



Diseño y construcción de filtro funcional para filtrar las impurezas del agua cruda, con énfasis en los análisis físico-químicos para la calidad del agua.

Yully Fernanda Garzón Rivera

11231526223

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

Diseño y construcción de filtro funcional para filtrar las impurezas del agua cruda, con énfasis en los análisis físico-químicos para la calidad del agua.

Yully Fernanda Garzón Rivera

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):

Ingeniero Didier Camilo Sierra Flórez

Línea de Investigación:

Recurso Hídrico

Grupo de Investigación:

Gestión Integrada del recurso hídrico

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FILTRO FUNCIONAL PARA FILTRAR LAS IMPUREZAS DEL AGUA CRUDA, CON ÉNFASIS EN LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS PARA LA CALIDAD DEL AGUA

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A FUNCTIONAL FILTER TO FILTER IMPURITIES FROM RAW WATER, WITH EMPHASIS ON PHYSICO-CHEMICAL ANALYSIS FOR WATER QUALITY.

Garzón Rivera, Yully Fernanda¹; Sierra Florez, Didier Camilo²

¹ Universidad Antonio Nariño, Colombia, ygarzón77@uan.edu.co

Resumen: Este proyecto está orientado en el diseño y construcción de un filtro para las aguas grises que salen de la lavadora, este prototipo a escala se diseñó con ayuda de una memoria de cálculo en donde se especifica el caudal de salida, la tasa de infiltración, volumen, área, diámetro, espesor de los lechos filtrantes. Se construyó el filtro con materiales que cumplieran con el costo-beneficio planteado en el proyecto, se realizaron las pruebas de funcionalidad y durabilidad al prototipo las cuales avalaron el buen funcionamiento, una vez se avaló el buen funcionamiento se hicieron las pruebas a los lechos filtrantes con diferentes combinaciones y espesores de los materiales; Para sacar los porcentajes de remociones dados por las diferentes pruebas realizadas a los lechos se realizaron unos análisis fisicoquímicos iniciales y posteriores a esta actividad, arrojan diferentes resultados de remoción dando como la combinación de lechos (Antracita-Zeolita-Carbón Activado) como la más eficiente con un 79,6% de remoción de contaminantes totales y dando a la DQO y los tensoactivos (SAAM) como los contaminantes con mayor remoción individual con cada una de las combinaciones de lechos propuestas.

Palabras claves: lechos filtrantes, análisis físico químicos, remoción, tenso activos, contaminantes.

Abstract: This project is focused on the design and construction of a filter for the gray water coming out of the washing machine, this scale prototype was designed with the help of a calculation memory where the output flow, the infiltration rate are specified. , volume, area, diameter, thickness of the filtering beds, etc. The filter was built with materials that met the cost-benefit proposed in the project, functionality and durability tests were carried out on the prototype, which endorsed its proper functioning. Once the proper functioning was confirmed, the tests were carried out on the filtering beds with different combinations and thicknesses of the materials; To obtain the percentages of removals given by the different tests carried out on the beds, some initial physicochemical analysis were carried out and after this activity, they yield different removal results, giving the combination of beds (Anthracite-Zeolite-Activated Carbon) as the most efficient. with a 79.6% removal of total contaminants and giving COD and surfactants (SAAM) as the contaminants with the highest individual removal with each of the proposed bed combinations.

Key words: Filtering beds, physical chemical analysis, removal, tense actives, contaminants.

1. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua en el mundo sumado con el creciente aumento de población en las zonas urbanas, es una continua preocupación y plantea la teoría de utilizar prácticas adecuadas para una buena gestión del uso del agua; debido a que es un recurso limitado es de especial importancia su conservación; Para la conservación del recurso hídrico se debe hacer una separación de fluidos, es decir las aguas negras, grises, residuales industriales y pluviales deben tener canales independientes, con esto y con el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento del recurso se asegura que el porcentaje de agua que se puede reciclar o reutilizar será mayor (H.I. Abdel-Shafy et al,2013).

Puede ser posible que para dichas tecnologías para la buena gestión del agua se deban tener en cuenta las actualizaciones de las normas de vertimientos formuladas para la situación local, es importante tener una referencia de las tecnologías ya implementadas o estudiadas en épocas anteriores para poder hacer actualización de las mismas (H.I. Abdel-Shafy et al,2013).

Según H.I Abdel-Shafy (2013), los filtros para el tratamiento de aguas grises son fabricados con material granular o arena, al ser tratadas estas aguas pueden ser reutilizadas y distribuidas en aplicaciones terrestres. Este tratamiento de las aguas grises se realiza por medio de sedimentación, donde el agua se distribuye uniformemente sobre la superficie de la arena.

Si bien los filtros de arena cumplen una gran labor ya que el agua filtrada es de muy buena calidad, existen otros materiales filtrantes como la grava, antracita, carbón activado entre otros, que intercambiando las variables como el tiempo de retención hidráulica, las tasas de filtración y otros, pueden potencializar el proceso de limpieza del agua (Anna Tussime et al,2022)

Para medir la eficiencia de este tipo de materiales se hacen métodos normalizados como Turbidez, SST, DQO,SAAM entre otros, los cuales son comparados con la normatividad vigente establecida en cada país.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un prototipo a escala de un filtro funcional para eliminar las impurezas de los efluentes de las lavadoras e identificar posibles formas de reutilización.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un prototipo a escala de un filtro funcional para eliminar las impurezas de los efluentes que salen de la lavadora.
- Construir el prototipo realizando pruebas de funcionalidad y durabilidad del filtro.
- Evaluar la efectividad del filtro teniendo como referencia las pruebas de funcionalidad y durabilidad realizadas.

3. JUSTIFICACIÓN

Bogotá es la ciudad que más consume agua en los hogares a nivel nacional, con un promedio total de 26.55 m³ al mes, por tal razón es necesario encontrar la manera de ahorrar este recurso tan preciado que, aunque parezca ilimitado no lo es, en la Tabla 1 se puede observar los m³ en promedio al mes que utilizan los bogotanos según los estratos (Conservemos, s.f, 2019).

