtración rápida, con altas velocidades de filtración, para este prototipo se usará filtración rápida. En el proceso de filtración rápida el agua atraviesa el lecho filtrante a velocidades que pueden oscilar entre 4 y 50 m/h. A estas velocidades apenas se forma biopelícula y los procesos biológicos van a ser escasos casi nulos y, si existen, se va a tratar de eliminarlos.

1.8.1.1 Filtración con arena antracita. La antracita es un material filtrante excelente para purificar el agua, fabricado a través de la ruptura y tamizado de carbón de antracita natural. Sus gránulos se caracterizan por su estructura puntiaguda y fragmentada. Entre sus numerosas propiedades destacan su gran resistencia a la abrasión, su baja tendencia a la aglomeración y su escasa dependencia del pH (admite sin problemas valores de pH entre 3 y 12).

Figura 2. Arena antracita



Fuente: www.carbotecnia.info.

Color: negro.

Contenido de carbón: 95%

Gravedad específica: 1.65 + .05

Dureza: 3.0-3.5 de la escala MOH

Densidad aparente: 750-800 kg/m³

Tamaño: 0.60-10.00 milímetros.

1.8.1.2 Filtración con tierra diatomea. Estos filtros, también llamados de pre capa, pueden eliminar partículas de hasta 0,1 μm sin necesidad de desestabilizarlas por coagulación. Se caracterizan por una gran superficie de filtración en relación al tamaño y peso de los filtros, lo que los hace más apropiados para equipos portátiles o bien para depuración a escala doméstica o individual. El filtro de este sistema consiste en una torta de tierra diatomácea, una sustancia con la consistencia de harina, es una sustancia como yeso fabricada con restos fosilizados y triturados de formas de vida marina unicelular llamadas diatomeas.

A diferencia de muchas otras formas de filtración, los coagulantes químicos no se utilizan usualmente para mejorar la aglomeración de partículas contaminantes. Debido a esta limitación, la filtración con tierra diatomácea produce mejores resultados en el tratamiento de agua fuente de mayor calidad y que no tenga contaminantes inorgánicos.

La capacidad del proceso se ajusta con facilidad para adecuarla a la de instalaciones de pequeña escala. De hecho, este sistema de filtración fue desarrollado inicialmente durante la Segunda Guerra Mundial cuando el ejército de EE.UU. satisfizo la necesidad de contar con instalaciones portátiles para el tratamiento de agua. Los sistemas de filtración de tierra diatomácea son fáciles de operar y son económicamente atractivos.

Figura 3. Tierra Diatomea



Color: beige grisáceo claro.

% absorción (H₂O): 210

Humedad: 2.60%pp

Densidad aparente: 0.3 – 0.5
gr/cm³

Granulometría: < 38 micras.

Fuente:

<http://www.agrogamacolombia.com.co>.

1.8.1.3 Filtración con carbón activado. Los filtros de carbón activado son una opción para tratar el agua, está especialmente diseñado para poder remover la materia orgánica que es la causante del mal olor, color y sabor en el agua. También remueve orgánicos como fenoles, muchos pesticidas y herbicidas del agua. La activación del carbón produce una excelente superficie de filtración y le permite al carbón activado tener una gran capacidad de absorción de impurezas del agua.

Figura 4. Carbón Activado



Color: Granulo negro e irregular.

PH: 9 - 11

Dureza: 98% (Min.)

Densidad aparente: 0,45 - 0.52 (gm/cc)

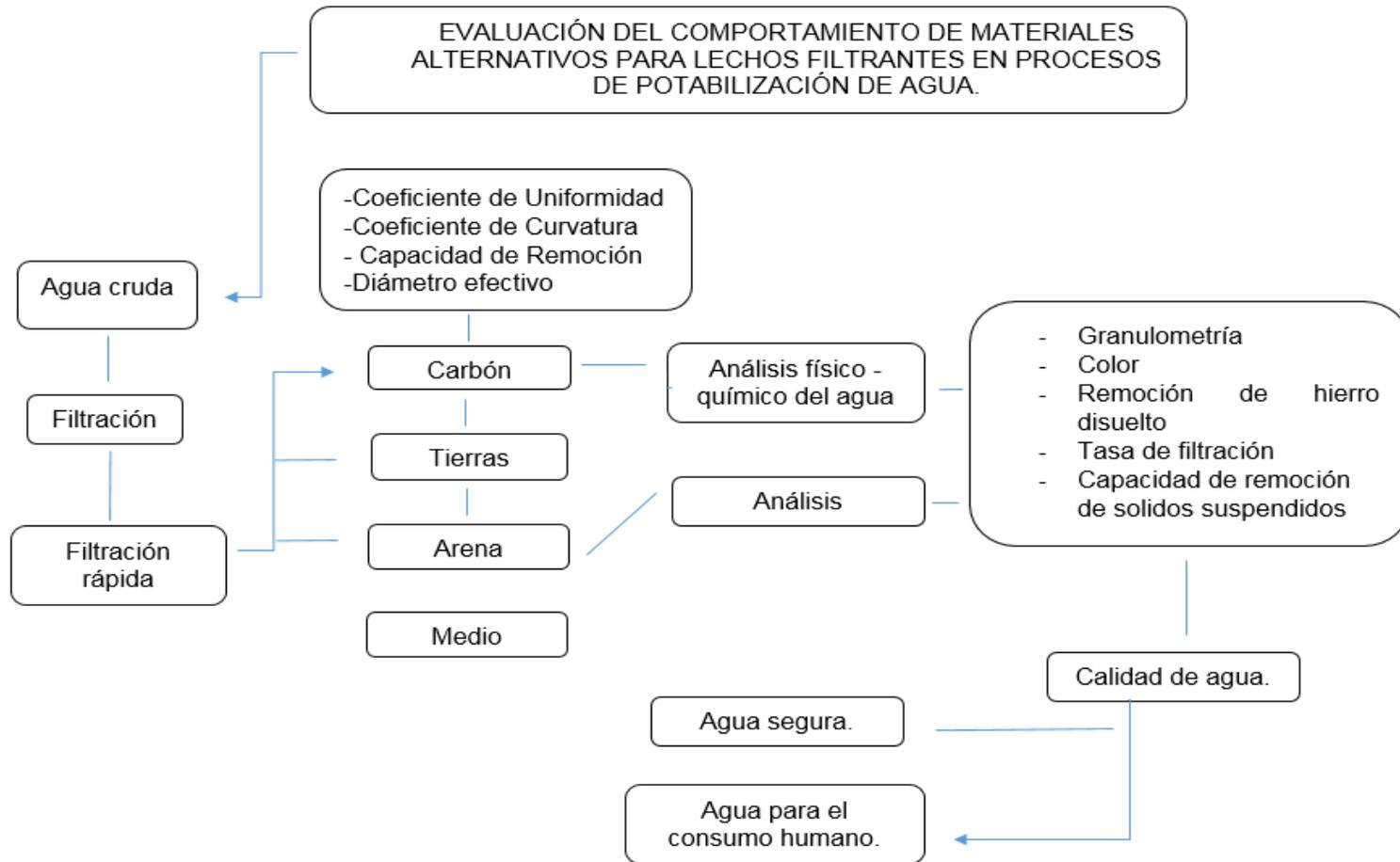
Tamaño: 2.5 mm, Tipo polvo fino granulado.

Fuente: <http://www.nosslin.es/carbon-activo.asp>.

La filtración con la antracita ya ha tenido varios experimentos , ensayos y aplicaciones en sistemas de potabilización de agua ;en la planta Worthington se hizo un trabajo sobre la filtración con antracita y arena con el propósito aumentar la producción en las épocas de mayor demanda .El sitio estaba muy congestionado de ahí que se requería un mínimo de tamaño para la instalación .Se esperaba que la filtración directa Sería posible eliminando así la necesidad de sedimentación ,con el consecuente ahorro de capital y área cubierta , objetivo que lograron, desde entonces el éxito y la implementación de este material en lechos filtrantes.

1.8.2 Marco conceptual

Las categorías conceptuales referentes al tema de lechos filtrantes y todo su proceso se enmarca a continuación:



1.8.3 Marco legal

Siguiendo con los lineamientos de esta investigación y para llevar un correcto desarrollo del proyecto se dio a la tarea de buscar la normatividad que dan fundamento, y que son emitidas bajo los entes o las autoridades competentes y que van ligadas a este proyecto.

Entre las que se encuentra el Decreto 475 de 1998, donde establece capítulo 2 disposiciones, conceptos y cumplimiento de las obligaciones por parte de las empresas prestadoras de servicios de acueducto; en el capítulo 3 están las normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable, este capítulo detalla las normas de calidad organolépticas, físicas y microbiológicas que rigen para todo el país y deben cumplirse en cualquier punto de la red de distribución de un sistema de suministro de agua potable.

La Organización Mundial de la Salud establece que la salubridad y la calidad del agua son fundamentales para el desarrollo y el bienestar humanos. Proporcionar acceso a agua salubre es uno de los instrumentos más eficaces para promover la salud y reducir la pobreza.

Como autoridad internacional en materia de salud pública y de calidad del agua, la OMS dirige los esfuerzos mundiales por prevenir la transmisión de enfermedades transmitidas por el agua. Con ese fin, promueve la adopción por los gobiernos de reglamentación sanitaria y trabaja con sus asociados para fomentar las prácticas de gestión de riesgos eficaces entre los proveedores de agua, las comunidades y los hogares¹⁶.

Resolución número (0330) de 08 de junio de 2017, allí se reglamentan todos los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción y funcionamiento de las actividades relacionadas con el sector de agua potable y saneamiento básico que garanticen la calidad de la prestación de los servicios, y la seguridad, durabilidad, funcionamiento adecuado, calidad y eficiencia de la infraestructura requerida para la prestación de servicio de agua potable en este caso.

Resolución número (2320) de 27 de noviembre de 2009, adopta el reglamento técnico para el sector de Agua potable y saneamiento básico, señala los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos, la supervisión técnica, actividades de operación correspondientes al sector de agua potable.

¹⁶ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guías para la calidad del agua potable. Tercera edición, volumen 1. 2005. 32p

1.9 GLOSARIO

➤ **Agua cruda**

Es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

➤ **Agua para consumo humano**

Es aquella que se utiliza en bebida directa y preparación de alimentos para consumo.

➤ **Agua potable**

Es aquella que, por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en condiciones señaladas por la normatividad vigente, puede ser consumida por la población sin producir efectos adversos a su salud.

➤ **Agua segura**

Es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad definidas en el presente decreto, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana.

➤ **Análisis físico-químico de agua**

Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

➤ **Análisis microbiológico del agua**

Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

➤ **Análisis organoléptico**

Para los fines del presente decreto se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos en el agua.

➤ **Antracita**

La antracita es un excelente medio de filtración para clarificación del agua en uso potable o industrial.

➤ **Calidad del agua**

Es el resultado de comparar el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que la regulan.

➤ **Carbón activado**

Carbón activado está compuesto por carbón poroso que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna.

➤ **Cargas superficiales**

Relación entre la masa de un determinado contaminante por unidad de tiempo (Carga másica u orgánica) y superficie.

➤ **Capacidad de remoción**

la capacidad que desarrolla un material para remover los principales indicadores de contaminación presente en un cuerpo de agua, expresado en porcentaje.

➤ **Coefficiente de uniformidad**

Relación de los tamaños correspondientes a los porcentajes 60% y 10%.

➤ **Color**

Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, etcétera.

➤ **Diámetro efectivo (de)**

Corresponde al 10% en peso en un diagrama granulométrico acumulativo y determina, en gran parte, la calidad del filtrado.

➤ **Diatomita o tierra diatomeas**

Es una roca sedimentaria formada por microfósiles de diatomeas, que son algas marinas unicelulares.

➤ **Dureza**

Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio.

El PH es una unidad de medida que sirve para establecer el nivel de acidez o de alcalinidad de una sustancia.

➤ **Filtración rápida**

En el proceso de filtración rápida, el agua atraviesa el lecho filtrante a velocidades de 4 a 50 m/h. La arena, que es el material más empleado como medio filtrante, suele reposar sobre un lecho de grava que impide que el material más fino pase al fondo del filtro.

➤ **Filtración**

Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión y del medio poroso.

➤ **Olor y sabor**

El sabor y el olor están estrechamente relacionados. Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. La falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes.

➤ **Material granular**

Material derivado de rocas naturales o producto de fabricación de otros materiales, compuesto por minerales.

➤ **Sólidos disueltos o residuos disueltos**

Mejor conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada.

➤ **Sólidos en suspensión**

Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

➤ **Sólidos totales**

Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido.

➤ **Sólidos volátiles y fijos**

Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a 550 ° C, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos.

➤ **Sólidos y residuos**

Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada.

➤ **Turbiedad**

La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son nefelométricas de turbiedad (UNT).

1.10 ESTADO DEL ARTE

Los últimos estudios e investigaciones acerca de lechos filtrantes con materiales no convencionales, se han dado paulatinamente y aunque en el caso de las tierras diatomeas se han venido usando restos minerales de diatomeas como piedras de construcción por parte de los griegos y romanos. Solo desde época muy reciente se ha empleado técnicamente, cuando en el año 1857 LIEBIG lo utilizó para fabricar silicatos alcalinos¹⁷. Casi simultáneamente NOBEL se valió de las tierras diatomeas (para fabricar dinamita sacando provecho de su naturaleza inerte y de su gran poder absorbente para la nitroglicerina. A esta propiedad absorbente, así como a la mala conductividad del calor, se deben las innumerables aplicaciones de este producto.

No obstante, en los últimos años la industria de las tierras diatomeas ha experimentado un desarrollo tan grande como inesperado en sus aplicaciones como coadyuvante de filtración, después de refinado o activado el kieselgur natural. Así puede decirse que el 70 % de la producción de kieselgur se destina probablemente a fines de filtración y el resto como material de rellenos, aislamientos, absorbente, etc.

Dentro de las investigaciones elaboradas por algunas universidades y que están relacionadas directamente con esta investigación, se citan a continuación:

➤ **CARACTERIZACIÓN DE UN FILTRO LENTO DE ARENA CON UN PRE FILTRO DE FLUJO HORIZONTAL DE GRAVA. (ROQUE A. ROMAN SEDA, 2006).**

Realizaron un diagnóstico de una planta de purificación de agua para una comunidad ubicada en puerto rico en el área rural, que tenía una problemática de contaminación fecal crónica, se construyó una planta consistente, que básicamente consiste en dos pre filtros de flujo horizontal de grava colateral seguidos de dos filtros lentos de arena en paralelo.¹⁸

➤ **UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

Trabajo de investigación: Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilización de agua proveniente de la quebrada la despensa en el municipio guaduas Cundinamarca vereda la yerbabuena.

¹⁷ HERNANDEZ CAÑAVATE, Métodos de ensayo y propiedades filtrantes, Kieselgur. Anales de la Universidad de Murcia (Ciencias), Murcia.Vol XIII.Núm.2.

¹⁸ ROQUE A, Román Seda, et al. Caracterización de un Filtro Lento de arena con un pre filtro de flujo horizontal de grava. Puerto rico.

