



**Diseño de filtro como alternativa de tratamiento
de agua potable en respuesta a la problemática
del sector Carpinelo II**

Juan David Escobar Arango

Trabajo de investigación para optar al título de Ingeniero Sanitario

Tutor

Maria Camila Grueso Domínguez, Magister en Ingeniería Ambiental

Guillermo León Sepúlveda Quintero, Especialista en Gerencia de Proyectos

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Sanitaria

Medellín, Antioquia, Colombia

2021

Cita	(Escobar Arango, 2021)
Referencia	Escobar Arango J. D (2021). <i>Diseño de filtro como alternativa de tratamiento de agua potable en respuesta a la problemática del sector Carpinelo II</i> , [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Asesores: Maria Camila Grueso Domínguez; Guillermo León Sepúlveda

Coordinador de prácticas: Nora Elena Villegas



Elija un elemento.

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos

Agradecimientos

Agradezco al universo por haber permitido culminar este gran proyecto. De igual manera, le agradezco a mi familia por todo el apoyo incondicional que me han brindado hasta ahora; le agradezco a la Universidad de Antioquia y a la Facultad de Ingeniería, por abrirme tantas puertas, por aportarme valores y conocimiento; por dármele oportunidad de conocer personas maravillosas que no solo fueron un apoyo académico, si no personal; le agradezco a todos los maestros que aportaron en mi proceso académico, en especial a mis dos asesores del presente trabajo de grado, María Camila Grueso y Guillermo León Sepúlveda ya que fueron un gran apoyo para finalizar este proceso en un momento tan difícil como lo fue, la pandemia

Índice de contenido

Agradecimientos	3
Índice de contenido	4
Índice de figuras.....	6
Índice de tablas.....	7
Resumen.....	8
Abstract	9
Introducción	10
Objetivos	11
Objetivo general.....	11
Objetivos y específicos.....	11
Marco teórico	11
Enfermedades de origen hídrico.....	13
Parámetros de calidad del agua.....	14
Parámetros físico químicos	15
Olor y sabor	15
Turbiedad	15
Color	16
pH	17
Alcalinidad	18
Conductividad	18
Cloro residual libre	19
Parámetros microbiológicos	20
Coliformes totales	20
<i>Escherichia coli</i>	20
Unidades de tratamiento empleadas en potabilización convencional.....	22
Coagulación-Floculación.....	22
Sedimentación.....	25
Filtración.....	26
Filtración convencional	33
Desinfección	45
Cloro	45

Ozonificación.....	48
Radiación ultra violeta (UV)	48
Tratamientos no convencionales de bajo costo	52
Coagulantes naturales.....	53
Método de las tres vasijas.....	54
Filtración.....	54
Filtro de tela	55
Filtro en cerámica.....	56
Filtro velas filtrantes.....	57
Metodología	65
Etapa I. Selección de la alternativa de filtración	65
Ubicación.....	66
Parámetros climáticos.....	67
Contexto social de la población	68
Rutas de acceso	68
Acceso a servicios públicos	70
Etapa II: Dimensionamiento del sistema.....	73
Etapa III. Construcción y ensamble de prototipo.....	78
Resultados y análisis	80
Selección de la alternativa de filtración	80
Identificación de proveedores	82
Dimensionamiento del sistema, Construcción y ensamble de prototipo	83
Pruebas con anilina vegetal.....	99
Conclusiones	101
Bibliografía	102

Índice de figuras

<u>Figura 1.</u> <i>Valores de pH y afectaciones en el medio ambiente</i>	6
<u>Figura 2.</u> <i>Tamaño de partículas presentes en el agua</i>	24
<u>Figura 3.</u> <i>Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa</i>	42
<u>Figura 4.</u> <i>Penetración de la radiación UV sobre una célula</i>	48
<u>Figura 5.</u> <i>Sistema de tratamiento de las tres vasijas</i>	54
<u>Figura 6.</u> <i>Sistema de tratamiento de las tres vasijas</i>	55
<u>Figura 7.</u> <i>Filtro vasija cerámico</i>	57
<u>Figura 8.</u> <i>Filtro velas cerámicas</i>	58
<u>Figura 9.</u> <i>Filtro velas cerámicas con prefiltros de arena</i>	59
<u>Figura 10.</u> <i>Localización geográfica del sector Carpinelo II</i>	68
<u>Figura 11.</u> <i>Malla vial comuna</i>	70
<u>Figura 12.</u> <i>Sistema de movilidad comuna 1</i>	70

Índice de tablas

Tabla 1. Algunas Bacterias importantes en el ambiente (Glynn &. Heinke, 1999)	6
Tabla 2. Clasificación de enfermedades relacionadas con el agua (Cabezas Sánchez, 2018)	13
Tabla 3. Características físicas de agua potable establecidas en el Artículo N°2, Resolución 2115 de 2007	19
Tabla 4. Características microbiológicas de agua potable, establecidas en la normativa colombiana	21
Tabla 5. Características de los medios filtrantes	29
Tabla 6 Clasificación de filtro según la tasa de filtración	33
Tabla 7. Ficha técnica de filtración lenta en arena	34
Tabla 8. Ficha técnica de filtración lenta en múltiples etapas	36
Tabla 9. Medio de soporte para filtración en múltiples etapas	37
Tabla 10 . Medio filtrante para filtración en múltiples etapas	37
Tabla 11. Propiedades físicas generales y granulometría de los medios utilizados en filtros rápidos	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 12. Ficha técnica de filtración rápida en arena	39
Tabla 13. Diferentes tipos de cloro que se encuentran en el mercado.....	46
Tabla 14. Tecnologías convencionales de potabilización de agua y sus limitaciones.....	50
Tabla 15. Filtros en arena de bajo costo	60
Tabla 16. Cronograma de actividades	66
Tabla 17. Información climatológica del valle de aburra	68
Tabla 18. Censo servicios públicos domiciliarios	70
Tabla 19. Parámetros de calidad del agua del barrio Carpinelo II.....	71
Tabla 20. Características de forma de los medios granulares.....	76
Tabla 21. Comparación de filtros en el mercado	81
Tabla 22. Prototipos 1, 2, 3 y 4.....	84
Tabla 23. Prototipo 5	85
Tabla 24. Masa de las unidades 1, 2, 3, 4 y 5	86
Tabla 25. Presentación prototipo 26 de abril	87
Tabla 26. Prototipo 6 y 7	89
Tabla 27. Renderizado prototipo 6	90
Tabla 28. Proceso de ensamble prototipo 6.....	92
Tabla 29. Unidades 8 y 9	94
Tabla 30. Renderizado prototipo 6	95
Tabla 31. Perdidas en el lecho filtrante Empleando tasa de filtración de $7m^3/(m^2*d)$	97
Tabla 32. Perdidas en el lecho filtrante Empleando tasa de filtración de $250m^3/(m^2*d)$..	97
Tabla 33. Ensayos hidráulicos para el prototipo 8.....	98
Tabla 34. Presentación prototipo 23 julio.....	100