Consumo promedio mensual por estrato hogares bogotanos en m ³							
Ciudad	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Promedio
Bogotá	23.9	24.75	23.67	24.32	29.1	33.55	26.55

Tabla 1 - Consumo promedio mensual por estratos Bogotá Fuente SUI (Sistema Único de información de servicios públicos)

Por tal razón temática de este proyecto consiste en diseñar e implementar un filtro funcional que ayude a eliminar en gran parte las impurezas y olores con las que sale el agua de la lavadora y permitir utilizarla en las descargas del inodoro, para regar las plantas, lavar los vehículos que se encuentran en la casa entre otras actividades; Además realizar todos los análisis fisicoquímicos del agua cuando está almacenada y los análisis después de que este pase por el filtro, identificando de manera técnica y con datos el porcentaje de remoción de impurezas, bacterias y olores.

En la tabla 2 se pueden observar los consumos mensuales en los hogares:

Descripción	% de consumo	Consumo m ³
Ducha	17%	4.51
Sanitarios	27%	7.17
Lavadora	20%	5.31
Grifos y otros	36%	9.56
Total	100%	26.55

Tabla 2 - Descripción de consumo en los hogares

Es decir que entre la ducha y los sanitarios se tiene un consumo del 47%, casi la mitad del consumo total en el hogar, si se logra reutilizar por lo menos un 70% del agua que expulsa la lavadora, se lograría reutilizar 3.72 m³ del agua que serían destinados para las descargas de los sanitarios, regar las plantas, lavar los vehículos que se encuentran en la casa entre otras actividades, de esta manera se lograría un ahorro del 14% en el consumo total del hogar (Ver Figura 1).

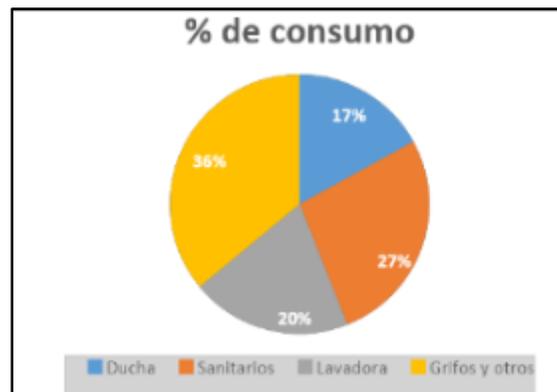


Figura 1 - Gráfica de consumo

Observando el recibo de agua, se pudo evidenciar que el m³ de agua para un estrato 3 tiene un valor unitario de aproximadamente \$2.800 pesos de acueducto y un valor de \$3.000 pesos de alcantarillado para un total de \$5800 pesos, es decir que al mes se debe pagar \$153.990 pesos para un año el valor sería de \$1.847.880 pesos, si se puede economizar el agua de la lavadora se podría tener una reducción de \$258.912 pesos en el año.

4. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

El tratamiento de aguas grises ha sido un tema de desarrollo más industrial que doméstico, y aunque el procedimiento es básicamente el mismo, el único factor que los diferencia es la cantidad de agua a tratar, aunque los métodos utilizados por las empresas son más sofisticados y con desarrollos tecnológicos más avanzados, los procesos de filtración son los mismos.

El objetivo ya sea doméstico o industrial es reutilizar el agua para economizar y generar un impacto en ambiente y en las comunidades ya sea desde el punto de vista de conciencia del agua o económico.

4.1 Sistemas de reciclaje de aguas grises.

4.1.1 Empresa Soliclima, España (solliclima, s.f.)

La filtración se realiza una vez el agua entra al depósito del dispositivo, las partículas de gran tamaño son acumuladas mecánicamente para luego ser arrojadas directo al alcantarillado que son los depósitos de reciclaje; luego de este paso se lleva a cabo un tratamiento biológico que descompone las partículas con suciedad, una vez se hace este proceso el agua es bombeada en una frecuencia de 3 horas a la siguiente fase, ya en la fase de esterilización, el agua se somete a la presencia de rayos UV para finalizar su desinfección; en caso de ser necesario se incorpora agua potable de la red para así garantizar el suministro. El sistema se basa en un filtrado sin productos químicos, por lo que es totalmente inodoro, está disponible en diferentes tamaños, adaptándose a las distintas necesidades de consumo (Ver figura 2).

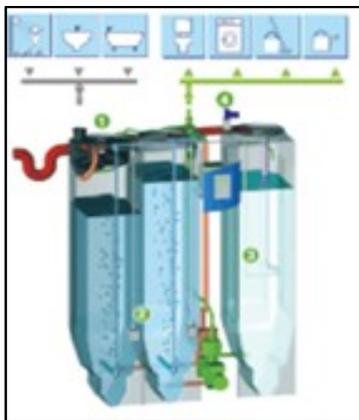


Figura 2- Filtro aguas grises soliclima

4.1.2 Empresa GreyWaterNet, España (GreyWaterNet, s.f.)

Esta empresa ha perfeccionado un sistema de tratamiento de aguas grises que la diferencia de sus competidores; ya que consiste en una serie de tanques que transporta el agua de tanque a tanque los cuales cuentan con un sensor que permite adaptar los procesos al caudal existente y así optimizar el gasto energético. Además de esto, el sistema cuenta con dos técnicas simultáneas de desinfección (Rayos UV y Cloración) las cuales aseguran una mayor calidad del agua (ver figura 3).



Figura 3 - Filtro GreyWaterNet

4.1.3 Empresa BRAC - Systems Canada (Brac System, s.f.)

Los sistemas BRAC fueron construidos para realizar la captación del agua gris que se genera en la casa y luego distribuirla en los tanques de los inodoros, con esta solución los hogares están ahorrando una cantidad importante de agua (Ver figura 4).