Esta investigación realizada en la universidad de la Salle utiliza en este proyecto como lechos filtrantes carbón activado, arena antracita entre otros; teniendo en cuenta el comportamiento y la funcionalidad de cada uno de ellos y el tipo de material usado (carbón activado, tubería de PVC, arena fina, arena antracita). De acuerdo a un estudio comparativo entre los 3 filtros, se planteó una cuarta unidad del filtro prototipo, con el fin de aportarle a la comunidad una réplica, del filtro más eficiente. Estos se implementaron con el objetivo de brindarle a la comunidad un agua de mejor calidad para el consumo diario de cada una de las familias

En esta investigación ellos encontraron propiedades y características muy importantes e interesantes de los dos componentes de interés para este proyecto (arena antracita y carbón activado).

El sistema de filtración de esta investigación mostro una eficiencia entre el 73.4% y el 93. % en la disminución de la turbidez del agua, lo cual nos deja ver el beneficio de estos materiales al implementarlos en lechos de filtración.¹⁹

➤ **UNIVERSIDAD DE ALICANTE, ESPAÑA- El carbón activado en procesos de descontaminación.**

Estudio acerca de las propiedades adsorbentes de un carbón activado y su aplicación específica en la eliminación de olores en plantas depuradoras de aguas residuales. Los olores son causados por los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica entre otras propiedades de este material como:

- a. Adsorción de la mayor parte de las sustancias orgánicas presentes en el agua eliminando la turbidez, el color, el olor y reduciendo la DQO/TOC.
- b. Obtención de altos rendimientos con enlaces que otras técnicas no pueden eliminar como aceites minerales, aromatizantes, hidrocarburos aromáticos poli cíclicos y disolventes clorados.²⁰

➤ **ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGUA, Conferencia sobre la filtración con antracita y arena, Universidad de Reading.**

Filtración con antracita y arena caso práctico en el reino unido.

¹⁹ GUALTEROS y CHACON, Op. Cit.

²⁰ RODRIGUEZ REINOSO, f y MOLINA SABIO, m. El carbón activado en procesos de descontaminación, Universidad de Alicante, España.

En la planta ubicada en worthington se hizo un trabajo sobre la filtración con antracita y arena con el propósito de mejorar la calidad del agua y suplir completamente con la producción en las épocas de mayor demanda.

Esta planta consistía de doce filtros de presión de 8 pies de diámetro, con una capacidad de tratamiento de 1.5 m.g.d ²¹ y una rata de crecimiento de filtración de 1.67 g.p.m./pie² además de filtros lentos de arena con capacidad de tratar 1.2 m.g.d. y operados a 0.033 g.p.m./pie².

Estos lechos con las características mencionadas anteriormente incidieron de manera significativa, a continuación, se presentarán las características de la calidad del agua antes y después de la filtración con este tipo de lechos.

Figura 5. Resultados de la calidad del agua antes y después de la filtración.

	Antes de la Filtración	Después de la Filtración
Color (Hazen)	22	6
Turbiedad (mg/litro escala de sílice)	11	0.8
		mg/litro
Nitrógeno amoniacal como N	0.26	0.12
Nitrógeno albuminoide como N	0.26	0.17
Nitrógeno, nitritos como N	0.04	nada
Nitrógeno, nitratos como N	1.67	2.7
O ₂ de KMnO ₄ (4 horas a 27°C)	6.5	1.2
Hierro como Fe	0.16	0.02
Manganeso como Mn	0.45	0.04
Aluminio como Al	0.04	0.12

Fuente: <http://www.elaguapotable.com/filtracion.htm>

Como se observa los valores tuvieron un decremento significativo, que nos ayudan a comprender la importancia de este método y de lo que se quiere con esta investigación al tener parámetros y comparativos de antecedentes.

En base a los estudios de los exámenes en la planta, se decidió eliminar la sedimentación y construir 4 filtros rápidos por gravedad alimentados directamente para reemplazar los filtros a presión originales y la planta de filtros lentos. ²²

²¹ Se usan galones imperiales en el trabajo. Un galón imperial equivale a 1. Galones americanos.

²² ASOCIACION DE INVESTIGACION SOBRE EL AGUA. Conferencia sobre la filtración con antracita y arena. Universidad de Reading, enero 1972; trabajos (Medmenhhan, La asociación, 106 p). Citado por MILLER, Derek. Filtración con antracita y arena caso práctico en el reino unido, Inglaterra.

1.11 METODOLOGÍA

FASE I

En esta etapa se pretende abordar de forma clara y concisa todos los criterios relacionados con el comportamiento de los materiales en lechos filtrantes, las ideas acerca de este tema no son precisas y deben ser traducidas en problemas más concretos que ayuden al desarrollo de esta investigación, para lo cual se requiere una revisión bibliográfica de los temas relacionados. A Su vez la recopilación de las principales teorías en las cuales el proyecto se apoyará, para desarrollar cada una de las categorías planteadas en el problema.

La recopilación e interpretación de la información descrita anteriormente dará un punto de partida más preciso y criterios de inicio para el abordaje de esta investigación.

FASE II

En esta fase se hará la adquisición de todos los materiales, posteriormente se realizará la caracterización de los materiales (arena antracita, tierras diatomeas y carbón activado) y se evaluarán sus propiedades físicas y mecánicas a través de una serie de ensayos donde se identificarán parámetros como coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo.

Siguiendo los lineamientos y las normas geotécnicas colombianas y extranjeras para operar dentro de los rangos establecidos para el método de filtración.

FASE III

En esta fase se hará un bosquejo dimensional del prototipo de lechos filtrantes, donde se determinarán espesores de capa y los ensambles del cubículo que contará con tres módulos. El dimensionamiento a escala real del prototipo se realizará en AUTOCAD 2016, estos diseños del modelo serán verificados paso a paso por un docente tutor del programa de ingeniería civil.

Seguidamente se pondrá en ejecución la construcción del prototipo de lechos filtrantes, con los materiales especificados en la fase II. Siguiendo rigurosamente el proceso descrito en las normas geotécnicas colombianas para lograr obtener resultados de cada uno de los ensayos con menor margen de error.

A partir de la realización de estos se podrá observar el comportamiento de cada material y reunir la información necesaria que permitirá establecer y comparar parámetros de funcionamiento de los materiales.

FASE IV

Por ultimo en esta fase se entregará un informe que describa las características hidráulicas del funcionamiento de diferentes lechos filtrantes alternativos para la posible implementación en procesos de potabilización del agua una vez sea aceptado por las directivas y docentes del programa de ingeniería civil.

Una vez sean cumplidos los objetivos propuestos a inicio de esta investigación, se hará entrega del prototipo a las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia, con el fin de impulsar y promover el estudio de nuevas ideas y metodologías innovadoras de sistemas de filtración que sigan generando desarrollo para nuestro país.

2 CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA.

2.1 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO.

- a. Para la construcción del prototipo se utilizó acrílico $e= 5\text{mm}$, este espesor fue escogido con el propósito de soportar cargas y presiones que se generan con el material y el agua a filtrar.
- b. Escogido el tipo de acrílico a utilizar se hallaron las medidas y se hicieron los cortes de acuerdo al modelo planteado en AutoCAD 2017 (al modelo planteado inicialmente en el proyecto se le hicieron algunas mejoras, estas se hicieron para el buen funcionamiento del mismo), para la construcción del prototipo, dichas medidas fueron planteadas de tal manera que una vez construido el filtro no presentara fugas ni pandeo debido a las cargas que iba a soportar, también por sugerencias de conoedores en otros prototipos de filtración ya realizados y experimentados anteriormente.
- c. Después se empezó con el armado y pegues del prototipo, cada uno de estos se realizó con cloruro de metileno y se reforzaron varias veces para evitar filtraciones.

Imagen 1. Construcción de Prototipo de Filtración.



Fuente: Autor.

- d. Después de la verificación de los pegues en cada uno de los compartimientos se realizaron pruebas para descartar filtraciones y verificar de esta manera que el filtro quedara en óptimas condiciones para la utilización del mismo. Las pruebas hidráulicas realizadas al filtro se hicieron durante 72 horas de esta manera se observó que no había ninguna fuga de agua.

Imagen 2 .Pruebas de fuga al prototipo.



Fuente: Autor.

- e. Realizadas las pruebas hidráulicas al prototipo de filtración se hicieron las perforaciones a las tuberías con diámetros de 1" a $\frac{3}{4}$ ", éstas evacuaran el agua, instalación de accesorios como codos, reducciones, niples y válvulas de bola en PVC de $\frac{3}{4}$ " que permitieran el control del flujo, tanto para los desagües como para la llegada del agua procedente de la planta de tratamiento de agua potable al filtro.

Imagen 3. Adaptación de Desagües en tubería de PVC.



Fuente: Autor.

- f. Para la recolección de agua en las salidas de cada filtro se hicieron agujeros en la tubería de $\frac{3}{4}$ " de desagüe, así como la instalación de un tapón de $\frac{3}{4}$ " para evitar que el flujo se devolviera y así permitir la salida del agua ya filtrada, como

protección para evitar colmataciones de la tubería por materiales finos se instaló esponja de sabra la cual impide el paso de materiales y sedimentos que puedan ocasionar obstrucción en las tuberías de cada desagüe.

Imagen 4. Perforaciones de Desagües.



Fuente: Autor.

Imagen 5. Protección de Desagües.



Fuente: Autor.

- g. Después de la construcción de los desagües de cada lecho filtrante se empataron las tuberías con diámetros entre 1" a $\frac{3}{4}$ " tanto de salida como de llegada del agua del filtro.

Imagen 6. Instalación de Desagües.



Fuente: Autor.

Imagen 7. Instalación de Desagües.



Fuente: Autor.

h. Una vez adaptada la tubería de desagües, también se hicieron las instalaciones del agua proveniente de la planta al filtro.

i. se acondiciono una base de madera resistente al agua para soporte del prototipo de las siguientes dimensiones:

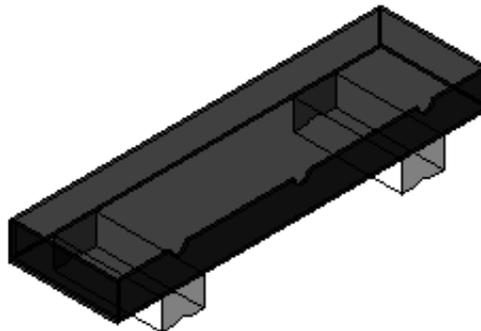
Larga: 0.62 m.

Ancho: 0.19 m.

Altura: 0.08 m.

se ensambló con tornillos negro aglomerado auto perforante 6x2-1/4" challenger.

Figura 6. Vista isométrica de la base.



Fuente: Autor.

2.2 OPERACIÓN DE LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Imagen 8. Planta de Tratamiento de Agua Potable.



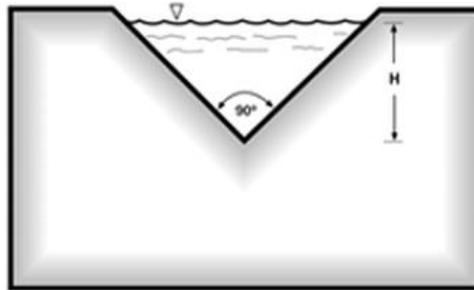
Fuente: Autor.

Para la puesta en marcha del filtro fue necesaria la utilización de planta piloto de tratamiento de agua potable que se encuentra en las instalaciones del laboratorio de aguas en la Universidad Católica de Colombia, para la lograr su funcionamiento fue necesario:

- La revisión y verificación del estado de cada uno de los módulos con los cuáles cuenta la planta piloto.
- Se revisó el manual de operación y mantenimiento que fue realizado por los constructores de la planta piloto, dentro del manual se encontraron datos los cuales fueron puestos en práctica para el buen funcionamiento de la misma.
- El diseño de la planta fue hecho con un vertedero triangular este permite graduar un caudal constante para el funcionamiento de la planta y del filtro y de esta manera evitar reboces en cada uno de los compartimientos con los cuales cuenta la planta y el filtro. Esta planta es de tipo convencional, cuenta con un sistema de aforo, floculación y sedimentación.

- d. Aplicando la fórmula de vertedero triangular se utilizó una altura de $H= 19.27\text{mm}$ para garantizar el caudal sugerido en el manual que tiene la PTAP este es de $Q= 0.1 \text{ L/S}$.

Figura 7. Vertedero Triangular



Fuente: <http://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-medidor-anemometro>

$$Cd = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad (1)$$

- e. Una vez calibrado el caudal se procedió a la caracterización del agua a trabajar. La planta contiene un tanque de almacenamiento con una capacidad de 500 litros, este cuenta con un proceso de recirculación del agua, esto permite que los sólidos no se sedimenten y de esta manera ser tratados apropiadamente dentro del proceso que se pretende realizar. La bentonita que se debe agregar para llegar a una turbiedad de 45 NTU es de 35 gramos según el manual, dato que se verifico con la toma de muestras para la titulación y de esta manera tomar la alcalinidad del agua que estaba en el tanque de almacenamiento, esta alcalinidad se debe verificar ya que el agua tiene cambios significativos con cada recolección (agua lluvia) y debido al tiempo que permanece almacenada para su uso. Los datos tomados en la muestra de agua fueron relacionados en la tabla que se muestra a continuación, en donde se muestra la caracterización del agua que contenía el tanque cuando se hizo la prueba a la planta y a la que se le agrego los 35 gramos de bentonita como se menciona en el manual.

Tabla 1. Parámetros de Caracterización del Agua. Fuente :Autor

Datos	Unidades	Resultados
Alcalinidad	(mg/L CaCO ₃)	27
Turbiedad	NTU	31.4
Conductividad	μS/cm	124.2
Resistividad	ΩK/cm	8.06
TDS	mg*L	65.6
Salinidad	--	0.1
Temperatura	°C	15.8
PH	--	7.63

- f. Realizada la prueba en la caracterización del agua se hizo la prueba tanto a la planta para verificar su funcionamiento, así como al filtro para soportar el caudal resultados que fueron los esperados y los demostrados en los cálculos.
- g. Finalizadas las pruebas de funcionalidad, se dio continuación a las pruebas para la caracterización de cada uno de los lechos filtrantes. En este paso nuevamente se caracterizó el agua que se encontraba en el tanque de almacenamiento, arrojando como resultados los relacionados en la siguiente tabla.

Tabla 2. Parámetros de Caracterización del Agua.

Datos	Unidades	Resultados
Alcalinidad	(mg/L CaCO ₃)	22
Turbiedad	NTU	38
Conductividad	μS/cm	121.8
Resistividad	ΩK/cm	8.26
TDS	mg*L	49.1
Salinidad	--	0.1
Temperatura	°C	16.1
PH	--	7.71

Fuente: Autor.

Cabe resaltar el cambio en los parámetros de caracterización del agua motivo por el cual se hace una nueva caracterización.