Resumen

El presente trabajo, aspira brindar una alternativa de filtración de bajo costo para mejorar la calidad del agua de la comunidad de Carpinelo II, cumpliendo con los parámetros hidráulicos que exige la normatividad colombiana (RAS) a partir de un prototipo que emplea materiales de fácil acceso, económicos, prácticos y teóricamente viables.

En zonas rurales o de difícil acceso a agua potable, las unidades de filtración en arena, son una alternativa que mejora las características fisicoquímicas del agua. Esta investigación, se realizó a partir de una extensa revisión bibliográfica, donde se emplearon teorías ya aplicadas como altura de lecho, distribución del material filtrante, material de soporte y características granulométricas de estas.

Se tuvieron en cuenta 9 prototipos, de los cuales 4 se ensamblaron hasta llegar a la unidad final. A medida que la unidad parecía ser prometedora, se realizaron renders, para entender el funcionamiento y la estructura del filtro. Debido a que la gran mayoría de las unidades eran inviables, ya que no cumplían con las tasas de filtración, se evaluaron varias piezas en PVC, que fue el material seleccionado para la estructura de la unidad hasta encontrar la más adecuada. A la unidad final, se les realizaron pruebas hidráulicas, con el fin de verificar si las tasas de filtración, cumplían con lo que exigía la normatividad colombiana, dando por sentado que dicho diseño podría trabajarse como filtro rápido y lento, siempre y cuando se calibre correctamente la válvula de salida.

Aunque la unidad de filtración hidráulicamente es viable, se deben realizar evaluaciones fisicoquímicas y microbiológicas empleando el agua de la comunidad de Carpinelo II. Además, como se menciona en la teoría de filtración que se menciona en este trabajo, este tipo de filtros generalmente requieren de una etapa de pulimiento como lo es la desinfección, para así, garantizar agua segura.

Palabras clave: agua potable, filtración en arena, tratamiento de agua, material de filtración, filtro doméstico

Abstract

This piece of work looks for a new alternative of low-cost filtration to improve the quality of the water in the community Carpinelo II, fulfilling the hydraulic parameters required by the Colombian normativity (RAS). All this was done using a prototype that uses easy access, cheap, viable and practical materials, practical, and viable.

In the rural zones where the water isn't good for the human use, the unities of sand filtration are an alternative that improves the physicochemical composition of the water.

This research was made based on an extensive bibliographical analysis. This analysis used already proved theories such as bed height, distribution of the filter material, support material and granulometric characteristics of these.

This research considers 9 prototypes, which 4 of them where ensembled to the last unit. It must be noted that when the emsambled unit seemed promising, different renders were made in order to understand the Internal mechanism and the structure of the filter. Since most of the units did not accomplish the filtration rate, then most of them were not viable. As a consequence of this, multiple PVC pieces were evaluated. This was done following this path because PVC was the provisional selected material for the structure until it was found the final material. There were made final tests to the final unit aiming to verify wether the filtration rate followed the standard stated by the colombian law. This revision should consider that the design could work as fast and slow filter always that the delivery stop valvle is correctly calibrated .

Even tough the filtration unit is viable, physico-chemical and mycro-biological assestments should be done. All this using the water of the people living in Carpinelo II. Moreover, just as it is mentioned in this research report, this type of filter generally need a polishing and disinfection stage, in order to secure the production of safe water

Key words: potable water, sand filtration, water treatment , domestic filter

Introducción

El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas, a través de la Resolución 64/292, declara al agua como derecho humano (ONU, 2010); no obstante, una de cada tres personas carece de agua apta para consumo humano (UNICEF, 2019).

Colombia es un país con gran riqueza hídrica (Universal, 2011) sin embargo, gran parte de su población, en su mayoría rural, enfrenta una situación crítica por la falta de acueducto, por lo que se ven obligadas miles de personas a extraer el agua de pozos, ríos y conexiones informales, exponiéndose así a múltiples enfermedades. (Ávila, 2015).

El barrio Carpinelo II, está ubicado en la comuna I, en la zona nororiental de la ciudad de Medellín en el departamento de Antioquia; es un asentamiento que comenzó por la llegada de comunidades desplazadas, debido a la violencia que se vivió en los sectores aledaños (Cardona, 2010). Puesto que es una zona en proceso de formalización, la población no cuenta con servicios públicos domiciliarios. En vista a la problemática que se vive en esta comunidad, la población se ha visto obligada a extraer agua de la tubería de aducción que conecta el embalse de Piedras Blancas con la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Villa Hermosa, esto quiere decir que el agua que transportan a los diferentes hogares, no presenta ningún tratamiento (GIGA, 2019). En relación con lo anterior, la comunidad ha manifestado como problema priorizado, la no distribución de agua potable a través de las mesas de diálogo de entorno comunitario. (Universidad de Antioquia, 2016).