Figura 4 - Filtro Brac System

4.1.4 Tratamiento de aguas grises mediante diferentes diseños de filtros de arena (H.I. Abdel-Shafy et al, 2012)

En este estudio se diseñaron diferentes diseños de filtros de arena para el tratamiento del efluente primario. Se utilizaron como etapa tratamiento secundario diferentes tipos de filtro de arenas a diferentes tipos de flujo. Durante el estudio los filtros funcionaron a caudales de $173 \text{ m}^3/\text{d}$ y $86,5 \text{ m}^3/\text{d}$. Se pudo comprobar que el efluente final del tipo de filtro de grava seguido del filtro de arena (GFSF) y el filtro de arena de flujo horizontal (HFSF) cumplían con las normas reglamentarias para la reutilización de agua, las concentraciones de DQO, DBO_5 y SST para el GFSF fue de 43,16 y 7,5 mg/L y para la HFSF fue de 40,17 mg/L y 9 mg/L, respectivamente (H.I. Abdel-Shafy et al, 2012).

En la figura 5 se muestran los sistemas de filtración que se usaron: filtro de grava de flujo descendente (GFDF), filtro de grava de flujo ascendente (GFUF), Filtro de arena de flujo descendente (SFDF), Filtro de grava seguido de filtro de arena (GFSF), Filtro de arena de flujo horizontal (HFSF).

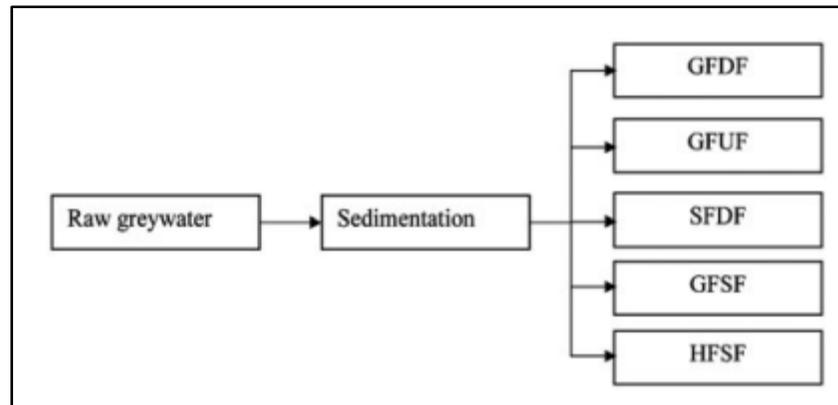


Figura 5 - Diagrama esquemático de las etapas de tratamiento propuestas.

4.1.5 Evaluación del desempeño y tratamiento de un programa descentralizado a escala piloto sistema de reutilización de aguas grises en escuelas rurales del centro-norte de Chile (Carolina Rodríguez et al,2021).

En este trabajo se presentan las pruebas piloto para un sistema de filtración de aguas grises que consiste en unos tanques en paralelo cada uno con materiales filtrantes los cuales se instalaron en la escuela pública rural de la región de Coquimbo, Chile. Se estudiaron diferentes materiales filtrantes como el carbón activado, la arena, antracita, zeolita entre otros; Se encontró que para el carbón activado por ácido (CAA), por bases (CAB) y por calor (HAC) se tuvieron las mejores remociones de materia orgánica con capacidades medias máximas de sorción de 107,7 mg/g, 77,5 mg/g y 78,5 mg/g respectivamente, por otro lado el prototipo que contiene la zeolita y la arena fueron las que resultaron mucho más eficientes para eliminación de la turbidez, alcanzando un porcentaje de remoción superior al 90%. Estos sistemas fueron eficientes garantizando la calidad de agua exigida por la legislación chilena y tienen como ventaja la sencillez de su construcción y los bajos costos (Ver figura 6).

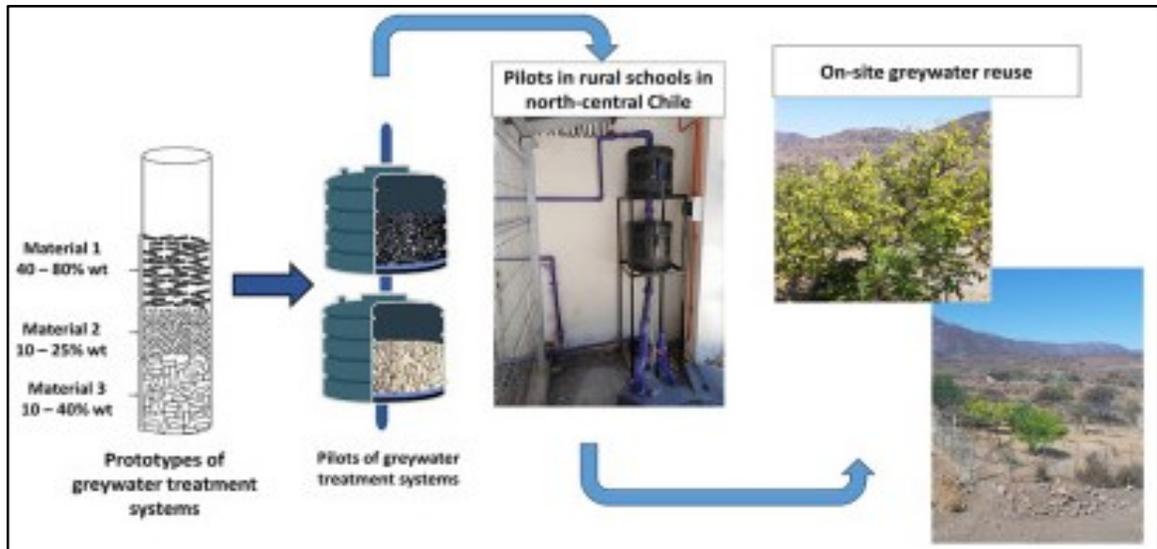


Figura 6 - Diagrama esquemático de las etapas de tratamiento.