- h. Una vez caracterizada el agua y revisando su alcalinidad se realizó la dosificación de químico (Sulfato de aluminio tipo B). La mezcla que se adicionó fue de 2 gramos por 20 litros de agua destilada. Esta mezcla fue adicionada a la planta después del vertedero triangular, la dosificación se hizo a 45 rpm y esta se hizo mecánicamente por medio de un dosificador marca Watson Marlow perteneciente a la Universidad, el cual es alimentado por fuente eléctrica.
- i. Después se hizo la adaptación del filtro con cada uno de sus lechos por medio de tubería de PVC a la tubería de irrigación, este empate se dio desde la salida del sedimentador al filtro por medio de reducciones y codos de diámetros entre 1^{1/4}" a 3/4" que es el diámetro de llegada de la tubería en PVC a cada uno de los compartimientos de los lechos filtrantes, la cual permite que el filtro se llene con el caudal suministrado por la planta.

Imagen 9. Adaptación PTAP al Filtro.



Fuente: Autor.

- j. Dosificado el coagulante la planta se puso en funcionamiento hasta inundar cada uno de sus compartimientos y de esta manera la puesta en marcha del filtro

3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES A UTILIZAR.

Para los materiales planteados inicialmente se realizaron granulometrías, así conocer en detalle la gradación de estos y establecer el coeficiente de uniformidad, la carga superficial de cada filtro y otros valores que sirvieron como indicadores de relevancia para hacer la evaluación del comportamiento de cada material como un lecho filtrante.

Cada lecho tiene grava como capa inicial, para evitar la depositación, sedimentación y posible taponamiento de la tubería de drenaje de los filtros.

Para detalle del cálculo de las granulometrías diríjase a INV 123- 13. Para determinar el valor de la carga superficial se utilizó la siguiente formulación:

a. TAMAÑO PROMEDIO:

$$D_{prom} = \sqrt{d_1 * d_2} \quad (2)$$

Donde , d_1 = abertura en (mm) del tamiz inferior.

d_2 = abertura en (mm) del tamiz superior.

b. % RETENIDO:

$$\% \text{ RETENIDO} = \% \text{ retenido en tamiz inferior} + \% \text{ retenido en tamiz superior.} \quad (3)$$

c. NÚMERO DE REYNOLDS Re :

$$Re = \frac{v \phi}{\nu_c} \quad (4)$$

Donde , v = C_s carga superficial (m/d)

d. CALCULO C_d :

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad (5)$$

e. CALCULO $\frac{P_i}{d_i}$:

$$\frac{P_i}{d_i} = \frac{\% \text{ retenido entre mallas}}{\text{diametro promedio (cm)}} \quad (6)$$

f. NÚMERO DE REYNOLDS $Cd * \frac{P_i}{d_i}$:

$$Cd * \frac{P_i}{d_i} = Cd * \frac{\% \text{ retenido entre mallas}}{\text{diametro promedio (cm)}} \quad (7)$$

g. CALCULO $\frac{H}{L}$ PERDIDA DE CARGA , PARA :

PARA FILTRO RÁPIDO.

$$\frac{H}{L} = 0,178 \frac{V^2}{g e^4} \frac{\alpha}{\beta} * \sum Cd * \frac{P_i}{d_i} \quad (8)$$

Donde , V = Carga Superficial.

g = gravedad (9.8 m/s²)

e = porosidad , valor teorico e: 0.414

$$\frac{\alpha}{\beta} = 6$$

PARA FILTRO LENTO

$$\frac{H}{L} = 0,178 \frac{Cd * V^2}{g e^4} \frac{\alpha}{\beta} * \sum \frac{P}{d_i} \quad (9)$$

Hallar diámetro general.

$$d = \frac{\alpha}{\beta} * \frac{V}{A} \quad (10)$$

$$\frac{A}{V} = \frac{\alpha}{\beta} * \sum \frac{P}{d_i} \quad (11)$$

Calcular nuevamente número de Reynolds.

$$Re = \frac{V d}{V_c} \quad (12)$$

Calcular nuevamente Cd

$$Cd = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad (13)$$

Donde , V = Carga Superficial.

g = gravedad (9.8 m/s²)

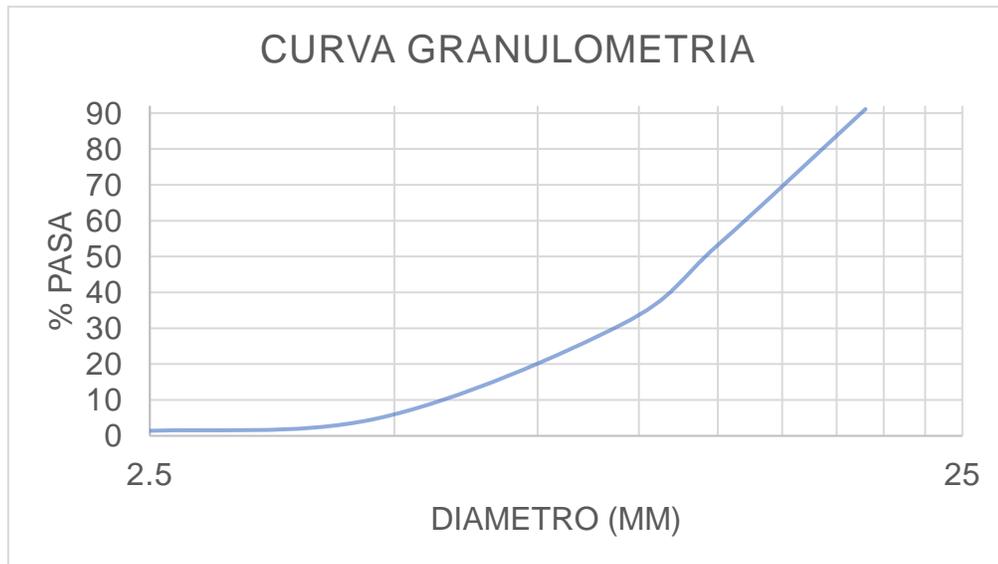
e = porosidad , valor teorico e: 0.394

$$\frac{\alpha}{\beta} = 6$$

3.1 GRAVA

Se caracterizó una muestra de 4 kilogramos (Kg), el resultado obtenido después de realizar la granulometría según la norma INV 123-13 se encontró que el 69.05 % del suelo es grava, 26.15 % del total de la muestra es grava fina y cerca del 5% de la muestra total es arena gruesa , sin embargo al calcular el coeficiente de uniformidad se obtuvo un valor de $C_u = 2.47$, todos los suelos con coeficiente de uniformidad menor < 5 indican que es un suelo uniforme , en este caso la grava es de tamaño uniforme , cuenta con un coeficiente de curvatura de $C_c = 1.17$, ya que su valor se encuentra en el rango de $[1 - 3]$ es un suelo bien gradado ,lo cual se evidencia en la siguiente gráfica.

Gráfica 1. Curva granulométrica de la Grava.



Fuente: Autor.

No se observa que la grava tenga discontinuidad en algún tamiz, se caracteriza por tener buena permeabilidad lo cual significa que su resistencia friccional al flujo no es alta , el tamaño de los poros de la grava aumenta la permeabilidad permitiendo que el descenso del agua sea más rápido , aunque debido a la distribución presentada en el ensayo se puede decir que ayuda a reducir la velocidad del agua y a distribuirla uniformemente , en este proceso la grava se encarga de eliminar algunos contaminantes . En la construcción del prototipo se utilizó esta grava previamente lavada , la cual sirvió de soporte de la capa de material siguiente, está distribuida de tal manera que al fondo del filtro quedaran los tamaños más grandes es decir grava gruesa y en la parte superior de la capa de grava quedaran las partículas de menor tamaño es decir la grava fina, esta capa básicamente se hace para generar una gran cantidad de vacíos y que de esta manera el flujo descendente por gravedad sea continuo ya que no retiene sólidos.

Se calculó con una carga superficial de $C_s = 254.12 \text{ m/d}$, y a partir de la relación H/L donde, H es la pérdida de carga y L el espesor de la capa en este caso 0.20 m , a partir de la formulación anterior se hallan las siguientes pérdidas de carga:

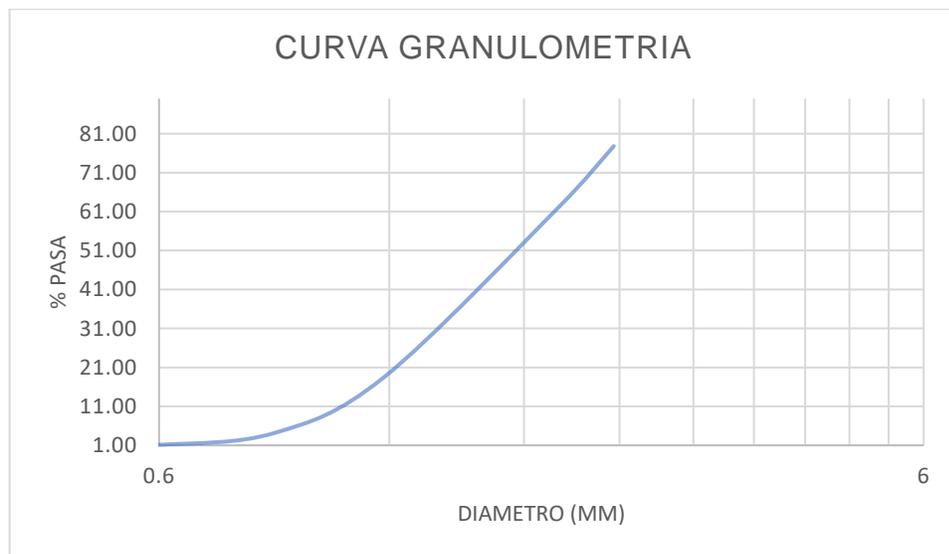
- ✓ Filtro rápido $H/L = 0.028 \Rightarrow H = 0.028 * 0.20 = 0.006 \text{ m/d}$
- ✓ Filtro Lento $H/L = 3.270 \Rightarrow H = 0.028 * 0.20 = 0.65 \text{ m/d}$

Se escoge la filtración que tenga menos pérdida de carga, lo cual indica en este caso que es una filtración rápida con una pérdida de carga de $H = 0.006 \text{ m/d}$ debido a la cantidad de vacíos que genera esta gradación.

3.2 ARENA ANTRACITA

Se caracterizó una muestra total de $1.5 \text{ kilogramos (Kg)}$, inicialmente se realizó una granulometría a este material según la norma INV 123-13, se encuentra que tiene 22.20% de arena gruesa, 77.07% del total de la muestra es arena media y cerca del 2% es arena fina. Se obtuvo un coeficiente de uniformidad de $C_u = 1.66$ lo cual indica que es un suelo uniforme, se encuentra un $C_c = 0.80$ este excede el rango sugerido, es decir que no está bien gradado, sin embargo, esta gradación es aceptable para la implementación en el prototipo.

Gráfica 2. Curva granulométrica de la arena antracita.



Fuente: Autor.

En la gráfica solo se tuvieron en cuenta los tamices N.30 hacia arriba, ya que los demás tamices con diámetros en (mm) inferiores, solo representan el 2% del total de la muestra. No se observa ningún tipo de discontinuidad en algún N. de tamiz, en la arena antracita la permeabilidad disminuye, debido a que la relación entre el

tamaño de los diámetros efectivos de cada material y la relación de vacíos es directamente proporcional, sin embargo, sigue siendo muy buena su tasa de filtración es decir que su resistencia friccional al flujo no es alta.

La antracita es un excelente medio de filtración, la implementación de este material en los filtros ayudo con la clarificación del agua, debido a la dureza y pureza. La antracita asegura un desempeño consistente y confiable debido a su forma angular.

Para calcular su pérdida de carga se realizó con una carga superficial de $C_s = 254.12$ m/d antes de realizar los cálculos se pudo deducir que se comportaría como filtro rápido debido a que soporta una carga superficial muy alta, y a partir de la relación H/L donde, H es la pérdida de carga y L el espesor de la capa en este caso 0.40 m, se halló:

- ✓ Filtro rápido $H/L = 0.179 \Rightarrow H = 0.179 * 0.40 = 0.0720$ m/d
- ✓ Filtro Lento $H/L = 119.14 \Rightarrow H = 119.14 * 0.40 = 47.66$ m/d

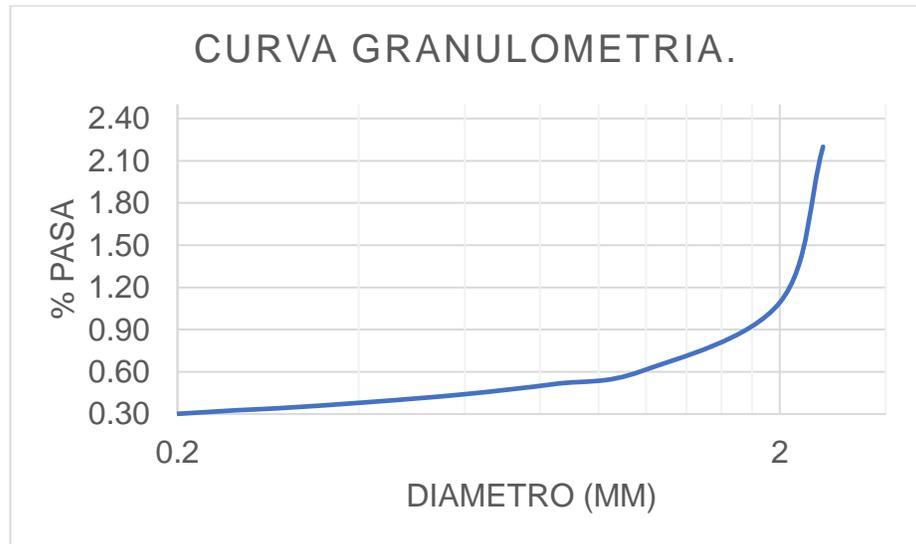
Se observa que si se tratara de un filtro lento la pérdida de carga que este presentaría sería excesiva, por lo cual se corrobora que la arena antracita se comporta en este caso como un filtro rápido, generando solamente una pérdida de carga de $H = 0.0720$ m/d, algo bastante positivo para la implementación en este filtro.

Este resultado está sujeto a que la arena antracita tiene propiedades que destacan su resistencia a la abrasión, y su baja tendencia a la aglomeración, teniendo en cuenta que la pérdida de carga se debe únicamente al tamaño, forma y porosidad de los granos de la antracita.

3.3 CARBÓN ACTIVADO

Para la caracterización de este material se tomó una muestra de 900 gramos (gr) se realizó su granulometría según norma INV 123-13 evidenciando de esta manera que la muestra pasa el tamiz número 4 indicando que es un material con partículas gruesas, el cual se encuentra dentro del grupo de arena gruesa, este tamaño de partículas genera una mayor tasa de filtración. Dentro de los cálculos realizados podemos observar que el coeficiente de uniformidad $CU = 1.48$ indica que es un material uniforme, también arroja un coeficiente de curvatura $C_c = 0.89$ este indica una gradación uniforme en sus tamaños lo que genera una filtración adecuada, ya que no hay presencia de granos finos que genere obstrucción en el proceso de filtración. En la siguiente grafica se puede evidenciar el comportamiento del tamaño de sus partículas.