El objetivo de este trabajo es dar respuesta a la necesidad de acceso al agua apta para consumo de la población del barrio Carpinelo II, a través de una alternativa de filtración que se acomode a las condiciones económicas del sector, partiendo de una metodología de revisión documental y estados del arte, que según Hurtado, “este tipo de metodología, es una técnica en donde se recolecta información escrita sobre un determinado tema, teniendo como fin proporcionar variables que se relacionan indirectamente o directamente con el tema establecido, vinculando esta relaciones, posturas o etapas” (Hurtado, 2008).

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una alternativa de filtración como respuesta a la necesidad que tiene la población del barrio Carpinelo II, ubicada en la ciudad de Medellín, sobre su calidad del agua, teniendo en cuenta contexto socio-económico del sector.

Objetivos y específicos

- Seleccionar una alternativa de filtración eficiente, que responda a las condiciones económicas, sociales y culturales del barrio Carpinelo II.
- Elaborar la memoria de cálculo y los planos de la alternativa de filtración, de acuerdo con los parámetros técnicos e hidráulicos reglamentados.
- Construir un manual de uso y mantenimiento del sistema de filtración en el que se incluyan soluciones alternativas de pulimiento o desinfección para garantizar agua segura a la población del barrio Carpinelo II.

Marco teórico

El agua es un componente indispensable para la vida humana (Salas Salvadó, y otros, 2021), sin ella la probabilidad de que haya vida, es poca. No solo es importante en su ingesta, si no también es necesaria para la producción de alimentos, el saneamiento y otros usos de la actividad humana. (Cabezas Sánchez, 2018)

El agua potable es un beneficio que toda la población mundial debería tener acceso, ya que no solo trae beneficios en cuanto a salubridad y reducción de enfermedades de origen hídrico, si no también mejora la calidad de vida de la población, combate la pobreza, evita el desplazamiento de largas distancias para abastecerse de esta y ofrece bienestar (OMS, 2014).

De acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible que planteó la ONU en el 2017 con el fin de erradicar la pobreza, ayudar al medio ambiente y mejorar la calidad de vida de la población mundial, el agua segura junto con el saneamiento, hace parte del sexto objetivo de desarrollo sostenible, donde se enmarcan datos alarmantes como “3 de cada 10 personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros ”, “Cada día, alrededor de 1000 niños mueren debido a enfermedades diarreicas asociadas a la falta de higiene”, entre otros, para informar sobre la realidad de inequidad y afectaciones del recurso agua salubre (OMS, 2006) Los Objetivos de desarrollo sostenible que planteó la ONU están correlacionados, ya que cuando uno de esta mejora, directa o indirectamente los otros también (ONU, 2015).

El agua pura se describe como un líquido inodoro, incoloro e insípido; sin embargo, es inevitable que el agua entre en contacto con vegetación, rocas y/o seres vivos que le aportan materia orgánica, sales minerales, entre otros elementos, por lo que cambia las características físicas, químicas y microbiológicas, perdiendo así su estado puro (Instituto Agua y Salud, 2021). Se estima que en un gramo de tierra, subyacen aproximadamente 40 millones de células bacterianas, esto quiere decir que existen grandes grupos y géneros de bacterias que intervienen en el medio ambiente como se muestra en la Tabla 1, donde cada una tiene una función diferente en el medio, sin embargo algunos microorganismos en el agua, puede transmitir múltiples enfermedades.

Tabla 1. Algunas Bacterias importantes en el ambiente (Glynn & Heinke, 1999)

Grupo de bacterias	Género	Importancia ambiental
Bacterias patógenas	Salmonella	Causa Tifoidea
	Shigella	Causa disentería
	Mycobacterium	Causa tuberculosis
Bacterias Indicadoras	Escherichia	Contaminación fecal
	Enterobacter	
	Streptococcus	
Bacterias de descomposición	Pseudomonas	Degrada compuestos orgánicos

	Flavobacterium	Degrada proteínas
	Zooglea	Organismos formados por floculos en plantas de lodo
	Clostridium	Producen ácidos grasos a partir de la materia orgánica en un digestor anaerobio
	Micrococcus	
	Methanobacterium	Producen metano gaseoso a partir de ácidos grasos en un digestor anaerobio
	Methanococcus	
	Methanosarcina	
Bacterias nitrificantes	Nitrobacter	Oxidan compuestos nitrogenados inorgánicos
	Nitrosomonas	
Bacterias desnitrificantes	Bacillus	Reducen nitratos y nitritos en nitrógeno gaseoso
	Pseudomonas	
Bacterias fijadoras de nitrógeno	Azotobacter	Capaces de fijar el nitrógeno atmosférico en NH ₃
	Beijerinckia	
Bacterias sulfurosas	Thiobacilus	Oxida el azufre y hierro
Bacterias reductoras	Desulfovibrio	Intervienen en la corrosión de tuberías de hierro

Tabla extraída de: (Glynn & Heinke, 1999)

Enfermedades de origen hídrico

Las enfermedades de origen hídrico, pueden clasificarse como se muestra en la

Tabla 2

Tabla 2. Clasificación de enfermedades relacionadas con el agua (Cabezas Sánchez, 2018)

Clasificación	Mecanismos	Ejemplo
Portadas o transmitidas por el agua	Contaminación fecal	Cólera, tifoidea, enteropatógenos, VHA, VHE, enterovirus, parásito intestinal
Soportadas por el agua	Organismos que parte de su ciclo de vida pasan en el agua	Fasciolosis, paragonimosis, leptospirosis

Vinculadas con el agua	Vectores biológicos que parte importante de su ciclo de vida se da en el agua	Malaria, dengue, zica, fiebre amarilla, chikungunya
Lavadas por el agua	Relacionados a pobre higiene personal y al contacto con el agua contaminada	Pediculosis, rickettsiosis
Dispensadas por el agua	Organismos que proliferan en el agua y entran por el tracto respiratorio	Legionelosis

Información extraída de (Cabezas Sánchez, 2018)

Las características del agua pueden variar con ligereza, por ende, se debe conocer cuales los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, del agua potable, para así hacer una estimación de la calidad con los valores de referencia correspondientes y valorarla como segura o no segura para su consumo.