5. METODOLOGÍA

En la figura 7, se muestra el proceso necesario que se llevó a cabo para el diseño, la fabricación y pruebas de efectividad del filtro funcional para la eliminación de impurezas del agua que sale a la descarga de la lavadora.

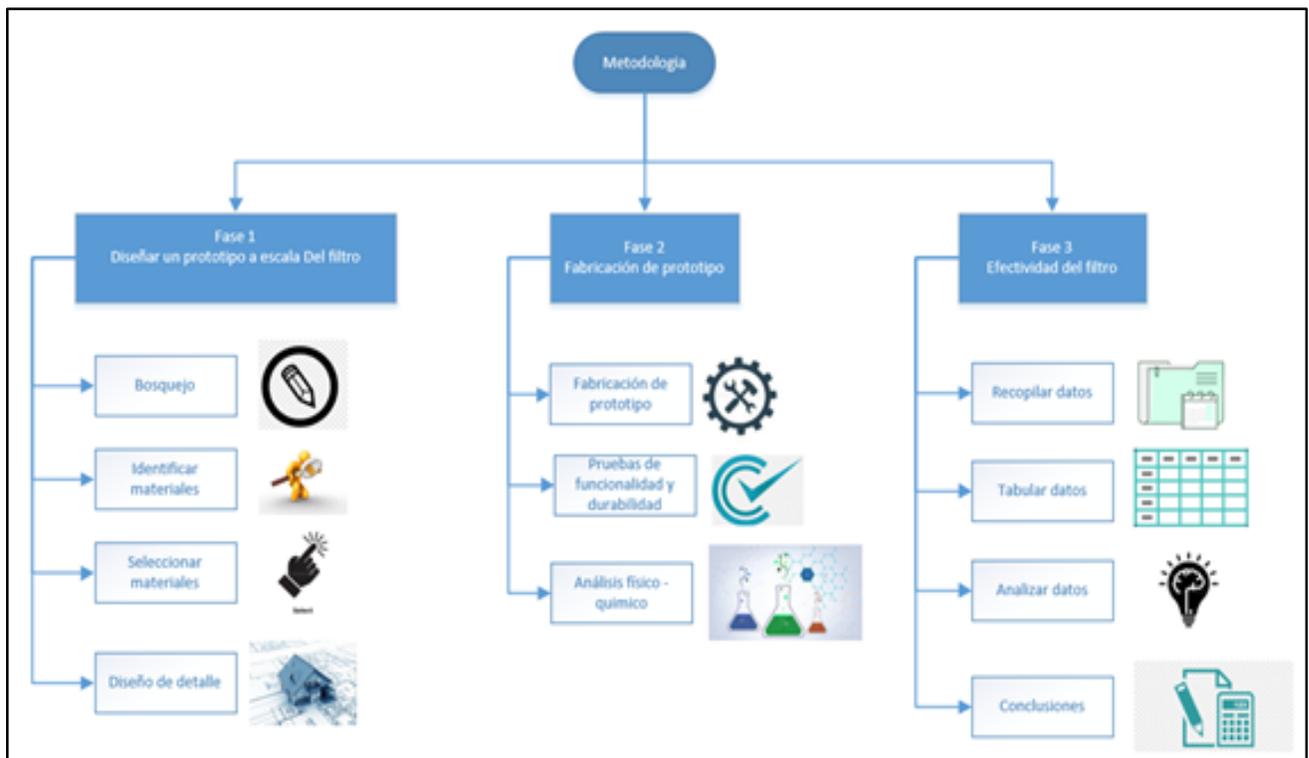


Figura 7 - Diagrama de metodología

Fase 1 - Diseño

- Se realizó un bosquejo con el dimensionamiento preliminar del filtro para tener una idea más clara de su diseño.
- Se consultaron e identificaron los materiales necesarios para fabricar un filtro.
- Se seleccionaron los materiales según su efectividad de filtrado.
- Se realizó un diseño de detalle, con planos de fabricación y cantidades de materiales.

Fase 2 - Fabricación

- Se ensamblaron por lo menos 2 prototipos funcionales de un filtro que remueve las impurezas de las aguas grises.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento que garantizaran un comportamiento mecánico efectivo, es decir que sus componentes no se dañen fácilmente con el uso y que este mantenga su forma inicial y no varíen sus dimensiones al momento de usarlo.
- Se verificó la durabilidad del prototipo después de varios ciclos de filtrado para obtener un estimado de su vida útil.
- Se realizaron los siguientes análisis físico químicos: tensoactivos, color, turbidez, sólidos suspendidos, DQO-COT entre otros.

Fase 3 - Efectividad del filtro y conclusiones

- Recopilar los datos experimentales de las pruebas de funcionalidad y durabilidad del prototipo.
- Tabular los datos experimentales iniciales (Tasa de retención Hidráulica, remoción, volumen de entrada, caudal)
- Analizar los datos obtenidos de salida (Volumen de salida agua filtrada, Caudal de salida, fugas, agrietamientos, saturación, % de remoción)

5.1 BOSQUEJO

Para dar cumplimiento a la fase 1 de la metodología, en el cual se involucra el diseño del prototipo, se realizó un bosquejo con los dimensionamientos dados a partir de un balde de 20 litros el cual determinó las medidas del filtro, las cuales están consignadas en la memoria de cálculo (Ver anexos), se realizó un plano con medidas y vistas en planta, frontal y en corte, una vez se tuvo el plano en versión final se tomó la decisión de fabricar el prototipo con los siguientes materiales:

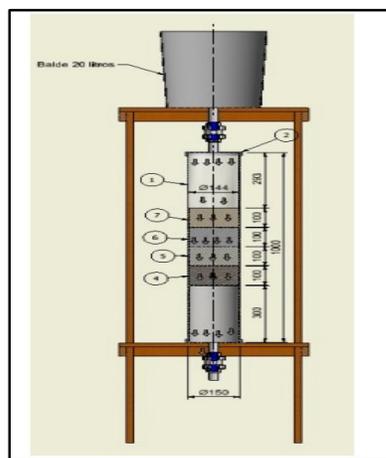


Figura 8. Bosquejo del filtro

5.2 IDENTIFICACIÓN MATERIALES PARA EL FILTRO

En la tabla 3, se muestran los materiales que se usaron con las unidades a utilizar y la construcción paso a paso del prototipo (Ver figura 9).