Gráfica 3. Curva granulométrica del Carbón Activado.



Fuente: Autor.

Dentro de la gráfica no se observa que se genere discontinuidad en los resultados lo que evidencia la uniformidad del material. Esta permite mejor desempeño en el material, además brinda algunas características y beneficios en el proceso de filtración como son: buena tasa de filtración, óptima velocidad de filtración, permite que el flujo de agua filtrada sea continuo, la distribución del agua al ser pasada por el material permite que abarque toda el área del mismo y de esta manera se genera una mejor filtración ya que el recorrido es uniforme.

Una buena caracterización y buen tamizado en el material va a permitir la remoción de sólidos suspendidos que puede contener el agua. El carbón activado tiene múltiples características en el tratamiento de aguas y purificación de las mismas.

El funcionamiento del filtro con carbón activado se realizó con un espesor de capa $e=0,40$ m cuando se realizó la evaluación del material y se halló una pérdida de carga de la siguiente manera, para:

- ✓ Filtro Rápido= $h/l=0,086$ $H=0,086*0,40= 0,035$ m/d
- ✓ Filtro Lento= $h/l=29,15$ $H=29,15*0,40= 11,66$ m/d

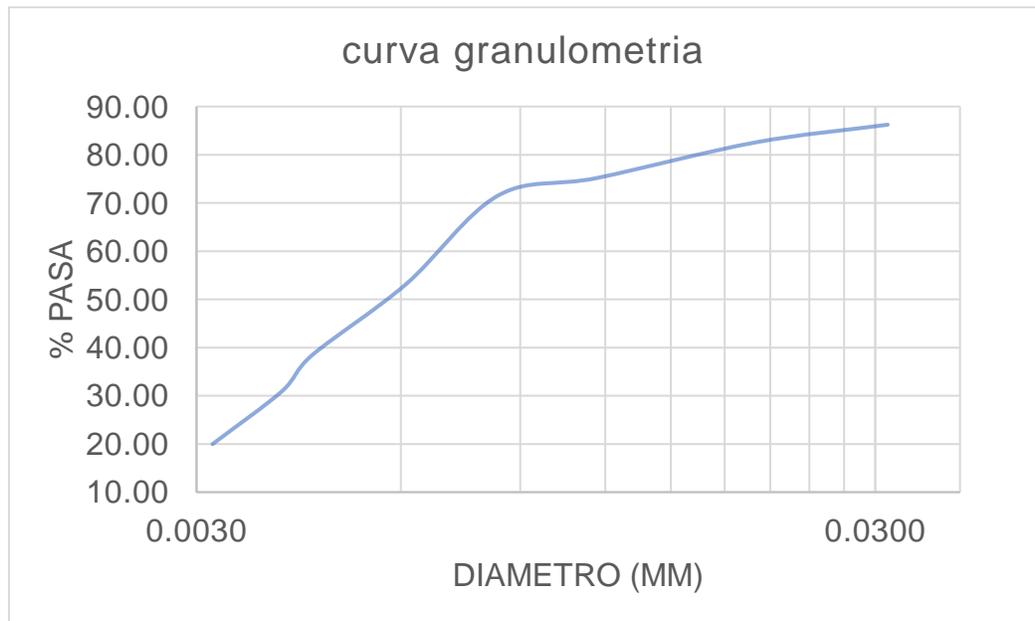
El filtro rápido nos genera menos pérdida de carga, por lo tanto, este filtro presentará dicha filtración. Debido al tamaño de sus partículas hace que la filtración sea más eficiente evitando que el filtro se colmate y brindando mejoras significativas en el proceso de filtración.

3.4 TIERRAS DIATOMEAS

Debido al tipo de material fue necesario realizar una granulometría por hidrómetro ya que el tamaño de la partícula pasa el tamiz número 200, como lo describe la norma INV 123-13 de esta manera el material se caracteriza como un suelo fino, pero no presenta ninguna plasticidad esta es una de las características que es aprovechada al ser usado como medio de filtración.

Para la caracterización de este material por hidrometría se tomó una muestra de 50 gramos del material y se realizó el ensayo arrojando como resultados, coeficiente de uniformidad $CU= 5,89$ lo que indica que es un suelo no uniforme y un coeficiente de curvatura $CC= 1,93$ lo que indica que la distribución de sus tamaños intermedios es buena, como lo indica la curva granulométrica.

Gráfica 4. Curva granulométrica del Diatomeas.



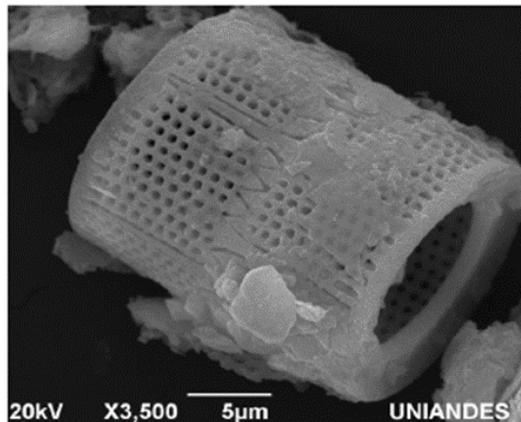
Fuente: Autor.

Las diatomeas se consideran un buen material de filtración debido a su gran contenido de porosidad por su origen y procedencia de algas fosilizadas microscópicas y composición cristalizada. Esta porosidad hace que tengan cualidades de filtración y remoción de sólidos suspendidos, también presenta cualidades de purificación y filtrado, esto se debe a su fosilización durante millones de años.

Las diatomeas a pesar de su granulometría y al ser considerado un suelo fino, no tiene presencia de arcillas, cualidad que permite su utilización en procesos de filtración. Estas partículas finas presentan baja permeabilidad y buena retención de

los sólidos. Es por eso que se toman como medio filtrante debido a sus diferentes caracterizaciones, pero es de suma importancia tener en cuenta que cuando las tierras diatomeas entran en contacto con el agua se solidifican y presentan una alta aglomeración entre sus partículas, ya que químicamente se caracteriza por ser material silíceo.

Figura 8. Vista Tierras Diatomeas en microscopio electrónico.



Fuente: B. Caicedo, D Zuluaga, C. Slebi.

4. FASE DE EXPERIMENTACIÓN PARA LA CONFORMACIÓN DEL FILTRO DE TIERRAS DIATOMEAS

En esta fase se realizaron varias pruebas piloto, que nos permitieron establecer espesores de capa en especial para las tierras diatomeas, debido a la falta de experimentación he implementación de este tipo de material en la purificación de agua, a continuación, se describirán algunas pruebas con sus respectivas observaciones.

4.1 PRUEBA PILOTO 1 – DIATOMEA

Para esta prueba se utilizan los siguientes materiales: Arena antracita, tierras diatomeas, arena de peña y grava.

Tabla 3. Relación de espesores prueba piloto 1.

PRUEBA PILOTO 1 (Diatomea.)	
FILTRO	h (cm)
Antracita	2
Diatomea	8
Antracita	4
diatomea	0.3
Antracita	5
arena de peña	3
diatomea	0.3
arena de peña	2
diatomea	0.3
arena de peña	2
diatomea	0.3
arena de peña	4
Grava	7

Fuente: Autor.

Para el filtro de esta manera se calcula una tasa de filtración que será un indicador para determinar la eficiencia.

Imagen 10. Prueba piloto 1.



Fuente: Autor.

Imagen 11. Prueba piloto 1.



Fuente: Autor.

Se determinaron midiendo el volumen desplazado en determinado tiempo, conociendo previamente el área superficial.

Tabla 4. Cálculo del caudal de filtro prueba piloto 1.

Δt (min)=	242
Δt (s)=	14520
\varnothing (cm)=	16.5
Δh (cm)=	8
V (cm ³)=	1710.6
V (L)=	1.711
Q (l/s)=	1.20E-04

Fuente: Autor.

Al hacer esta prueba se observa que solo puede tratar un caudal de $Q=1,20E-04$ l/s, el cual no es suficiente para tratar ni la tercera parte del caudal que sale de la planta, debido a que entre los tres filtros tienen que tratar como mínimo un caudal de $Q=0.1$ l/s, es decir que a cada uno le corresponde un caudal de $Q_i=0.03$ l/s, si cada filtro no trata este caudal como mínimo se corre el riesgo de que se colmate y exceda su cabeza de presión.

En esta primera prueba cuando se pone en funcionamiento, se observa una gran disminución en la altura de la capa de las tierras diatomeas, esto se debe al aglutinamiento de las diatomeas, pues ellas al entrar en contacto con el agua, forman una capa homogénea de material, que a simple vista parece impermeable y al ser un material tan fino tiende a comportarse como una arcilla no plástica.

Pues lo que se buscaba al realizar esta primera prueba era un acercamiento a un posible espesor de la capa de tierras diatomeas a utilizar, primero se encontró una disminución importante en el espesor , pues su espesor inicial fue de $E_0 = 8.0$ cm y su espesor final fue de $E_f = 5.0$ cm , lo que indica una variable de relevancia si en algún momento se pretende implementarlo en un filtro para purificación de agua de flujo continuo pues un $\Delta E = 3.0$ cm indica que probablemente con el tiempo empiece a perder su espesor original , pues en este primer experimento se observa que parte de esta se va contenida en el color y la otra parte tiende a aglutinarse y formar una capa de menor espesor pero más sólida.

Para las capas inferiores de menor espesor el comportamiento fue un poco mejor , aunque el flujo de agua se tardó cerca de 2 días en llegar a las capas inferiores , una vez llegó se pudo observar un incremento en la velocidad del flujo , sin embargo el objetivo de esta prueba era analizar el comportamiento del filtro con esta configuración y fue descartada , por su ineficiencia para tratar como mínimo la tercera parte del caudal total que entra a los filtros, por el comportamiento de la capa de 8 cm de tierras diatomeas y por su incremento en el color del agua del efluente .

4.2 PRUEBA PILOTO 2 – DIATOMEA

Para realizar esta prueba se establecieron los siguientes materiales de prueba: grava, arena de peña, Arena antracita y diatomea. Pero variando sus espesores

Tabla 5. Relación de espesores prueba piloto 2.

PRUEBA PILOTO 2 (diatomea)	
FILTRO	h (cm)
Antracita	4
diatomea	0.3
Antracita	5
arena de peña	3
diatomea	0.3
arena de peña	2
diatomea	0.3
arena de peña	2
diatomea	0.3
arena de peña	4
Grava	7

Fuente: Autor.

Imagen 12. Prueba piloto 2.



Fuente: Autor.

Imagen 13. Prueba piloto 2.



Fuente: Autor.

Se determinó la tasa de filtración midiendo el volumen desplazado en determinado tiempo, conociendo previamente el área superficial.

Tabla 6. Calculo del caudal de filtro prueba piloto 2.

Δt (min)=	14
Δt (s)=	840
\varnothing (cm)=	16.5
Δh (cm)=	10.5
V (cm ³)=	2245.2
V (L)=	2.245
Q (l/s)=	2.67E-03

Fuente: Autor.

Debido a los resultados de la PRUEBA PILOTO 1, para esta segunda prueba se redujeron los espesores de las capas de las diatomeas como se observa en la Tabla 6. (Relación de espesores prueba piloto 2), pues al hacer esta prueba se observa que el filtro propuesto de esta manera solo puede tratar un caudal de $Q=2,67E-03$ l/s, el cual con respecto a la prueba pasada tuvo un incremento importante, sin embargo, sigue siendo insuficiente para tratar como mínimo una tercera parte del caudal total, al utilizar esta opción en el filtro a escala real, solo estaríamos asegurando una colmatación del filtro y un exceso en la cabeza de presión ya fijada.

Para esta configuración de espesores la tierra diatomea presenta mejor comportamiento al reducir su espesor, aumenta el caudal que puede manejar y su

aporte de color al efluente es menor. Otro factor que se cree que afecto el comportamiento del filtro es el uso de tamaños muy pequeños en la arena de peña, ya que cuando el diámetro del material filtrante es muy pequeño, se reducen la cantidad de vacíos lo cual hace que se aglutinen con mayor facilidad las partículas generando un aumento en su resistencia friccional al flujo, provocando una disminución en su permeabilidad y haciendo que el tiempo de descenso del flujo sea mayor.

Para concluir esta configuración se descartó porque es incapaz de manejar un caudal mínimo sin embargo se destaca de esta configuración su disminución en el aporte de color al efluente.

4.3 PRUEBA PILOTO 3 – DIATOMEA

Para realizar esta prueba se establecieron los siguientes espesores de prueba: se utilizó grava, arena de peña, Arena antracita y diatomea.

Tabla 7. Relación de espesores prueba piloto 3.

PRUEBA PILOTO 3 (Diatomea).	
FILTRO	h (cm)
Antracita y diatomea	10
Antracita	4
diatomea	0.3
Antracita	5
arena de peña	3
diatomea	0.3
arena de peña	2
diatomea	0.3
arena de peña	2
diatomea	0.3
arena de peña	4
Grava	7

Fuente: Autor.

Se determina una tasa de filtración, midiendo el volumen desplazado en determinado tiempo, conociendo previamente el área superficial.

Imagen 14.Prueba piloto 3.



Fuente: Autor.

Imagen 15.Prueba piloto 3.



Fuente: Autor.

Tabla 8.Calculo del caudal de filtro prueba piloto 3.

Δt (min)=	107
Δt (s)=	6420
\varnothing (cm)=	16.5
Δh (cm)=	7
V(cm ³)=	1496.8
V(L)=	1.497
Q (l/s)=	2.3E-04

Fuente: Autor.

Debido a los resultados de la PRUEBA PILOTO 2, para esta tercera prueba se decide mezclar las tierras diatomeas con la arena antracita para conocer su eficiencia con esta configuración como se observa en la imagen 15. (Prueba piloto 3). Se utilizaron 10 cm de espesor de la capa conformada por tierras diatomeas y arena antracita, y se conservan con la misma configuración las capas inferiores.

Para esta prueba el resultado fue negativo, pues de todas las pruebas que se realizaron a ese momento, fue la configuración más desfavorable, pues solo es capaz de tratar un caudal $Q= 2,3E-04$ l/s, el cual es ineficiente. Pues estuvo a prueba cerca de una hora y media y el volumen desplazado fue muy poco.

La baja eficiencia del material se debe al fenómeno de filtro lento no estratificado, que sucede cuando las partículas se colocan de menor a mayor tamaño según sus densidades y sus diámetros. Las partículas más grandes se van al fondo y las de menor diámetro quedan en la parte superior; debido a este fenómeno la porosidad disminuye, ya que los granos pequeños se meten en los grandes disminuyendo el área de paso y porosidad.