El agua se considera, segura o apta para consumo humano cuando es limpia, insípida, inodora, incolora y libre de contaminantes, incluso presentando ciertas características y partículas disueltas, siempre y cuando estas no presenten un riesgo para la salud humana. (Resolución 2115)

Parámetros de calidad del agua

Para garantizar agua segura, es necesario conocer las características del agua; para esto existen unos parámetros de calidad que determinan las condiciones físicas, químicas y microbiológicas, tales parámetros en Colombia, están regidos por el MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL a través de la Resolución 2115 del 2007, donde indican cuales son los instrumentos básicos de control y vigilancia, y los valores máximos permisibles de cada una

de las características que posee el agua para así garantizar un consumo seguro.(Resolución 2115)

Parámetros físico químicos

Los parámetros físicos dan a conocer información del estado del agua, entre ellos se encuentran el color, olor, sabor, turbidez, pH, cloro residual, conductividad y presencia de elementos que tienen efectos sobre la salud humana. (Orellana , 2005)

Olor y sabor

El olor y el sabor en el agua pueden ser aportados por sustancias químicas disueltas o compuestos orgánicos en descomposición (Orellana , 2005), sin embargo la normatividad colombiana presenta la opciones de ser aceptable o no. (Resolución 2115), este criterio es más por observación humana (Orellana , 2005).

Turbiedad

Es la medida del grado de transparencia que pierde el agua u otro líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. A mayor cantidad de sólidos suspendidos, mayor será el grado de turbidez. Es considerado como un excelente indicador de calidad de agua, sin embargo, se debe tener en cuenta otros parámetros para determinar la condición de esta (LENNTECH, 2021)

La turbidez se mide en UNT: Unidades Nefelométricas de Turbidez. El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua (LENNTECH, 2021). La turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 2 UNT, y estar idealmente por debajo de 1 UNT. (OMS, 2006)Existen distintos factores que influyen en la turbidez, como los sedimentos procedentes de la erosión o resuspensión debido actividad animal, también debido a la presencia de fitoplancton, descarga de efluentes, crecimiento de algas, esorrentía industria o urbana, entre otros.

Color

Es un parámetro organoléptico que hace parte de los indicadores de calidad del agua para consumo humano. Está relacionado con partículas en suspensión y sustancias disueltas (LENNTECH, 2021) s. El color en el agua está caracterizado por dos maneras, como color aparente y color verdadero (Martinez & Osorio, 2018)

Color aparente

El color aparente, hace referencia a la presencia de materia en suspensión y disuelta en el agua (Martinez & Osorio, 2018). Cabe resaltar que el color aparente, es el único tipo de color que está regido por la normatividad colombiana (Resolución 2115). El valor máximo aceptado por dicha normativa es 15 UPC (unidades de platino cobalto). El método que se emplea para realizar la medición de color aparente se llama comparación visual, este consiste en comparar la muestra de estudio con soluciones coloreadas o discos de cristal de color previamente calibrados. Al comparar la muestra de agua con la serie de patrones de color, que por unidad de medida representan 1 ppm de platino (en forma de cloroplatinato) la cual se le añade una pequeña cantidad de cobalto, para así, e igualar el matiz de color. Los resultados obtenidos son expresados en UPC (Unidades de platino cobalto) (Higiene Ambiental, 2021).

Color verdadero

El color verdadero, hace referencia a sustancias en solución (Martinez & Osorio, 2018) y no hace parte de los parámetros que rigen la normatividad colombiana. La medición del color verdadero se hace a partir del método espectrofotométrico, este consiste en colocar una muestra de agua en una celda de cuarzo en un espectrofotómetro, este cuantifica la luz absorbida en unidades de absorbancias. Para realizar el cambio de unidades de absorción del equipo, a las UPC (unidades de platino cobalto) que son las unidades estándar de color, se

realiza una curva de calibración a partir de un estándar de Cloroplatinato de potasio y cloruro de cobalto. (Rodriguez, 2016)

pH

Es una medición del potencial de hidrógeno (H^+), el cual indica la alcalinidad o acidez del agua; este no presenta unidades. El agua contiene protones e iones hidroxilo. Las mediciones están determinadas por una escala de 0-14, considerándose el número 7 como el valor neutro, en este caso la cantidad de iones hidroxilo y protones es la misma; los valores mayores a 7 se consideran alcalinos, en este caso el número de iones hidroxilo es mayor a la cantidad de protones y valores menores a 7 se consideran ácidos, donde se presentan mayor cantidad de protones que iones hidroxilo (PureWater SAS., 2019). El pH de agua potable debe estar en un rango de 6,5 y 8,5, según indica la normatividad colombiana (Resolución 2115 del 2007) las aguas continentales con valores de pH inferiores a 5 y mayores a 9.5, no son capaces de sobrellevar vida vegetal ni animal (Universidad distrital, 2012). En tratabilidad y evaluación de calidad del agua, el pH es uno de los parámetros más empleados ya que puede indicar presencia de algún contaminante, o desequilibrio en el agua, también se emplea para prevenir corrosión y obstrucción en los sistemas de tratabilidad y transporte de agua (PureWater SAS., 2019). La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, da a conocer el rango de pH, efectos en el medio ambiente y algunas afectaciones en este.