5.2.1 LISTADO DE MATERIALES

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	1	Tubería acrílico Ø 15cm * 1m	Acrílico
2	2	Tapa Tubo Superior/inferior	Plástico
3	1	Conjunto Anillo 144mm	Metálico
4	1	Balde 20 litros	Plástico
5	1	Tubería Ø 3/4" * 1 m	PVC
6	2	Valvula Ø 3/4"	PVC
7	2	Universal Ø 3/4"	PVC
8	1	Adaptador Tanque Ø 3/4"	PVC
9	1	Estructura * 4m	Madera

Tabla 3 - Listado de Materiales



Figura 9 - Materiales para la construcción

6. MARCO REFERENCIAL

Para este tipo de sistemas de tratamiento de aguas existen varios métodos para la filtración de la misma entre ellas podemos encontrar la arena, la zeolita, el carbón activado, arena antracita etc.

6.1 CARBÓN ACTIVADO

Es uno de los elementos porosos que atrapan compuestos orgánicos en primer lugar, entre ellos se encuentran el petróleo y compuestos derivados de él. El carbón tiene como propiedad adherir moléculas a sus paredes a esta propiedad se llama adsorción. Al sólido se le llama adsorbente y a la molécula adsorbato (Carbotecnia, 2023)

El carbón retiene plaguicidas, grasas, aceites, detergentes, subproductos de la desinfección, toxinas, compuestos que producen color entre otros (Carbotecnia,2023).

El agua por tener contaminantes con bajo peso molecular, se recomienda usar un carbón con alta microporosidad, el tipo de carbón que mejor cumple con esa condición es la concha de coco sin embargo los minerales bituminosos también tienen una gran efectividad (Carbotecnia,2023).



Figura 10 - Carbón Activado

6.2 ARENA SILICEA

La arena sílica según Carbotecnia (2023) es

un compuesto resultante de la combinación de la sílice con el oxígeno. Su composición química está formada por un átomo de sílice y dos átomos de Oxígeno, formando una molécula muy estable: SiO_2 . Esta molécula es insoluble en agua y en la naturaleza se encuentra en forma de cuarzo. Si el cuarzo está cristalizado se denomina Cristal de Roca. Pertenece a la clase de los silicatos y al sistema cristalino trigonal. Este mineral es muy rico en variedades, los que se pueden agrupar en Macro cristalinas, con cristales bien visibles a simple vista, y Criptocristalinas, formada por cristales microscópicos (par.1).

Está compuesta principalmente por cuarzo, más específicamente o en su mayoría por cuarzo blanco, este mineral es considerado el más abundante en la tierra, además de cuarzo contiene un 5% de otros minerales (Carbotecnia,2023).



Figura 11 - Arena Silicea

6.3 ZEOLITA

La zeolita tiene grandes características como lo son sus porosidades de adsorción y de intercambio iónico la cual le permite atrapar moléculas en su interior (*Materiales Filtrantes - Bienvenidos A Fep Water, Soluciones En Agua, 2019*)

Su uso principal es para filtros de agua, por lo que la zeolita absorbe una serie metales pesados como el plomo, cobre, cadmio, zinc, cobalto, cromo, manganeso y hierro (*Materiales Filtrantes - Bienvenidos A Fep Water, Soluciones En Agua, 2019*)



Figura 12 - Zeolita

6.4 CARBÓN ANTRACITA

“La antracita es un excelente medio de filtración para clarificación del agua en uso potable o industrial, cuando es usada en combinación con arenas filtrantes. Es un carbón mineral, de color negro, brillante, con gran dureza, presenta mayor contenido en carbono, hasta un 95%” (*Materiales Filtrantes - Bienvenidos A Fep Water, Soluciones En Agua, 2019*).

“Debido a la forma especial de sus granos permite que el material que se encuentra en suspensión sea retenido en la profundidad del lecho filtrante. En comparación con un filtro de arena, este medio filtrante permite un desempeño en el filtro de mayor flujo, menos caída de presión y un mejor y rápido retrolavado” (*Materiales Filtrantes - Bienvenidos A Fep Water, Soluciones En Agua, 2019*).



Figura 13 - Antracita

7. FABRICACIÓN

Para la fase 2 se construyó el prototipo con los materiales mencionados, se realiza una memoria de cálculo con un caudal de 0.095 L/S, este dato se obtiene de la salida del balde de 20 litros y una tubería de $\frac{3}{4}$ de diámetro, con una velocidad de lavado, volumen, altura, área, etc, las cuales se pueden revisar en los anexos, con diferentes lechos filtrantes y diferentes alturas de los mismos; el cual es soportado por una estructura de madera que alcanza los 2 metros de alto, lo que garantiza que el prototipo quede bien soportado para así realizar las pruebas iniciales.



Figura 14 - Construcción de Filtro

8. ANÁLISIS QUÍMICOS

Se realizaron pruebas de funcionalidad que demostraron que mecánicamente el filtro resistía el caudal de salida del tanque y soportaba los lechos filtrantes de diferentes espesores sin fugas ni grietas visibles. Se tomaron diferentes muestras del agua problema, en diferentes días y cargas para determinar las concentraciones iniciales de los analitos a estudiar se utilizaron los instructivos de ensayo para la determinación de pH, Turbiedad, SST, DQO, N.Amoniaco, SAAM dadas por el Standard Methods Version 2017, arrojando los resultados que se ven en la Tabla 4.