Cuando terminó de filtrar toda la cantidad de agua con la que se había hecho la prueba, pasado un tiempo las tierras diatomeas empezaron a subir hacia la superficie debido a que su densidad es menor a la de la arena antracita, como sabemos los materiales menos densos tienden a aumentar su volumen por esta razón sus moléculas se separan y suben, cabe la pena resaltar que esto sucedió porque se dejó que toda la cantidad de agua se filtrara y claramente a la hora de operar siempre va a estar lleno y va a mantener una cabeza constante de presión , pero cuando las tierras diatomeas suben se empieza a formar una película homogénea de material como se observa en la Imagen 14.(Prueba piloto 3) , lo cual genera un incremento en su resistencia friccional al flujo de agua lo que explica su aumento notorio en el tiempo en el que filtra un volumen determinado de agua. Finalmente se descarta esta configuración por su inhabilidad para tratar el caudal mínimo ya establecido.

4.4 PRUEBA PILOTO 4 – DIATOMEA

Para realizar esta prueba se establecieron los siguientes espesores de prueba: se utilizó grava, arena de río, Arena antracita y diatomea.

Tabla 9.Relación de espesores prueba piloto 4.

PRUEBA PILOTO 4 (Diatomea).	
FILTRO	h (cm)
arena de río	8
diatomea	0.8
arena de río	3
diatomea	1.5
arena de río	2
diatomea	2.5
arena de río	2
diatomea	3.5
arena de río	4
Grava	20

Fuente: Autor.

Esta prueba decide realizarse en el cubículo del prototipo real, con un nuevo material (arena de río) y se determinó el caudal que puede tratar, el cual será un indicador de eficiencia.

Imagen 16.Prueba piloto 4.



Fuente: Autor.

Imagen 17.Prueba piloto 4.



Fuente: Autor.

Tabla 10.Calculo del caudal de filtro prueba piloto 4.

Δt (min)=	4624
Δt (s)=	277440
Área (m ²)=	0.034
Δh (cm)=	6
V(cm ³)=	0.2040
V(L)=	2.0E-04
Q (l/s)=	7.E-10

Fuente: Autor.

Esta configuración de espesores y materiales no resulto muy positiva, pues como se observa en la tabla anterior el caudal $Q = 7, E-10$ l/s que está en capacidad de manejar es casi nulo, pues se dejó a prueba durante casi 3 días y 5 horas, y solo se desplazó un volumen de $V(L) = 2,0E-4$ durante el tiempo de prueba, es decir que respecto a las anteriores pruebas piloto el tiempo que tardó para filtrar determinado volumen es mucho mayor.

La arena de río con la diatomea tendió a formar una sola capa bastante robusta, lo cual generó un sello que en su superficie y sufrió un aumento grande en la resistencia friccional al flujo, lo que una vez consolidado impidió el paso completamente del agua.

Esta capa robusta mencionada anteriormente pudo haberse generado por la mezcla entre los finos de ambos materiales. Claramente fue un descarte total para la configuración del filtro de esta manera, cabe la pena resaltar que en este tipo de configuración hubo un aporte color importante, lo cual no es positivo.

4.5 PRUEBA PILOTO 5 – DIATOMEA

Para realizar esta prueba se establecieron los siguientes espesores de prueba: se utilizó grava, arena antracita y diatomea.

Tabla 11. Relación de espesores prueba piloto 5.

PRUEBA PILOTO 5 (Diatomea).	
FILTRO	h (cm)
Antracita	4
Diatomea	0.3
Antracita	3
Diatomea	0.3
Antracita	3
Diatomea	0.3
Antracita	3
Diatomea	0.3
Antracita	3
Diatomea	0.3
Antracita	4
Grava	20

Fuente: Autor.

Esta prueba decide realizarse en el cubículo del prototipo real, se determinó midiendo el volumen desplazado en un tiempo conocido, teniendo previamente el área superficial.

Imagen 18. Prueba piloto 5.



Fuente: Autor.

Imagen 19. Prueba piloto 5.



Fuente: Autor.

Tabla 12. Calculo del caudal de filtro prueba piloto 5.

Δt (s)=	42.46
Área (cm ²)	340
Δh (cm)=	10
V(cm ³)=	3400
V(L)=	3.400
Q (l/s)=	8.0E-02

Fuente: Autor.

Debido a los ensayos anteriores, se optó por utilizar un medio de filtración rápida, es decir la arena antracita con las tierras diatomeas, para esta configuración de espesores obtuvimos un caudal de $Q=0.08$ l/s, pues hubo un cambio notorio en esta configuración, maneja caudal suficiente para operar en el filtro pues soporta casi el caudal total de la planta.

En esta prueba se decide trabajar las tierras diatomeas con un espesor de menos altura, se manejaron espesores entre [1mm-3mm], ya que por los ensayos anteriores se experimenta que las tierras diatomeas en la presentación que se manejó es decir con contenido de finos altos no es viable conformar capas de mayor espesor a los indicados, porque se pueden formar sellos casi impermeables.

Resaltando que el aporte de color con esta configuración no fue tanta como en los ensayos anteriores, y la disminución del espesor de las capas de tierras diatomeas no fue mayor, es decir que la cantidad de tierras diatomeas es inversamente proporcional a la pérdida de espesor de la misma en la capa.

La partícula de la arena antracita es muy angulosa lo cual es beneficioso porque no se desliza con tanta facilidad, ni llena con tanta facilidad los vacíos, es decir que no trata de depositarse, sino que se mantiene sobre la cama de grava.

4.7 CONFIGURACIÓN ESCOGIDA PARA LA CONFORMACIÓN DEL LECHO DE TIERRAS DIATOMEAS

Con el cálculo de los caudales que puede tratar cada uno de los filtros, se puede dar una cercanía de una buena configuración para implementar en el filtro, sin embargo, se hizo una caracterización del agua filtrada en dos diferentes configuraciones de posibles filtros. De esta manera se escogió con más seguridad el filtro permanente a instalar.

Tabla 13. Características de un agua en dos filtros.

	Unidades	Filtro prueba piloto 2	Filtro Prueba piloto 6
Turbiedad	NTU	45	41
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	115.2	92.6
Resistividad	$\Omega\text{K/cm}$	12.15	10.82
TDS	mg^*L	53.4	43.1
Salinidad	--	0.1	0
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	16.1	16.2
PH	--	7.71	7.51

Fuente: Autor.

Se observa que la turbiedad es muy alta en ambas configuraciones, pero la del filtro prueba piloto 5 presenta turbiedad un poco más baja, se tienen conductividades que se encuentran dentro de los rangos establecidos en el decreto 475 de 1998 para agua potable y agua segura. La resistividad en ambas muestras está cercana sin embargo entre más bajo sea el valor de la conductividad nos indica mejor calidad del agua y menor cantidad de sales disueltas. La salinidad presente es casi nula lo cual es positivo y después de la filtración el PH del Filtro prueba piloto 5 se encuentra un poco más bajo, de acuerdo a los resultados y a su análisis, se decide trabajar con la configuración establecida para el filtro de la prueba 5, todos los valores de los parámetros indican mayor efectividad del lecho filtrante, los espesores y los materiales utilizados para su conformación.

5. RESULTADOS.

A continuación, se mostrarán los filtros y sus respectivos muestreos del agua problema. Este muestreo se realizó de manera aleatoria en la etapa de prueba en varios puntos de la planta y el filtro utilizado para realizar todo el proceso de experimentación , teniendo como punto 1 de muestra , el agua lluvia que se recolecta en un tanque que se encuentra ubicado en la parte externa del laboratorio de plantas de la universidad católica de Colombia , el punto 2 de muestra se realiza al tanque de la planta de tratamiento de agua potable ubicado dentro del laboratorio de plantas , el punto 3 de muestra se realizó en la entrada a la planta de tratamiento de agua potable , específicamente antes del vertedero de sección triangular , el punto 4 de muestreo se realizó a la salida del floculador , punto 5 salida del sedimentador , punto 6 entrada al filtro , punto 7 salida del filtro 1 (grava , carbón activado), punto 8 salida del filtro (grava, diatomea) y punto 9 (grava, arena antracita). Esto con el fin de darle seguimiento al proceso de purificación, caracterizando el agua en los puntos especificados anteriormente.

Imagen 20.Localización de puntos de toma de muestras.



Fuente: Autor.

5.1 CARACTERIZACIÓN AGUA DEL PUNTO (1 -6)

Tabla 14. Tabla caracterización del agua en puntos.

PARÁMETROS DE ANÁLISIS							
	Unid.	1	2	3	4	5	6
Turbiedad	NTU	38	108	43	38	31	30
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	121.8	91.3	85.2	81.4	81.7	82.5
Resistividad	$\Omega\text{K/cm}$	8.26	10.88	11.76	12.32	12.23	12.16
TDS	mg*L	64.1	49.1	44.5	42.9	43.4	43.6
Salinidad	--	0.1	0	0	0	0	0
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	16.1	14.7	16.1	16.6	15.8	15.6
PH	--	7.71	7.02	7.02	7.02	7.02	7.01
Color	Pt/Co	--	338	--	--	--	236
Hierro	Mg/L	--	--	--	--	--	0.67

Fuente: Autor.

Del punto 1 al 6, se realizó una caracterización del agua, en donde se evalúan algunos parámetros de la calidad del agua, la prueba en el punto uno (1) es el agua proveniente de la lluvia que es recolectada en un tanque, esta agua presenta una turbiedad baja respecto a la turbiedad tomada en el punto dos (2), aunque hay que tener en cuenta que el agua en el segundo punto se contamina con bentonita, por esa razón es el punto donde se registra mayor turbiedad, quiere decir que el tanque del agua problema tiene mucha presencia de sólidos en suspensión e imposibilitan el paso de la luz. Se observa que la turbiedad a través de cada una de las fases que realiza la planta disminuye gradualmente, es decir que el índice de productividad está en aumento, lo cual permite que el agua poco a poco vaya logrando su transparencia. La turbiedad del agua en el punto 6, es decir la que entra al filtro con una turbiedad de 30 NTU, sin embargo, sigue siendo alto el índice de productividad pues debido a que la mayoría de las partículas que se encuentran suspendidas aportan color, no dejan que el agua logre ser transparente. Tener una turbidez muy alta podría generar problemas si se fuera a realizar un proceso de cloración debido a que reducen la eficiencia del proceso este proceso, ya que las partículas causantes de la turbidez tienden a blindar microorganismos.

Una vez entra en la planta de tratamiento el agua, tiene una conductividad promedio de $82.7 \mu\text{S/cm}$, según los dos primeros puntos de muestras se presentan valores para la conductividad más altos, sin embargo, todos los valores se encuentran dentro de los rangos establecidos en el decreto 475 de 1998, donde se especifican valores entre $[50-1000] \mu\text{S/cm}$ para agua potable y un valor para la conductividad de $<1500 \mu\text{S/cm}$ para agua segura; lo que se traduce en una baja capacidad de conducir corriente eléctrica y según los valores encontrados no tiene mucha presencia de sales disueltas.

Para la resistividad se encuentran valores cercanos entre todos los puntos de muestreo, la resistividad más baja se presenta con un valor de 8.26 Ω K/cm en el punto 1 y la más alta se registra en el punto 4 a la salida del floculador específicamente con un valor 12.32 Ω K/cm, lo cual indica el comportamiento frente al paso de la corriente eléctrica, los valores bajos de la resistividad como en este caso nos indica que esta agua es un buen conductor, pues cuando este agua aumenta de temperatura, aumenta su resistividad. En cuanto a los sólidos totales se ve una disminución durante toda la trayectoria (durante el paso por cada una de las fases), sin embargo, está lejos de salir de los parámetros establecidos en el decreto 475 de 1998, se encuentran por debajo de <500 de mg*L para agua potable y por debajo de <1000 mg*L para agua segura. La cantidad registrada nos está indicando el total de residuos sólidos filtrables.

Registra un valor de cero para la salinidad en la mayoría de los puntos, significa que esta agua no tiene contenido salino, es decir que no tiene sabor que tiende a ser salado de típicas aguas con altos valores de salinidad, maneja un PH promedio de 7.02, el cual se encuentra dentro de los límites [6.5 -9.0] que son los establecidos en el decreto 475 de 1998.

Al tomar la muestra para analizar color en el punto 2 arroja un resultado de 338 Pt/Co lo que indica que este parámetro es elevado por la procedencia y alteración que se le dio por agregar la bentonita. En el punto 6 a la salida de la planta se observa un contenido de color de 236 Pt/Co, el cambio se debe a la eliminación del mismo durante el recorrido por la planta de tratamiento de agua potable. El contenido de hierro arrojado fue de 0.67 mg/L este problema es frecuente en este tipo de aguas.

5.2 CARACTERIZACIÓN AGUA DEL PUNTO 7 (CARBÓN ACTIVADO)

En el punto 7 encontramos el lecho filtrante con el carbón activado, sus resultados están relacionados en la siguiente tabla.

Tabla 15. Tabla caracterización del agua punto 7. Carbón Activado

PARÁMETROS DE ANÁLISIS		
	Unidades	7
Turbiedad	NTU	12
Conductividad	μ S/cm	78.6
Resistividad	Ω K/cm	12.71
TDS	mg*L	41.9
Temperatura	$^{\circ}$ C	16.3
PH	--	6.81
Color	Pt/Co	169
Hierro	Mg/L	0.36

Fuente. Autor.

Dentro de los parámetros tomados la turbiedad es de 12 NTU es un resultado importante ya que podemos evidenciar un antes y después del proceso de filtración ya que el agua entra al filtro con una turbiedad de 22 NTU, esto arroja que el material utilizado cumple con una alta remoción de este parámetro y está más cerca de ser un agua aceptable según los parámetros descritos en el decreto 475 de 1998.

La conductividad se asemeja a la capacidad que tiene un agua de conducir corriente eléctrica este parámetro se encuentra entre 78.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, disminuyo una vez filtrada el agua, al estar relacionada con los sólidos suspendidos y el contenido de sal hace que este parámetro al igual que los demás disminuya.

Se observa que la resistividad tiene un valor de 12.71 $\Omega\text{K}/\text{cm}$, esta se define como la oposición de conducir corriente eléctrica. Parámetro que al pasar por el proceso de filtración al igual que los anteriores parámetros ha disminuido.

Los sólidos suspendidos (TDS) 41.9 mg^*L al pasar por el carbón activado remueven una gran cantidad de sólidos, este parámetro hace que el agua mejore su color y sea un agua más segura.

Una vez adicionado el coagulante se evidencia que la salinidad queda en cero durante todo el recorrido por la planta de tratamiento de agua potable, así como por cada uno de los lechos filtrantes.

El PH registrado en la salida del carbón activado es de 6.81 lo cual indica que es un agua acida. El color arrojado después de haber pasado por el carbón activado fue de 169 Pt/Co hubo una remoción de color, pero no fue la esperada, para cumplir con los parámetros de agua segura. En la muestra de Hierro se presenta una remoción de 0.36 mg/L valor que tiene una disminución lo que indica buena eficiencia del material.

5.3 CARACTERIZACIÓN AGUA DEL PUNTO 8 (TIERRA DIATOMEA)

Tabla 16. Tabla caracterización del agua punto 8. Tierras Diatomeas

PARÁMETROS DE ANÁLISIS		
	Unidades	8
Turbiedad	NTU	25
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	86.7
Resistividad	$\Omega\text{K}/\text{cm}$	11.52
TDS	mg^*L	32.4
Salinidad	--	0
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	16.3
PH	--	7.44
Color	Pt/Co	209
Hierro	Mg/L	0.31

Fuente. Autor.