Figura 1.

Valores de pH y afectaciones en el medio ambiente.



Nota. Fuente (PureWater SAS., 2019)

Alcalinidad

La alcalinidad en el agua, puede definirse como la capacidad de un líquido para reaccionar o neutralizar iones hidronio (H^+), es decir, la capacidad de resistencia a los cambios de pH que pueden presentarse en el agua. La alcalinidad es causada por carbonatos, hidróxidos, bicarbonatos en solución, generalmente es aportada por rocas calizas pertenecientes a las aguas continentales. La alcalinidad se puede expresar de dos maneras, como equivalentes de carbonato de calcio ($CaCO_3$) en mg/L o concentración de equivalente de iones hidroxilo mg/L. Este parámetro está asociado a la dureza del fluido y es de gran importancia en coagulación, prevención de obstrucción de tuberías y/o ablandamiento de agua (Universidad distrital, 2012). Dentro de la normatividad colombiana, la alcalinidad tiene un valor máximo aceptable de 200 mg/L $CaCO_3$ (Resolución 2115 del 2007)

Conductividad

La conductividad en el agua se define como la capacidad que tiene el fluido para transportar a través de los iones disueltos en este, corriente eléctrica. Las unidades de medida de este parámetro según el sistema internacional de medidas son Siemens por metro (S/m).

Se considera un indicador de calidad del agua porque da a conocer de forma indirecta la cantidad de sólidos disueltos como sales que pueden conducir corriente eléctrica, también llamados electrolitos (Carbotecnia, 2021). Según la Resolución 2115 del 2007, el valor máximo admisible para agua segura es de 1000 microsiemens/cm, sin embargo, indica que cuando el agua presenta un crecimiento o decrecimiento de más del 50% del valor de conductividad habitual, se debe hacer un análisis detallado de la causa de este. (Resolución 2115 del 2007)

Cloro residual libre

El cloro es uno de los elementos más usados en la desinfección del agua a nivel mundial, debido a su poder oxidante y su bajo costo en el mercado internacional. El tiempo de contacto del agua con las conexiones de abasto como tuberías, puede favorecer el crecimiento bacteriano, por ende, es necesario garantizar un efecto residual de alta duración capaz de reducir las concentraciones microbiológicas que puedan generarse allí (Zúñiga Carrasco & Samperio Morales, 2019)

El cloro residual se encuentra como una combinación entre hipoclorito y ácido hipocloroso, que varía en función del pH. El cloro residual combinado es el resultado de la mezcla de dos componentes como el cloro y amonio (cloraminas), además es menos oxidante que el cloro libre (Tinoco Rivera, 2019)

Según la Resolución 2115 del 2007 (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2007) los valores máximos aceptados según algunas de las características físicas y químicas se muestran en la Tabla 3

Tabla 3. *Características físicas de agua potable establecidas en el Artículo N°2, Resolución 2115 de 2007*

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de platino y cobalto (UPC)	15,0

Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2,0
pH	Como número	6,5-7,5
Alcalinidad	CaCO ₃ mg/L	200
Conductividad	Siemens por metro (S/m)	1000

Tabla extraída de: Resolución 2115 de 2007, Artículo N°2. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Parámetros microbiológicos

La presencia de microorganismos hace parte de los parámetros básicos de calidad del agua. La presencia de estos organismos está directamente relacionada generalmente con la descomposición de materia orgánica, contaminaciones fecales, descarga industrial o doméstica en los cuerpos de agua, entre otras. Normalmente los grupos de bacterias que se evalúan en los parámetros de calidad del agua son coliformes totales y *Escherichia coli*. (CB, 2004)

Coliformes totales

Son un grupo de bacterias, que a nivel sanitario dan indicios de contaminación debido a descomposición orgánica, de desechos, entre otros compuestos. Generalmente se encuentran en las capas superficiales de los cuerpos de agua, plantas, animales, suelos o sedimentos (CB, 2004). Coliformes totales, están estrechamente relacionada con contaminación fecal, que ha sido y sigue siendo un riesgo sanitario, provocando enfermedades y muertes a nivel global. (Vives De Andréis, 2012)

Escherichia coli

Más conocida como *E. coli*, es una bacteria anaerobia facultativa del grupo Enterobacteriácea, se encuentra generalmente en el tracto intestinal de animales y seres humanos. En algunas ocasiones provienen de aguas con gran cantidad de materia orgánica, procedentes de efluentes industriales, suelos en descomposición o materias vegetales. Son

indicadoras de contaminación fecal o presencia de materia orgánica en el agua. (Crittenden, Trussell, Hand, Howe, & Tchobanoglous, 2012).

Como se muestra en la

Tabla 4, extraída del artículo 11 de la resolución 2115 del 2007 (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial,2007), indica que, en cualquier tipo de método que se emplee, ninguna muestra podrá contener microorganismos en 100cm³ (Ministerio de ambiente, 2007). La presencia de bacterias Coliformes, pueden ser muy útiles como bioindicadores de contaminación, debido a sus características y al ser bacterias termo tolerantes, sin embargo, la ausencia de *E coli*, no asegura presencia de otros organismos más resistentes como bacteriófagos o esporas bacterianas. (ONU, 2015)

Como se muestra en la

Tabla 4, extraída del artículo 11 de la resolución 2115 del 2007 (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial,2007), indica que, en cualquier tipo de método que se emplee, ninguna muestra podrá contener microorganismos en 100cm³ (Ministerio de ambiente, 2007).

Tabla 4.