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	CONCENTRACIONES	
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
pH (Unidades)	7.62	6.93
Turbiedad (NTU)	356	489

SST (mg/L)	100	202
DQO (mg/L)	1683	2169
N. Amoniacal (mg/L)	4	13.8
SAAM (Detergentes) (mg/L)	90	87.5

Tabla 4 - Resultados Iniciales Análisis Físicoquímicos

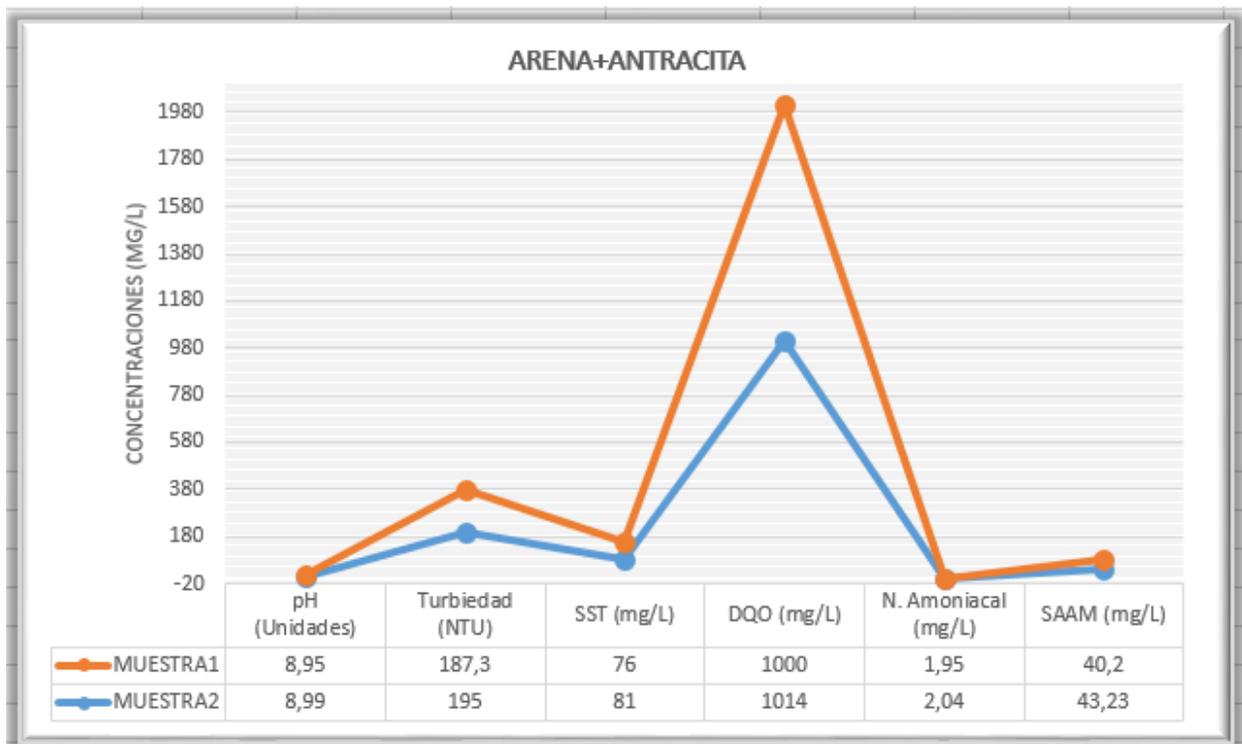
Partiendo de los resultados iniciales, se hacen las pruebas con 3 diferentes combinaciones de lechos para buscar cual es el más efectivo para la remoción de los contaminantes, la combinación inicial se definió de acuerdo al RAS 2000 donde se indica lechos de antracita sobre arena, las otras dos combinaciones se definieron de forma experimental con el objetivo de que los nuevos materiales mejoran la remoción de los contaminantes, estas fueron las combinaciones finales:

- Arena + Antracita
- Arena + antracita +zeolita
- Antracita + Zeolita + Carbón Activado

En la Tabla 5 se muestra la combinación de arena+antracita donde se tuvieron los siguientes resultados:

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	CONCENTRACIONES	
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
pH (Unidades)	8.99	8.95
Turbiedad (NTU)	195	187.3
SST (mg/L)	81	76
DQO (mg/L)	1014	1000
N. Amoniacal (mg/L)	2.04	1.95
SAAM (Detergentes) (mg/L)	43.23	40.2