Al caracterizar el agua a la salida del filtro de las tierras diatomeas, se encontró una turbiedad mayor en comparación a los otros dos filtros, pues una turbiedad de 25 NTU indica un aumento respecto al agua que entra al filtro, quiere decir que hay un aporte de color por las diatomeas dificultando el paso de la luz a través de esta. un aumento en la turbiedad genera una baja en la productividad impidiendo que llegue a un color transparente y sea agradable estéticamente. Sin embargo, se evidencia un valor de sólidos suspendidos de TDS = 32.4 mg*L, es menor con respecto a los otros dos filtros analizados, pues presenta menor cantidad de residuos sólidos filtrables esto indica la eficiencia y el aporte de las tierras diatomeas en la eliminación de solidos suspendidos, el valor se encuentra dentro de los rangos establecidos en la normativa.

El PH tiende a subir en relación con los otros dos filtros analizados, es un agua con tendencia a ser alcalina, sin embargo, se encuentra dentro de los valores establecidos para este parámetro [6.5 -9.0]. Presenta una salinidad de cero, es decir que no posee sales minerales disueltas y no tiene aporte de sabor al agua. Cuando baja el contenido de sales minerales en el agua también baja la conductividad.

Debido a la granulometría ya mencionada lo que hace es generar color en la muestra, con un valor de 209 Pt/Co. Al hacer la medición de hierro presenta una disminución favorable arrojando un valor de 0.31 mg/L llegando a cumplir con lo establecido en el decreto 475 de 1998 para un agua segura.

5.4 CARACTERIZACIÓN AGUA DEL PUNTO 9 (ARENA ANTRACITA)

Tabla 17. Tabla caracterización del agua punto 9. Arena Antracita

PARÁMETROS DE ANÁLISIS		
	Unidades	9
Turbiedad	NTU	6
Conductividad	μS/cm	75.1
Resistividad	ΩK/cm	13.3
TDS	mg*L	36.4
Salinidad	--	0
Temperatura	°C	16.4
PH	--	6.85
Color	Pt/Co	26
Hierro	Mg/L	0.39

Fuente. Autor.

En el punto 9 se observa que la muestra tomada arroja unos resultados de turbiedad de 6 NTU siendo la turbiedad más baja, de esta manera se observa un mayor grado de calificación es decir donde la luz puede pasar sin ningún tipo de problema, siendo el contenido de sólidos menor y así el color de agua también cambia significativamente, de esta manera se evidencia que la calidad del agua varía a través del proceso de la filtración.

La conductividad arrojada $75.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ al pasar por el lecho filtrante se tiene una reducción en el agua de conducir corriente eléctrica, al no presentarse sales disueltas y al haber cambios de temperatura hace que la conductividad disminuya.

Al medir la resistividad se obtiene $13.3 \Omega\text{K}/\text{cm}$, presenta un aumento en este parámetro, ya que al ser sometida a través del lecho filtrante baja su conductividad, es debido a eso el aumento de su resistividad ya que estos dos parámetros son directamente proporcionales.

Los sólidos suspendidos (TDS) tienen un valor de $36.4 \text{ mg}^*\text{L}$ en la muestra, se evidencia que este parámetro baja significativamente el cual mejora la calidad del agua, ya que su apariencia física cambia significativamente en comparación con la muestra tomada en la etapa inicial al proceso de filtración.

La salinidad al igual que es la demás muestra sigue siendo 0 cero, lo cual ayuda a que los demás parámetros mencionados disminuyan significativamente al pasar por el lecho filtrante. El PH de la muestra es de 6.85 este rango se encuentra en un agua ácida, pero las condiciones de su PH son óptimas en el tipo de agua que se está tratando.

El color arrojado en el proceso dio como resultado 26 Pt/Co, este color es muy favorable para un agua segura ya que es muy cercano al parámetro establecido en el decreto 475 de 1998 donde el color aceptado tiene como valor máximo de 25 Pt/Co y el valor del parámetro de hierro fue de $0.39 \text{ mg}/\text{L}$.

De esta manera se evidencia que los parámetros tomados en cada uno de los compartimientos o puntos planteados van disminuyendo, ofreciendo un agua de mejor calidad en comparación a la que ingreso inicialmente en el proceso.

6. PROCESO DE RETROLAVADO DEL PROTOTIPO.

El lavado de los filtros es quitar todos los materiales y sólidos en suspensión que se han retenido durante en funcionamiento del mismo. Para un lavado más eficiente, se deben quitar todas las partículas sueltas de posibles sedimentaciones en los materiales granulares, así como el desprendimiento de partículas diminutas que a simple vista no se detectan pero que al hacer contacto con el material granular quedan atrapadas.

Uno de los procesos más básicos y cual se va a implementar para el lavado de cada uno de los compartimientos de los filtros utilizados, consiste en una corriente de agua que se va a generar en sentido contrario al flujo descendente, a unas velocidades de retro lavado halladas para los materiales filtrantes (carbón activado, arena antracita) de tal manera que sea capaz de arrastrar el material que ha depositado en los lechos, haciendo que el material se esponje generando la agitación del material ,para lograr una distribución y reacomodación de las partículas después del lavado.

A continuación, se muestran las velocidades de retro lavado calculadas para el carbón activado y la arena antracita, estas velocidades dependen del diámetro de las partículas de cada material.

Tabla 18.Velocidades de lavado Carbón Activado.

VELOCIDAD DE LAVADO	
d60 (mm) =	3.720
e=	0.4
Vt (m/mín.)=	1.674
Vb (m/mín.)=	0.027
Vb (m/s)=	4.52E-04

Fuente: Autor.

Tabla 19. Velocidades de lavado Arena Antracita.

VELOCIDAD DE LAVADO	
d60 (mm) =	1.954
e=	0.4
Vt (m/mín.)=	0.8793
Vb (m/mín.)=	0.014
Vb (m/S)=	2.37E-04

Fuente: Autor.

La duración del proceso de lavado varia para las diferentes condiciones del tamaño de partículas del material. Después del lavado del filtro es aconsejable desechar el agua filtrada los primeros minutos mientras se reacomodan las partículas nuevamente. Una vez pasados unos minutos se pueden tomar muestras de turbidez y según los resultados arrojados darán indicativos de la eficiencia del filtro una vez realizado el retro lavado.

En el caso de las tierras diatomeas se recomienda que el lavado sea hecho manualmente, removiendo el material del prototipo y procediendo al lavado de las mismas; de esta manera se hace la remoción de sólidos suspendidos atrapados en el material filtrante.

A partir de bibliografías consultadas y la prueba piloto número 3 realizada como se muestra en la Imagen 14. (Prueba piloto 3) donde se observa el fenómeno de estratificación. Al hacer un retro lavado a la inversa del flujo, ocasionando que el material se esponje y haya una fricción entre sus partículas, generando una remoción de finos, pero las Tierras Diatomeas por su granulometría de este tipo se fijan en la parte superior formando una película, modificando su configuración inicial.

6.1 RECOMENDACIONES PARA EL RETRO LAVADO DEL FILTRO.

- Para hacer el lavado del filtro se debe hacer a la inversa del flujo, de esta manera las partículas se agrupan y dan una mejor eficiencia de lavado.
- Para conectar el flujo para el lavado del filtro se debe hacer por el desagüe de cada módulo, generando velocidades recomendadas.
- Para el empate generando una presión considerable de tal manera que las partículas de los sólidos que hayan quedado entre el material granular sea removido.
- Una vez empiece a ascender el flujo se hará el desagüe del mismo por medio de una presión (esta presión se puede controlar por medio de las válvulas instaladas en cada lecho filtrante) generando una pendiente para que el flujo salga sin ninguna obstrucción, a medida que el flujo vaya entrando a cada material y se vaya generando el lavado y así mismo desechando el agua que se utilizó para este fin.
- Para evitar la pérdida de material se recomienda el usar mallas las cuales se colocan en la descarga de la salida del flujo producto del lavado del filtro.
- También hay que observar el agua que sale del retro lavado ya que, cuando ésta sale libre de partículas y de turbiedad, el medio filtrante ha quedado limpio.

7. CONCLUSIONES.

El resultado del filtro en general después de la experimentación fue positivo, algunos parámetros de medición obtenidos demuestran la importancia del proceso de filtración y su aporte para la calidad del agua, la arena antracita demostró su eficiencia en la remoción de color y turbiedad del agua mientras que en parámetros como remoción de hierro disuelto y sólidos totales las tierras diatomeas tuvieron mejores resultados.

Según los resultados obtenidos, se identifica que las tierras diatomeas presentan problemas si se conforman capas de espesores superiores a 3 cm de este material, pues según las pruebas piloto realizadas, cuando se forman espesores de mayor altura a los 3 cm tiende a formar una película semi impermeable, lo cual hace que la velocidad del flujo descendente disminuya siendo este poco beneficioso en un proceso de filtración con caudal constante porque un filtro con esta configuración no puede tratar caudales superiores a $Q=1,20E-04$ l/s.

En relación a lo anterior se decidieron realizar pruebas con distintas configuraciones y de las cuales se obtuvo una configuración para un lecho que funcionó mucho mejor al realizado en la primera prueba, pues poner las tierras diatomeas en capas de espesores menores o iguales a 5 mm y entre ellas un material convencional filtrante de mayor granulometría, funciona; de esta manera presenta mejores resultados en la evaluación de los parámetros, debido a esta configuración el valor de la turbiedad disminuye y la remoción de sólidos suspendidos es más efectiva.

Utilizar este material en filtración de agua como alternativa de materiales convencionales puede ser beneficioso siempre y cuando se conformen los lechos filtrantes con los espesores de capa sugeridos, pues a pesar de su leve incremento en la turbiedad, para los demás parámetros analizados se obtienen valores que pueden competir sin ningún problema frente a valores obtenidos en parámetros de materiales convencionales, cabe la pena resaltar mayor eficiencia en las tierras diatomeas en la eliminación de sólidos suspendidos, también presenta una mayor remoción de hierro disuelto en el agua, lo cual es muy positivo ya que de esta manera mejoran otros parámetros como el color y así el sabor de la misma.

Sin embargo, durante el proceso de experimentación se observó que después de estar cierto tiempo en funcionamiento, los espesores de las capas de las tierras diatomeas disminuyen, esto se da por la granulometría de la misma, pues al ser tan fina tiende a transportarse por los vacíos del material de la capa inferior.

Este comportamiento está dado por la granulometría del material, se cree que la eficiencia de un filtro con estas tierras puede llegar a ser más provechosa si se utiliza

una granulometría mayor. Sin embargo, se observa que las tierras diatomeas en esta presentación son muy eficaces en cuanto a la remoción de hierro disuelto.

En cuanto a las pruebas realizadas se puede afirmar que en esta investigación la única configuración funcional y capaz de tratar un caudal continuo sin variar su cabeza constante de presión es alternando las capas de tierras diatomeas con capas de arena antracita, de esta manera se logra que el filtro trabaje a la par con un filtro de material convencional y logrando mayor eficiencia en algunos parámetros.

La mayor eficiencia en cuanto a la turbiedad está dada por el filtro conformado por la arena antracita con un 80 % de remoción de turbiedad, seguida del filtro de carbón activado el cual presenta una remoción del 60% de la turbiedad, el filtro de las tierras diatomeas presenta un 16.7% de remoción en cuanto a la turbiedad del agua siendo este el más desfavorable.

Las tierras diatomeas tienen 53,8 % en cuanto a la remoción de hierro disuelto y el filtro que menos removi6 hierro disuelto fue la arena antracita con 41,8%. En cuanto a eliminaci6n de s6lidos suspendidos las tierras diatomeas eliminaron un 25,7% de s6lidos del agua mientras que el carb6n activado solo un 3.9%.

El filtro que mejor tuvo eliminaci6n de color fue la arena antracita con un 89 % de eficiencia.

La capacidad de los materiales utilizados de remover algunos parámetros es muy buena sin embargo hay parámetros de gran importancia que divergen seg6n la normativa por lo cual el agua resultante de la filtraci6n no es apta para el consumo humano, ni para utilizaci6n como agua segura.

8. RECOMENDACIONES.

- Para obtener mejores resultados en los parámetros de caracterización del agua se pueden incrementar los espesores de cada capa de lecho filtrante, pero para la conformación del lecho de tierras diatomeas se debe tener en cuenta los espesores de capa sugeridos después de los resultados de la fase de experimentación para evitar bajos rendimientos.
- En el caso de las tierras diatomeas cabe resaltar que al proporcionar este material con una granulometría mayor la eficiencia de este aumentaría considerablemente.
- Tamizar los materiales granulares puede evitar comportamientos desfavorables como depositación e incrustación alrededor de la tubería de drenaje, lo cual puede traer problemas más adelante por posible taponamiento de la tubería de drenaje.
- Como mejora se recomienda la instalación de esponja sabra encima de la grava, para evitar que los finos arrastrados por medio de los materiales se depositen y tapen la tubería de drenaje.
- Para evitar la pérdida en función del tiempo de las tierras diatomeas se sugiere la conformación de membranas de tierras diatomeas, pues de esta manera se evitaría la pérdida de material temprana y sería más práctico el mantenimiento del mismo.
- Por seguridad sería favorable la instalación de una tubería de excesos en cada compartimiento, por si se llega a taponar el filtro en algún momento.