Características microbiológicas de agua potable, establecidas en la normativa colombiana

Técnica utilizada	Coliformes totales	<i>Escherichia coli</i>
Filtración por membrana	0,0 UFC/100,0cm ³	0,0 UFC/100,0cm ³
Enzimas sustrato	< de 1 microorganismo en 100,0 cm	< de 1 microorganismo en 100,0 cm
Sustrato definido	0 en microorganismo en 100,0 cm ³	0 en microorganismo en 100,0 cm ³
Presencia-ausencia	Ausencia en 100,0 cm ³	Ausencia en 100,0 cm ³

Fuente: Resolución 2115 de 2007, Artículo N°5. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Para garantizar que las características físicas, químicas y microbiológicas del agua respondan con parámetros de calidad del agua, existen múltiples alternativas, como unidades

de tratamiento que ayudan a reducir y/o eliminar los contaminantes presentes en los cuerpos de agua y así obtener las condiciones adecuadas para su consumo, estas pueden ser unidades convencionales o no convencionales de tratamiento (Chulluncy, 2011)

Unidades de tratamiento empleadas en potabilización convencional

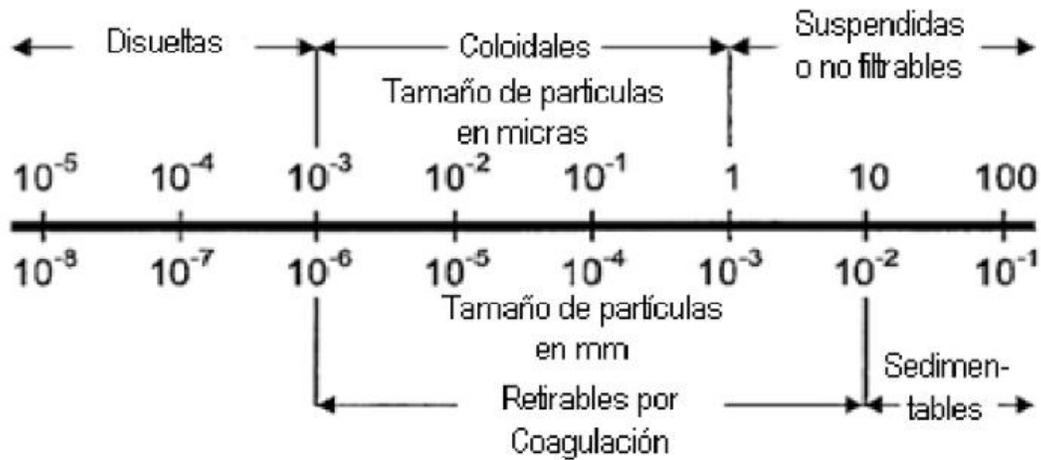
Existen tratamientos físicos, químicos, biológicos y la combinación de estos (Grisales Penagos, 2010). Algunas de las unidades convencionales para el tratamiento de agua potable son:

- Coagulación-floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección

Coagulación-Floculación

Las aguas continentales pueden contener partículas disueltas o en suspensión de compuestos orgánicos, constituidos por virus, protozoos, bacterias, compuestos en descomposición y compuestos inorgánicos, constituidos por minerales, arcillas, limos, por ende, es necesario eliminar este tipo de elementos para mejorar la claridad en el agua, reducir turbidez, reducir agentes tóxicos e infecciosos. Una forma de reducir estas sustancias que subyacen al agua es a través de procesos de coagulación-floculación. Este es un proceso muy empleado en plantas de tratamiento de agua potable ya que ayuda a mejorar el rendimiento en cuanto a remoción de partículas coloidales, sustancias húmicas, impurezas y microorganismos. Debido a que las partículas coloidales presentan en general una carga superficial negativa, se dificulta la aglomeración entre ellas y a su vez la remoción (De Vargas, 2004). En la Figura 2 se puede observar las características de las partículas que pueden estar presentes en los cuerpos de agua.

Figura 2.
Tamaño de partículas presentes en el agua



Nota. Fuente (Campo & Tobar, 2011)

En principio, los coagulantes desequilibran las cargas de las partículas coloidales y por consiguiente los floculantes ayudan a la formación de compuestos de mayor tamaño también llamados flocs. En general los coagulantes están formados por sales de hierro y aluminio (De Vargas, 2004).

Dependiendo las características del agua a tratar y las partículas que normalmente yacen en ella se emplea el tipo de coagulante. En el mercado los coagulantes más empleados son:

- Cloruro de aluminio: Es una sal de baja relación de basicidad con fórmula $AlCl_3$ (AC), debido a la alta pureza de la cual es proveniente es muy eficiente en la industria química. (INSST, 2018)

- Policloruro de aluminio (PAC): Es una sal básica con su fórmula química $[Al(OH)_m Cl_{3-m}]_n$, empleado en procesos de clarificación de agua, agua residual e industrial. Es un coagulante altamente eficiente y genera bajos volúmenes de lodo. (INSST, 2018)
- Sulfato de Aluminio tipo A: Este tipo de coagulante es una sal inorgánica, empleada generalmente en la separación de sólidos en procesos hidrodinámicos. La fórmula química es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ y contiene una apariencia cristalina, de color blanco y es altamente soluble en el agua. (INSST, 2018)
- Sulfato de Aluminio tipo B: Este tipo de coagulantes es generalmente empleado para tratamiento de agua potable y residual, es capaz de remover agentes contaminantes que intervienen en el color y la turbiedad. En el mercado puede obtener en estado líquido y sólido, las fórmulas correspondientes a estas son $Al_2(SO_4)_3(ac)$, $Al_2(SO_4)_3(ac) \cdot 14H_2O$. (INSST, 2018)
- Sulfato Férrico: El aspecto de este coagulante es de aspecto líquido, es incoloro y la fórmula química es $Fe_2(SO_4)_3(ac)$; generalmente empleada en tratamientos de potabilización y aguas residuales, produce un flóculo denso facilitando la precipitación de estas sustancias. (INSST, 2018)