Tabla 5 - Tabla comparativa resultados muestras arena+antracita



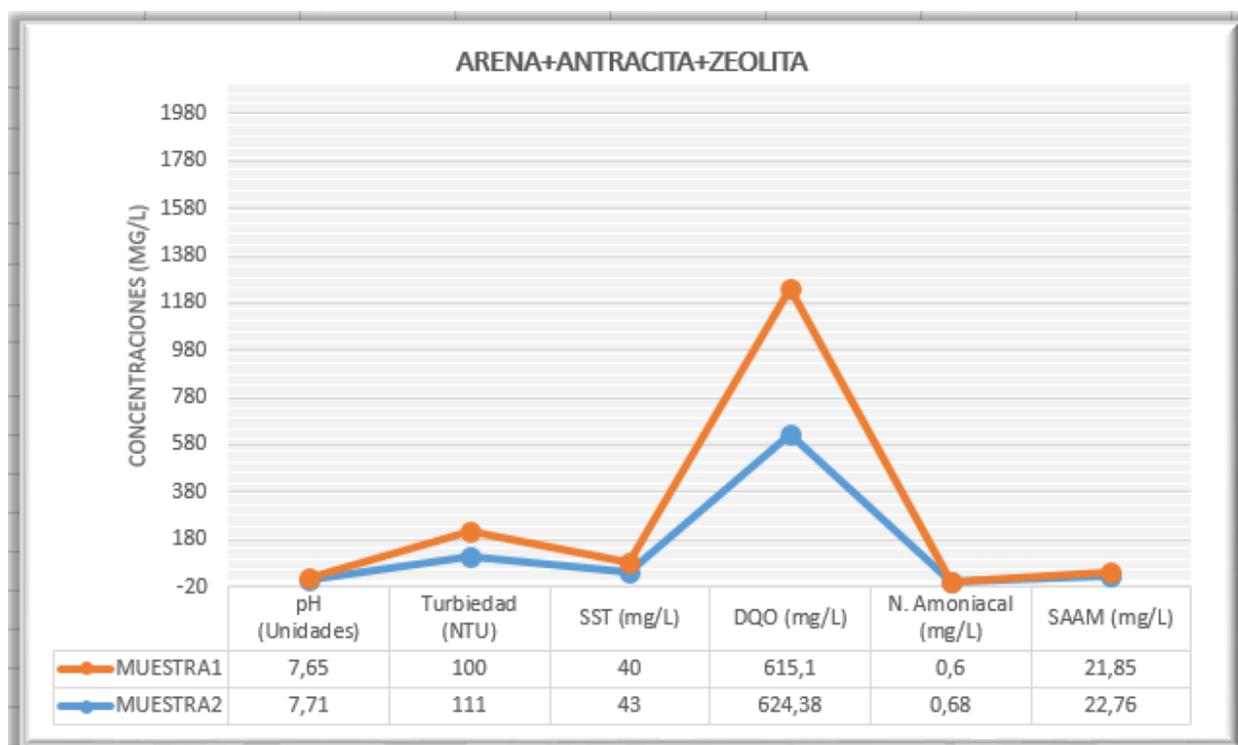
Gráfica 1 - Resultados antracita-arena

Con esta combinación de lecho filtrante los resultados con respecto a la remoción de contaminantes son bastante notorios con un porcentaje total de remoción de aproximadamente un 59%, siendo el pH el valor con un aumento con respecto a los resultados iniciales.

Para la combinación de arena+antracita+zeolita se tuvieron los siguientes resultados (Ver tabla 6):

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	CONCENTRACIONES	
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
pH (Unidades)	7,71	7,65
Turbiedad (NTU)	111	100
SST (mg/L)	43	40
DQO (mg/L)	624,38	615,10
N. Amoniacal (mg/L)	0,68	0,6
SAAM (Detergentes) (mg/L)	22,76	21,85

Tabla 6 - Resultados Arena-Antracita-Zeolita



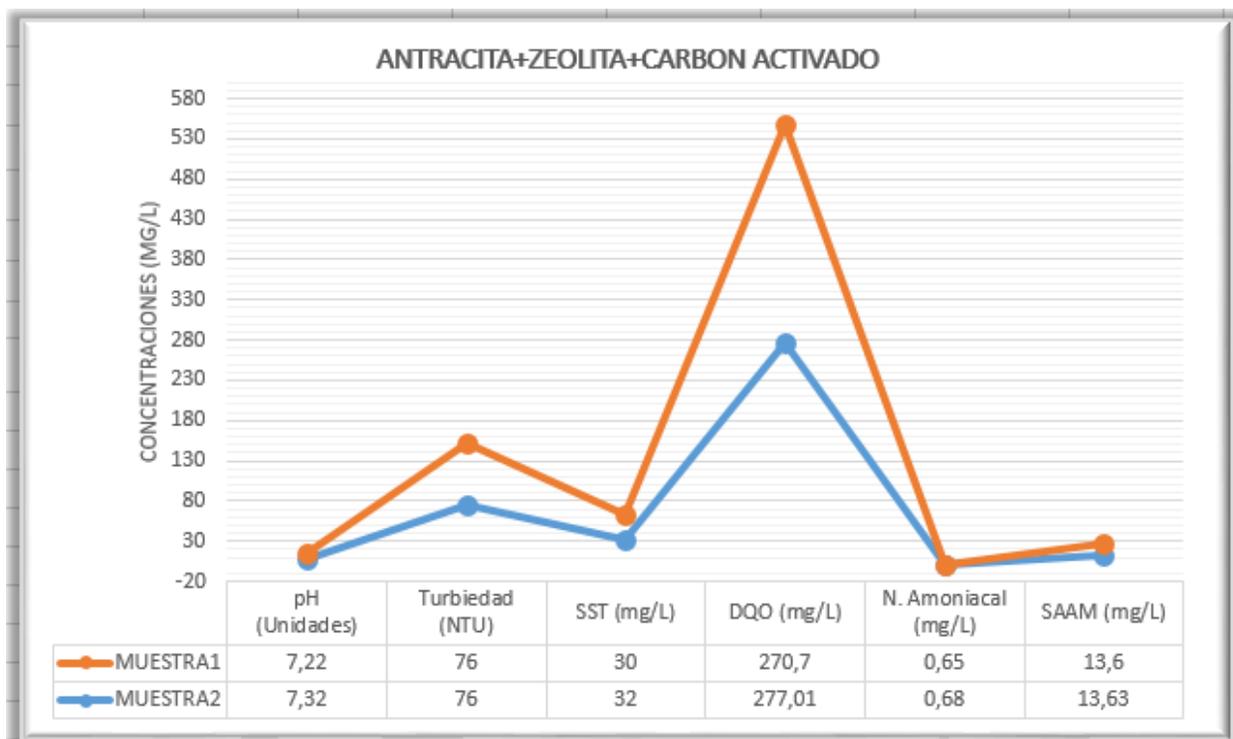
Gráfica 2 - Resultados Arena-Antracita-Zeolita

Con esta combinación de lecho filtrante los resultados con respecto a la remoción de contaminantes son bastante notorios con un porcentaje total de remoción de aproximadamente un 69,3%, con este el valor de pH se mantuvo mucho más estable que con la combinación anterior.