BIBLIOGRAFÍA

- ARANA Correa, José Edward. Evaluación de la Aplicación de Carbón Activado Granular en la Filtración del Agua Clarificada del Rio Cauca. Santiago de Cali. Universidad del Valle. 2016.
- ARAGON Montero Roberto, et.al. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías.2013. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6239/2013memoriasimciroberto.pdf>.
- ARBOLEDA Valencia, Jorge A. Métodos Simplificados de Tratamiento de Agua. Nuevos Métodos de Tratamiento de Agua. Lima. Cepis.1972. Manual nº 14 Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-17.pdf>
- ARBOLEDA Valencia, Jorge A. Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua. Lima. Cepis.1957. OPS Serie Técnica13. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320.htm>
- BHARDWAJ, Vipin y MIRLISS, mel .Diatomaceous Earth Filtration for Drinking Water. West Virginia University .2001.Disponible en : http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2009_tb/diatomaceous_DWFS OM39.pdf
- BLACIO Ordoñez, Diego Andrés y PALACIOS Pérez, José Luis. Filtros Biológicos para la Potabilización del Agua, Posibilidades de Uso de la FLA con Agua Superficial de Nuestra Región. Ecuador. Universidad de Cuenca.2011.
- BRIEFT, T. Slow Sand Filtration. A National Drinking Water Clearinghouse Fact Sheet. June 2000. Disponible en: http://www.nesc.wvu.edu/pdf/DW/publications/ontap/tech_brief/TB15_SlowSand.pdf.
- CHUCHON Martínez, Saúl y AYBAR Escobar, Carlos. Evaluación de la Capacidad de Remoción de Bacterias Coliformes y Demanda Bioquímica de Oxígeno de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales la Totorá Ayacucho Perú. Publicado en: Revista Científica de América Latina.vol7. 2008. ISSN: 17262216.
- DECRETO Reglamentario 475 de 1998.Del Ministerio de Salud, del Medio Ambiente y Ministerio de Desarrollo Económico. Santafé de Bogotá. 10 de marzo,1998. Disponible en: <http://www.suin.gov.co/viewDocument.asp?id=1718599>

- DEECKG. Miller. Filtración con Antracita y Arena caso Práctico en el Reino Unido. Asociación de Investigación Sobre el Agua. Inglaterra.1972. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002554-antrancita.pdf>.
- FILTRACION en Grava y Arena. Disponible en: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>
- FLEXICON Corporation. Tierra Diatomácea. 2015.Disponible en:<http://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Tierra-Diatomacea.html>
- GARCIA Méndez, Wendy Johana y RIVAS Arrieta, María. Evaluación de la Filtración Lenta de Arena para la Potabilización del Agua en el Corregimiento de San José de Playón. Cartagena D.T. Y C. Universidad de Cartagena. 2017.Disponible en: <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/4154/1/Tesis%20Garcia%26Rivas.pdf>
- GIRON Gómez, Julio Cesar y CAMPOS Espinoza, Sergio. Filtros Rápidos y Lentos de Arena. Universidad el Salvador.2013. disponible en: <https://es.scribd.com/doc/178630389/Filtro-Lento-y-Rapido-PDF>.
- GOMELLA, Cyril y GUERREE Henri. Tratamiento de Aguas para Abastecimiento Publico. Editores Técnicos Asociados.s.a. Barcelona España.1977. p 111-123. ISBN 84-7146-090-4. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?isbn=8471460904>
- GUALTEROS Diaz, Leidy Johana y CHACON Rodríguez María Angélica. Estudio de la Eficiencia de Lechos Filtrantes para la Potabilización de Agua Proveniente de la Quebrada la Despensa en el Municipio Guaduas Cundinamarca Vereda la Yerbabuena. Bogotá. universidad de la Salle. 2015. Disponible en: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/17426/41081016_2015.pdf?sequence=1.
- HERNANDEZ Cañavate, Juan. Métodos de Ensayo y Propiedades Filtrantes el Kielselgur español y su Activación. Universidad de Murcia. España. Volumen 11.num2. 1984. p101. ISSN electrónico: 2171-7664 - ISSN impreso: 0463-9847. Disponible en: <http://revistas.um.es/analesumciencias/index>.
- HUISMAN, L. Slow Sand Filtration. Geneva 1974.World Health Organisation. ISBN 924154037-0. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssf9241540370.pdf.

- KEARNS, Joush. Profile: Using Biochar for Water Filtration in Rural South East. International Biochar initiative. 2012. Disponible en: http://www.biochar-international.org/profile/water_filtration.
- KOCHER, Jodi. Et.al. Drinking Water Treatment: Sediment Filtration. 2003. Disponible en: <http://www.revistavirtualpro.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/descarga/tratamiento-de-agua-potable-filtracion-sedimentada>.
- LAPATO, Laure Rose. Granular Filters for Water Treatment: Heterogeneity and Diagnostic Tools. Editor: DTU Orbit/ Technical University of Denmark DTU. 2011. Disponible en: <http://www.revistavirtualpro.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/biblioteca/filtros-granulares-para-el-tratamiento-de-agua-heterogeneidad-y-herramientas-de-diagnostico>.
- NATIONAL, Drinking Water Clearinghouse. Filtration. 1996. Disponible en: <http://www.revistavirtualpro.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/biblioteca/filtracion>.
- ORGANIZACIÓN Mundial de la Salud. Guías para la Calidad del Agua Potable. ISBN 924154696-4. 2006.
- OTERO Calviño, Natalia. Filtración de Agua Residuales para Reutilización. Universidad de la Laguna. 2006. ISBN. 978-84-7756-780-6. Disponible en: <ftp://tesis.bbt.ull.es/ccppytec/cp273.pdf>.
- PEREZ López, José Antonio. ESPIGARES García, Miguel. Estudio Sanitario del Agua. España. Universidad de Granada. 1995. Disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/filtracion.pdf>
- PRADILLO, Beatriz. Parámetros de Control del Agua Potable. 2016. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>
- REGLAMENTO Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). ISBN 958-8137-15-2.
- Revista Española La Rioja. 15 de enero del 2012. Disponible en: <http://urbinavinos.blogspot.com.co/2012/01/filtracion-por-tierras.html>.
- ROQUE A. Román, et.al. ENSIC, Environmental Sanitation Information Center. Filtración Superficial para Zonas Rurales. Directrices para el Diseño Construcción y Mantenimiento. Bangkok, Tailandia. 1990.

- RUEDA Usme, Lenin Oswaldo y ROMERO González, Daniel Leonardo. Desarrollo de Modelos Didácticos de Columnas Filtrantes a Partir de los Requerimientos Técnicos de los Laboratorios del Área de Geotecnia e Hidráulica. Bogotá. Universidad Católica de Colombia.2017.
- SANCHEZ Castaño, Ana María. Sistema de Filtración para Tratamiento de Aguas Lluvias. Pereira. Universidad Católica Popular del Risaralda. 2010. Disponible en: <http://repositorio.ucp.edu.co:8080/jspui/bitstream/10785/768/1/completo.pdf>.
- VAHALA, R. Two-Step Granular Activated Carbón Filtration in Drinking Water Treatment. 2002. Disponible en: <http://www.revistavirtualpro.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/biblioteca/filtracion-de-carbon-activado-granular-de-dos-pasos-para-tratamiento-de-agua-potable>.
- VAN DER MEER Tjebbe, et.al. Filtración de Tierras CON Diatomeas. Edición Suramericana nº135. Pharmaceutical Technology.2015. Disponible en: https://www.sartorius.com/mediafile/corp/2015_05articletechnicalpresspharmatechfiltrationdetierra.pdf.
- VARGAS, Lidia. Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Plantas de Filtración Rápida. Manual I. Teoría. Lima 2014.p 5-13,81-84 Disponible en: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>.
- VARGAS Triviño, Merly Viviana y SALAZAR Rojas, Javier. Prueba de la Actividad de Tierras Diatomeas en Viveros de Caucho en Itarka la Montañita Caquetá. Florencia. Universidad Abierta y Distancia.2013. Disponible en: <http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=%2Fbitstream%2F10596%2F1491%2F1%2F40075791.pdf>.
- WEBER, W.J. Control de la calidad del agua. Procesos físico químicos. Editorial Reverté.1979 ISBN 84-291-7522-9. Disponible en: https://books.google.com.co/books?id=TLpzh5HQYvgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- BHARDWAJ, Vipin y MIRLISS,mel .Diatomaceous Earth Filtration for Drinking Water. West Virginia University .2001.Disponible en : http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2009_tb/diatomaceous_DWFSOM39.pdf

ANEXOS.

ANEXO A

MANUAL PARA PROCESO DE FILTRACIÓN CON EL PROTOTIPO.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA</p>	<p>Formato para elaborar Guías de asignaturas teórico – prácticas</p>	<p>Código: F 053 LI 008 Página: 1 de 4</p>
--	---	--

<p>FACULTAD / PROGRAMA: Ingeniería / Ingeniería Civil</p>	<p>PUNTOS:</p>
--	-----------------------

<p>ASIGNATURA: Plantas de Tratamiento</p>	<p>NOMBRE DE LA PRÁCTICA: Proceso de Filtración</p>	<p>PRACTICA No :</p>	<p>VERSION: 1</p>
<p>GRUPO:</p>	<p>JORNADA: Nocturna y diurna</p>	<p>FECHA:</p>	

<p>1. INTRODUCCIÓN: El lavado de los filtros es quitar todos los materiales y sólidos en suspensión que se han retenido durante en funcionamiento del mismo. Para un lavado más eficiente, se deben quitar todas las partículas sueltas de posibles sedimentaciones en los materiales granulares, así como el desprendimiento de partículas diminutas que a simple vista no se detectan pero que al hacer contacto con el material granular quedan atrapadas. Uno de los procesos más básicos y cual se va a implementar para el lavado de cada uno de los compartimientos de los filtros utilizados, consiste en una corriente de agua que se va a generar en sentido contrario al flujo descendente, a unas velocidades de retrolavado halladas para los materiales filtrantes (carbón activado, carbón antracita) de tal manera que sea capaz de arrastrar el material que ha depositado en los lechos, haciendo que el material se esponje generando la agitación del material ,para lograr una distribución y reacomodación de las partículas después del lavado. La velocidad del lavado del material está relacionada con la granulometría y debe permitir una expansión de la altura del lecho filtrante del 1.5 a 25%.</p>
--

<p>2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN:</p> <ol style="list-style-type: none"> Capacidad de comprender en forma eficaz en diferentes contextos la importancia del proceso de filtración y sus aportes en la potabilización del agua. Capacidad para la investigación. Capacidad analítica en el contexto de agua potabilización del agua
--

<p>3. OBJETIVO(S) ESPECÍFICO(S):</p> <ol style="list-style-type: none"> Lograr un proceso de filtración con un agua problema. Caracterizar el agua antes y después del proceso de filtración.
--

- c. Analizar los resultados obtenidos y comparar con parámetros iniciales para posteriormente conocer el aporte del proceso de filtración.
- d. Con base en los datos experimentales obtenidos compararlos con los estándares definidos por la nueva resolución 0330 de 2017/RAS y con las normas aplicables en el Decreto 0475/98.

4. MARCO TEORICO:

La filtración es un proceso el cual se encarga de la separación de sólidos en suspensión por medio de un cribado, tamizado o filtro; es uno de los métodos más antiguos para la purificación del agua, ya que este método imita el proceso de filtración que se produce en la naturaleza.

La filtración consiste en la eliminación de la materia en suspensión del agua a través de un lecho filtrante que está conformado por capas de diferentes materiales con distintas granulometrías que resultan eficaces a la hora de remoción de cualquier tipo de sólido o micro contaminante, se quiere comparar las propiedades de un material alternativo que pueda poseer mejores características y brinde una eficiencia física y química mejor que los lechos utilizados actualmente para hacer este tipo de procesos.

5. RECURSOS UTILIZADOS:

a. Equipos y herramientas

Equipo multiparametrico Marca consort, sensor digital de pH, kit Hach para medición de pH, Equipo turbidimetro Hach y celdas de medición





b. Vidriería

- Becker en vidrio de 50 mL
- Becker en vidrio de 100 mL
- Frasco Lavador con Agua des ionizada
- Frasco para residuos y/o limpieza

c. Tipos de muestras a analizar

- Agua lluvia

6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:

- a. Este atento a las indicaciones que imparta el docente y/o instructor de Laboratorio para la práctica respectiva y especialmente lo relacionado al manejo de los equipos, material de vidrio y cuidado con la manipulación de sustancias y normas de seguridad.
- b. Revise los equipos antes de su uso, verifique que esté conectado a la fuente eléctrica, retire el recipiente protector del bulbo de medida del electrodo de pH, enjuague con agua de ionizada el electrodo desde la parte superior hasta el bulbo repetidamente y en especial este último para evitar cualquier contaminación con muestras anteriores.
- c. Prenda el equipo obturando el botón ON/OFF, observe en la pantalla o display la información y ubique con la ayuda de los cursores el canal CH1 y CH2 para escoger los parámetros de análisis con la tecla Mode (Esta misma tecla funciona como un retorno o escape de la opción). Conecte el turbidímetro y enciéndalo 10 minutos antes de la práctica, para que se ajuste el sistema de medición y calibración del equipo. El equipo reportara en la pantalla un valor cercano a 0.010 en la pantalla.
- d. Verifique que las tuberías de desagüe están bien conectadas, para evitar fugas durante el proceso de filtración, también revise las conexiones de la tubería que van de la planta al filtro.
- e. En caso de que el agua a utilizar sea proveniente de la planta de tratamiento de agua potable, se debe revisar previamente a la practica la lectura e interpretación del manual de operación de la misma.
- f. Una vez puesta en marcha la planta, se debe esperar la inundación de todas las estructuras, la planta maneja un caudal de $Q=0.1$ l/s el cual entra al filtro, no se puede exceder debido a la capacidad de diseño del filtro, esto permitirá el buen funcionamiento.
- g. Una vez esté funcionando todo el sistema, se recomienda dejar filtrar agua durante 10 minutos, para obtener resultados con menor desviación estándar.
- h. Haga un muestreo del agua antes del proceso de filtración y después del mismo.



7. INFORME TÉCNICO:

- a. Establezca sus análisis de resultados y conclusiones al respecto según los datos obtenidos.
- b. Consulte en los medios posibles (libros, manuales, Internet, etc.) valores referidos a los parámetros analizados en el agua, no olvide reportar los créditos o referencia bibliográfica consultada.
- c. Con base en los parámetros analizados en el agua, consulte que incidencia tiene este en los procesos de las plantas de tratamiento de aguas.
- d. Responda las siguientes preguntas dentro del informe:
 - Que valores según la normatividad se establecen para cada parámetro en agua segura y agua potable.
 - ¿Que indica cada parámetro?

8. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA:

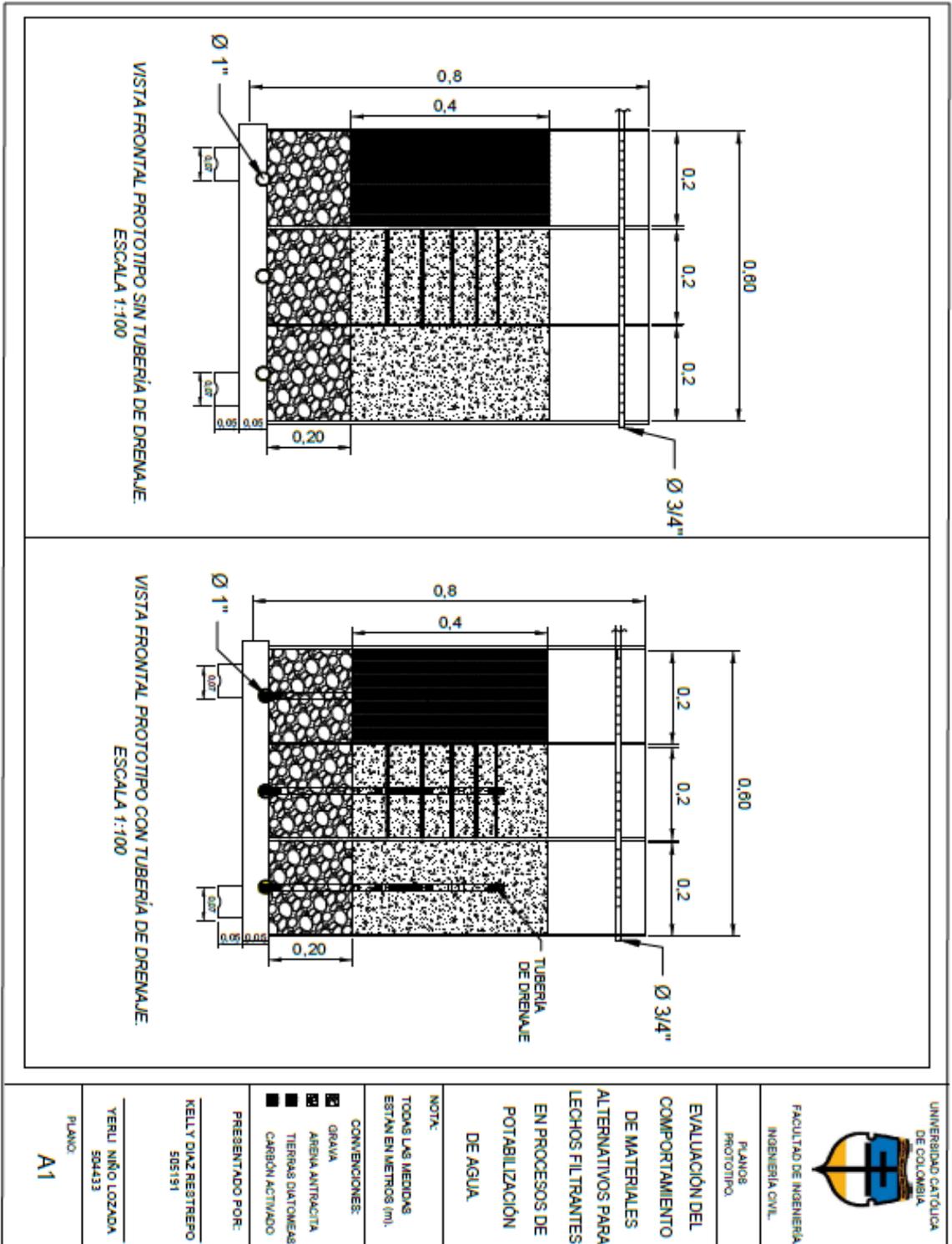
- a. Decreto 0475/ 1998 y Resolución 0330/2017 –RAS.
- b. Manual de operación de la PTAP / Tesis. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA. Link:
 - <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14034/4/Proyecto%20de%20grado%20-%20Diseño%20y%20construcción%20de%20una%20PTAP.pdf>

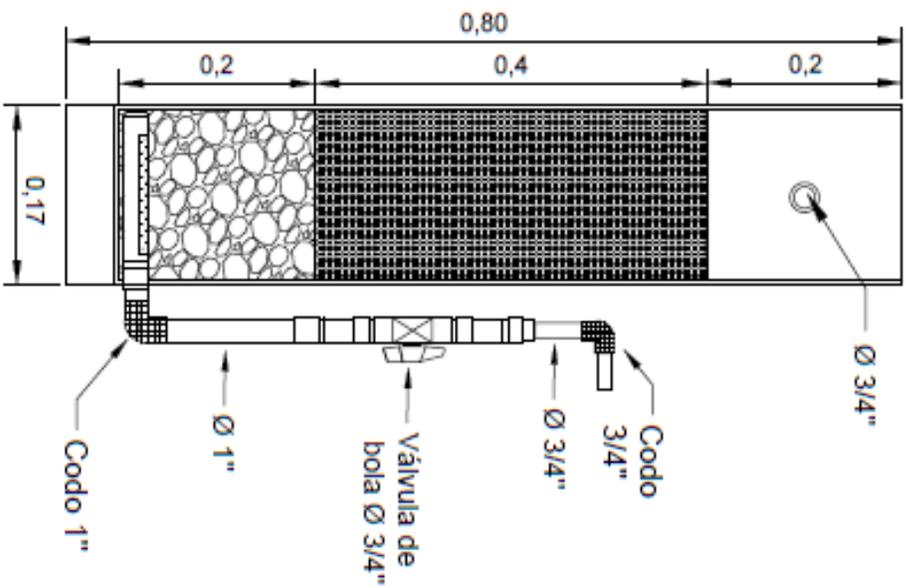


8. ANEXOS.

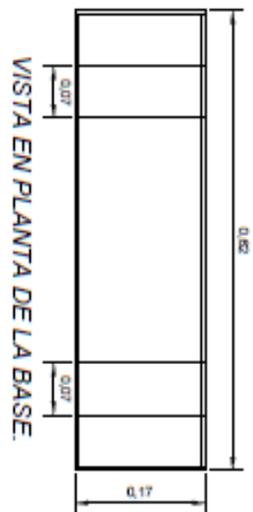


ANEXO B
PLANOS DEL PROTOTIPO

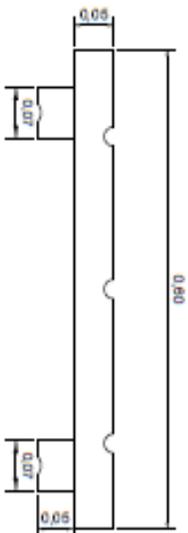




VISTA PERFIL PROTOTIPO . ESCALA 1:100



VISTA EN PLANTA DE LA BASE.



VISTA FRONTAL DE LA BASE.



PROYECCIÓN ISOMÉTRICA DE LA BASE.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL

PLANOS DETALLE
PROTOTIPO.

EVALUACION DEL
COMPORTAMIENTO
DE MATERIALES
ALTERNATIVOS PARA
LECHOS FILTRANTES
EN PROCESOS DE
POTABILIZACION
DE AGUA.

NOTA:
TODAS LAS MEDIDAS
ESTÁN EN METROS (m).

CONVENCIONES:

- GRAVA
- ARENA ANTRACITA
- TIERRAS DIATOMIAS
- CARBÓN ACTIVADO

PRESENTADO POR:

KELLY DIAZ RESTREPO
505191

VERLI NIÑO LOZADA
504433

PLANO:

A2



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL

PLANOS
PROTOTIPO

EVALUACION DEL
COMPORTAMIENTO
DE MATERIALES
ALTERNATIVOS PARA
LECHOS FILTRANTES
EN PROCESOS DE
POTABILIZACION
DE AGUA.

NOTA:

TODAS LAS MEDIDAS
ESTAN EN METROS (m)

CONVENCIONES:

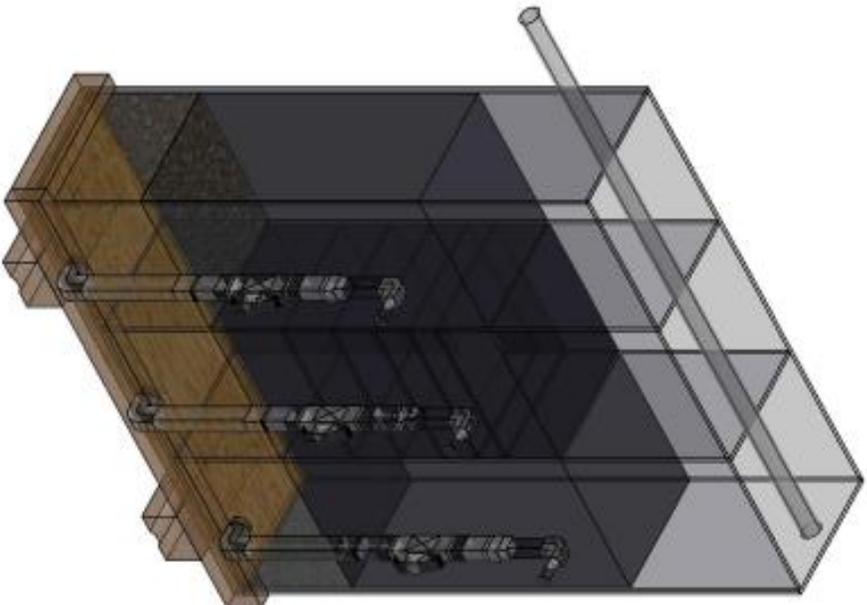
- GRASA
- ARENA ANTINACTA
- TIENRAS DIATOMEAS
- CARBON ACTIVADO

PRESENTADO POR:

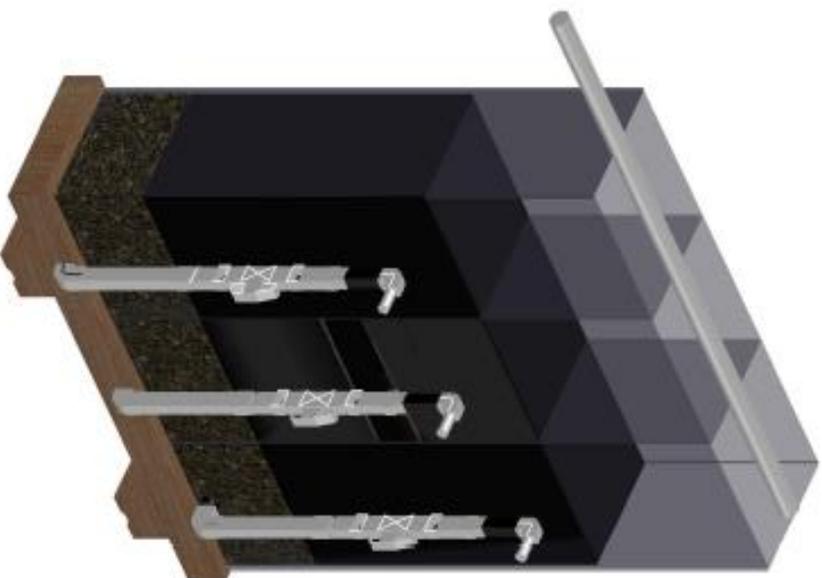
NELLY DIAZ RESTREPO
505191

YERLI NIÑO LOZADA
504433

PLANO:
A3



PROYECCIÓN ISOMÉTRICA DEL PROTOTIPO.



PROYECCIÓN ISOMÉTRICA DEL PROTOTIPO.

ANEXO C
REGISTRO FOTOGRÁFICO

Anexo C1. Construcción de Prototipo.



Fuente: Autor

Anexo C2 . Prueba Fugas.



Fuente: Autor

Anexo C3 . Perforacion Tuberia PVC



Fuente: Autor

Anexo C4 . Proteccion Tuberia PVC



Fuente: Autor

Anexo C5. Adaptación de Desagues



Fuente: Autor

Anexo C6 . Caracterización de Materiales



Fuente: Autor

Anexo C7. Hidrometría Tierras Diatomeas Anexo C8 . Verificación Prototipo- Planta



Fuente: Autor



Fuente: Autor

Anexo C9. Lavado de Material



Fuente: Autor

Anexo C10 . Instalación del Material



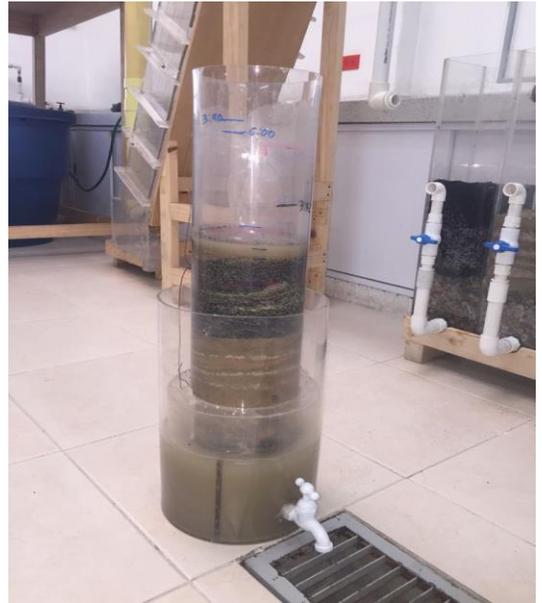
Fuente: Autor

Anexo C11 .Pruebas Tierras Diatomeas



Fuente: Autor

Anexo C12 . Pruebas Tierras Diatomeas



Fuente: Autor

Anexo C13. Prueba de Materiales en Filtro



Fuente: Autor

Anexo C14 . Pruebas de Caudal



Fuente: Autor

Anexo C15 . Conexión Filtro PTAR



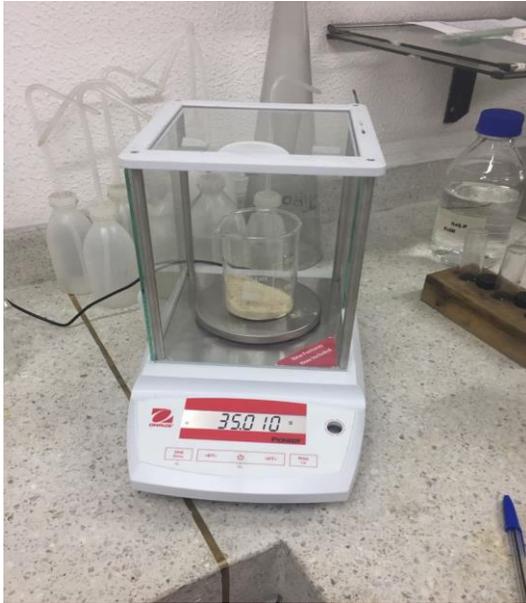
Fuente: Autor

Anexo C16 . Pruebas de Fuga PTAR



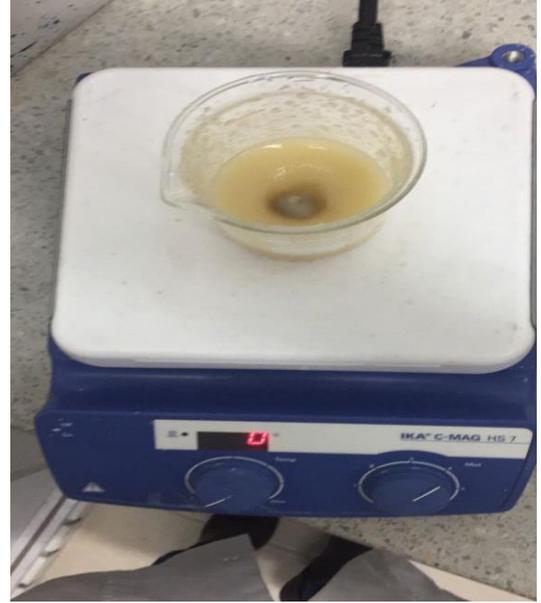
Fuente: Autor

Anexo C17. Dosificación Bentonita



Fuente: Autor

Anexo C18 . Dosificación Coagulante



Fuente: Autor

Anexo C19 . Agua Contaminada



Fuente: Autor

Anexo C20 . Puesta en Funcionamiento



Fuente: Autor

Anexo C21. Filtro en Funcionamiento



Fuente: Autor

Anexo C23 . Muestras Tomadas



Fuente: Autor

Anexo C22 . Toma de Muestras



Fuente: Autor

Anexo C24 . Muestras Recolectadas



Fuente: Autor

Anexo C25. Caracterizacion de Muestras



Fuente: Autor

Anexo C26 . Ensayos Realizados



Fuente: Autor

Anexo C27 . Ensayos Realizados



Fuente: Autor

Anexo C28 . Culminacion de Pruebas



Fuente: Autor