El proceso de coagulación puede verse influido por algunos factores como la calidad del agua, temperatura, pH, por ende, se recomienda realizar una caracterización del agua y realizar ensayos de laboratorio para determinar cuál es el coagulante que mejor se acomoda a las condiciones y a su vez, dosis óptima, pH óptimo, alcalinidad y concentración óptima de coagulante (De Vargas, 2004)

El proceso de coagulación mediante sales inorgánicas se lleva a cabo en una unidad de mezcla rápida, donde los gradientes de velocidad varían según el mecanismo. El mecanismo de adsorción y desestabilización de las partículas están aproximadamente en un rango de 3000-5000 s⁻¹ donde el coloide logra absorber a la especie hidrolítica y si es por el mecanismo de barrido, se contempla un rango de 600-1000 s⁻¹, con el fin de generar mayor interacción entre las partículas; por consiguiente, la unidad de mezcla lenta o unidad de floculación, se emplea para permitir una generación de flocs (De Vargas, 2004)

Sedimentación

Los procesos de sedimentación en tratamientos convencionales de agua, son procesos físicos que normalmente se realizan posterior a los procesos de coagulación-floculación. Este tipo de procesos propicia la separación de la fase sólida y líquida ayudando a la clarificación del agua. En esta etapa del tratamiento el tiempo es fundamental para garantizar que las partículas descendan por acción de la gravedad. Dependiendo las características y concentración de las partículas presentes en el agua, podrán sedimentar de diferentes maneras, por ende, se puede clasificar en diferentes maneras (De Vargas, 2004)

Sedimentación de partículas discretas

Las partículas discretas no cambian su forma, tamaño y densidad mientras descenden. Este tipo de sedimentación se presenta en los desarenadores, sedimentadores y presedimentadores (De Vargas, 2004)

Sedimentación de partículas floculentas

Las partículas floculentas son partículas desestabilizadas químicamente, además, durante la decantación, estas pueden cambiar su forma, densidad y tamaño. Generalmente la sedimentación de las partículas floculantes se presenta en procesos de clarificación, después de la etapa de coagulación-floculación y antes de la filtración (De Vargas, 2004)

Sedimentación por caída libre e interferida

En el caso de haber una baja concentración de partículas en el agua, estas partículas descenden sin muchas interferencias, a esto se le llama caída libre, mientras que en el caso

de haber una concentración alta de partículas en el agua, se presenta con mayor frecuencia colisiones entre partículas, ocasionando una aglomeración de estas y a su vez la decantación. Generalmente se presenta en las unidades de manto de lodos (De Vargas, 2004)

La decantación o sedimentación se realiza en unidades llamadas sedimentadores o decantadores y pueden clasificarse en

Sedimentadores o decantadores estáticos:

En este tipo de unidades se genera la sedimentación de partículas con caída libre (De Vargas, 2004)

Decantadores dinámicos

Este tipo de unidades se diseñan para contener volúmenes grandes de agua, aunque se empleen floculantes y el principio de la gravedad, contiene un sistema de limpieza por barrido que amplifica la densificación de los sólidos decantados en el fondo del tanque. (POGGI, 2017)

Decantadores laminares:

El propósito de esta unidad es separar los elementos más pesados y semipesado, además aumentar la superficie de decantación y así conseguir que el flujo sea laminar (De Vargas, 2005)

Sebe aclarar que emplear la sedimentación como único sistema de tratamiento no es suficiente para purificar el agua, es necesario emplear otras medidas complementarias, como la filtración. (Bruni , 2020)

Filtración

La filtración consiste en la retención de partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua a través de un medio poroso. En potabilización de agua, generalmente es la penúltima etapa de los trenes de tratamiento convencionales. (OOMEN, 1978)

La filtración es el resultado de dos mecanismos que son el transporte y la adherencia (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2004).

El transporte es un fenómeno físico e hidráulico principalmente afectado por la transferencia de masas (De Vargas, 2004). Los mecanismos que pueden realizar transporte son:

Cernido

Las partículas contenidas en el afluente con mayor tamaño que los poros del material filtrante, quedan retenidas en los espacios. Generalmente se presentan en las capas superficiales, las cuales son relativamente fuertes y capaces de resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo (De Vargas, 2004)

Sedimentación

La acción de la gravedad interviene en los flocs o partículas suspendidas para llevarlas así al material filtrante (De Vargas, 2004). A través del tiempo se ha dicho que la contribución de este mecanismo es insignificante debido a que la velocidad de sedimentación de las partículas y los flocs es mucho menor a la velocidad intersticial (Movimiento del agua a través de un medio poroso (Aguamarket, 2021)

Intercepción

Generalmente la densidad del agua presenta una densidad similar a la de las partículas suspendidas; estas se moverán a través de las líneas de corriente debido al régimen de escurrimiento. Las partículas serán removidas si la distancia entre las líneas de corriente y el material filtrante están a una distancia menor a la mitad del diámetro de las partículas suspendidas (De Vargas, 2004)

Difusión

Las partículas pequeñas presentan movimientos sin rumbo o impredecibles en un medio líquido, debido a choques y movimientos de las moléculas suspendidas en el agua (De Vargas, 2004). Esto se debe a un aumento de la energía termodinámica y disminución de la viscosidad, “también llamado movimiento Browniano” (Feynman & et al, 1970)

Impacto inercial

Mientras se produce el escurrimiento las líneas de corriente divergen cerca del material filtrante, por ende, las partículas suspendidas colisionan con el material filtrante (De Vargas, 2004).