La Tabla 7 muestra los resultados para la última combinación Antracita+Zeolita+Carbón Activado:

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	CONCENTRACIONES	
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
pH (Unidades)	7.32	7,22
Turbiedad (NTU)	76	76
SST (mg/L)	32	30
DQO (mg/L)	277,01	270,7
N. Amoniacal (mg/L)	0,68	0,65
SAAM (Detergentes) (mg/L)	13,63	13,60

Tabla 7 - Resultados Antracita-Zeolita-Carbón Activado



Gráfica 3 - Resultados Antracita-Zeolita-Carbón Activado

Los resultados con esta combinación fueron los mejores según los datos obtenidos en cada una de los experimentos, con un % de remoción de un 79,6%, en este caso el pH tuvo un comportamiento similar al anterior.

En la tabla 8 se muestran los porcentajes de remoción para cada uno de los experimentos:

PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE LOS CONTAMINANTES PARA CADA EXPERIMENTO		
ARENA+ANTRACITA	ARENA+ANTRACITA+ZEOLITA	ANTRACITA+ZEOLITA+C. ACTIVADO
59%	69.3%	79.6%

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se evidencio que el prototipo durante la ejecución de las pruebas no generó fugas ni goteras, los materiales filtrantes se utilizaron 3 veces aproximadamente para realizar las pruebas. Se puede analizar que con los diferentes lechos filtrantes se obtienen diferentes porcentajes de remoción partiendo de los datos iniciales obtenidos inicialmente, se puede decir que la combinación de (Antracita,Zeolita,Carbón Activado) presenta la mayor remoción en total de todos los contaminantes con un 79,6%, sin embargo aunque esta combinación de lecho fue la más eficiente, las dos experimentos restantes mostraron un porcentaje de remoción bastante satisfactorio, Los contaminantes con mayor % de remoción fueron la DQO y los tensoactivos (SAAM) con un % remoción casi de un 50% respectivamente, esto se debe a los materiales usados como lecho filtrante capaces de retener y remover los contaminantes del agua, para obtener estos % de remoción de contaminantes en cada una de las combinaciones se pasó el agua por el filtro aproximadamente unas 4 veces hasta tener una muestra clarificada que visualmente se notará la diferencia entre la muestra inicial y la muestra ya filtrada después, una problemática que se pudo evidenciar fueron los residuos generados después de los experimentos.

10. CONCLUSIONES

- Se puede concluir que el prototipo funciona de manera adecuada con respecto al objetivo, realiza la función por la cual fue construido y la calidad de agua filtrada que sale cumple según los porcentajes de remoción con lo propuesto en los objetivos.
- Se debe contar con tiempo suficiente para estar alimentando el lecho, recolectar las muestras para hacer los análisis fisicoquímicos y generar los resultados de las mismas.

- Con respecto a los materiales utilizados como lechos de filtración se evidenció que se deben lavar perfectamente para sacar cualquier polvillo que traen y luego si empezar el proceso de filtrado, el cual por medio de una bomba sumergible se recircula hasta que la muestra clarifique.
- Teniendo en cuenta que el prototipo se diseñó bajo un caudal de salida, requiere de espacio suficiente para su amplia estructura y demás componentes que están anexos al filtro teniendo cuidado con el intercambio de los materiales filtrantes.

Bibliografía

BARREIRA, V. (2007). *ESTUDIO HIDRODINAMICO DE UN LECHO FLUIDIZADO.*

CEBALLOS, ZULUAGA, & PEREZ. (2001). *EVALUACION DE MODELOS DE PREDICION DE EXPANSION DE LECHOS FILTRANTES.*

COBOS, LONDOÑO, & GARCIA. (2008). *DISEÑO DE UN BIOFILTRO PARA REDUCIR EL INDICE DE CONTAMINACION POR CROMO GENERADO EN LAS INDUSTRIAS DEL CURTIDO DE CUEROS.*

COLINA, L. L. (n.d.). *LEÑOS LA COLINA.* Retrieved from <http://lenoslacolina.com/zeolita>

COLOMBIA, M. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000 TITULO C.*

II, P. (2013). *MANUAL DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES.*

KENT, FITZPATRICK, & WILLIAMS. (1996). *TESTING OF BIOLOGICAL AERATED FILTER.*

NTC. (2010). *NTC 2572 - MATERIAL FILTRANTE GRANULAR.*

OYEBODE, & WATERWAY. (2022). *CHARATERIZATION OF WASTEWATER AND EVALUATION OF RECYCLING TECHNOLOGIES USING ANALYTICAL HIERARCHICAL PROCESS FOR A UNIVERSITY COMMUNITY.*

PEREZ, F. (n.d.). *ABASTECIMIENTO DE AGUAS - FILTRACION.*

RETREPO, & LOZADA. (2018). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA LECHOS FILTRANTES EN PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.*

RONCANCIO, PINILLA, & MARTINEZ. (1989). *EVALUACION DE FILTROS DE ARENA Y DE MALLA PARA RIEGO POR GOTEO.*

VARGAS, A. (2004). *REDISEÑO Y REHABILITACION DE LA PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE TOACHI - MIRAVALLE.*

WILLY, & ESCOBAR. (2005). *DESCRIPCION HIDRAULICA DE LA BATERIA DE FILTROS DE LA PLANTA No 1 DE LA ATARJEA.*

YACYAYO, V. M. (n.d.). *MANUAL DE FILTRACION CAPITULO 9.*

IBRAHEEM, AISHAMMARI, & ALWAN. (2020). *Evaluation of gray water treatment with pilot filter for irrigation purposes.*

ROMERO, J. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .*

Carbotecnia. (2023). *Carbón Activado.* Carbotecnia: Carbón activado, filtración y purificación de agua.

Retrieved May 20, 2023, from <https://www.carbotecnia.info/>

(Materiales Filtrantes - Bienvenidos A Fep Water, Soluciones En Agua, 2019)

ABDEL-SHAFY, EL-KHATEEB, & SHEHATA. (2013). *TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES MEDIANTE DIFERENTES DISEÑOS DE FILTROS DE ARENA.*

ANEXOS