Acción hidrodinámica

No se tiene muy en cuenta en la filtración, ya que se deben tener en consideración un gradiente de velocidad constante. Cuando el fluido está sometido a velocidades tangenciales y perpendiculares al escurrimiento producido por diferentes presiones, se lleva a cabo el movimiento de las partículas suspendidas a regiones con menor velocidad. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2004).

Es probable que se presenten en simultáneo todos los mecanismos, pero según la literatura tiene mayor importancia los efectos de la acción del cernido, impacto inercial. La eficiencia del filtrado es proporcional al diámetro del material filtrante, la viscosidad y las características de la suspensión (De Vargas, 2004).

Las partículas pueden adherirse al material filtrante, como también a las partículas ya retenidas por el mismo material.

La elección del medio filtrante dependerá de las características del agua a tratar y el uso que se le dará a esta. Es importante resaltar, que para la elección de un medio filtrante se debe tener en cuenta varios aspectos: la granulometría, ya que, si se tiene un tamaño ideal de partícula, este medio de soporte será de fácil lavado y retendrá la mayor cantidad de sustancias coloidales; por otro lado, se debe tener en cuenta la disposición del material, para poder replicar los filtros y reemplazar el lecho filtrante cuando termine su vida útil (Ponce,

2010). La Tabla 5 presenta las principales características de los medios filtrantes comúnmente empleados en potabilización.

Tabla 5.
Características de los medios filtrantes

Material	Características
Arena	Su forma facilita la retención de solidos suspendidos
	Operación y manejo sencillo
	Tamaño de partícula (0.0625-2) mm
Antracita	Contiene altas cantidades de carbón mineral,
	Su forma facilita la retención de solidos suspendidos
	Es menos densa que la arena
	Baja perdida de carga
Carbón activado	Tamaño de partícula (0.8-1, 10) mm
	Remueve olor y sabor
	Contaminantes orgánicos quedan retenidos en sus paredes
	Elimine el cloro residual libre
Cerámica	Tamaño de partícula (0.25) mm en polvo
	Tiene micro poros lo que le permite retener partículas de tamaños mis pequeños que otros materiales

Fuente: Elaborado por Mariana Botero. (Keiken engineering, 2015)

Al igual que la selección del o los medios filtrantes, en el diseño se debe tener en cuenta el concepto de “Carga hidráulica”, pérdida de energía, tasa de filtración”, métodos de control

Carga hidráulica

Se define como la medida de presión de un líquido, por encima de un punto de referencia, expresada en unidades de longitud (De Vargas, 2004). Para fijar una carga hidráulica en la unidad de filtración, (Mendoza et al., 1989) debe tener en cuenta la granulometría del material filtrante, y así, considerar las pérdidas de energía que se generan debido al escurrimiento, contacto con accesorios, como válvulas, codos, entre otros, en caso

de tenerlas, ya que la energía inicial debe ser mucho mayor y no igual a la de las pérdidas, para así garantizar la evacuación del fluido de la unidad de filtración (Mendoza et al., 1989).

Pérdidas de carga

Se define como la pérdida de presión de un fluido debido al contacto con partículas, piezas de la unidad de conducción o elementos de conexión (Mendoza et al., 1989). En las unidades de filtración, las pérdidas de carga iniciales, se deben solo a las características del medio filtrante, viscosidad y velocidad del agua, ya que el material filtrante se encuentra limpio. Debido a que el agua contiene partículas en suspensión, y muchas de estas quedarán retenidas en el material filtrante, lo cual genera un aumento de los diámetros de las partículas de dicho material y a su vez generará una reducción de área por la cual pasa el flujo. Las unidades de las pérdidas, se expresan en unidades de longitud (De Varga, 2005).

Tasa de filtración

La tasa de filtración se define como el volumen de agua que pasa a través de un área determinada, las unidades están determinadas como $m^3/(d * m^2)$ (De Vargas, 2004). La tasa de filtración debe considerarse según las características del medio filtrante, las características físico-químicas y microbiológicas del agua y la cantidad y tipo de sustancias químicas empleadas en unidades anteriores de ser el caso. Las variaciones en las tasas de filtración inciden considerablemente en la calidad del efluente, por ende se debe tener sumo cuidado con el tiempo de ensuciamiento, este es el tiempo que tarda en colmatarse el filtro debido a la carga contaminante que queda retenida en el material filtrante (se evalúa experimentalmente), ya que este afecta considerablemente este parámetro debido al estrechamiento en las áreas de paso flujo (De Vargas, 2005) El Artículo 114 del RAS 2017, expresa que según el estudio previo de calidad del agua se determinará cual es la tecnología más conveniente a desarrollar, además se debe tener en cuenta los parámetros que se muestran en Tabla 7 (RAS, 2017).

En los procesos de tratamiento convencional, desde la hidráulica el flujo del fluido puede ser intermitente o continuo (Saldaña Marín, 2019).

Flujo intermitente

Consiste en llenar una unidad de agua a filtrar, y esperar un tiempo para que se realice todo el proceso de filtración. En plantas de potabilización, el flujo discontinuo o intermitente no es muy empleado, aunque el tipo de operación lo requiera (Saldaña Marín, 2019)

Flujo continuo

El flujo del líquido a través de la unidad de operación es constante. Comúnmente empleados en plantas de potabilización, este puede clasificarse como flujo de pistón, flujo mezclado y flujo no ideal (Saldaña Marín, 2019).

Flujo de pistón

Todos los elementos que ingresan a la unidad de filtración, permanecen allí el mismo tiempo, es decir que los elementos de descarga son los mismos que ingresaron a la unidad. Aunque en la práctica es muy difícil llegar a que el flujo obtenga estas características, las unidades se diseñan bajo algunas unidades hidráulicas como Parshall, los vertederos, los floculadores hidráulicos de pantallas y en los decantadores (Saldaña Marín, 2019).

Flujo mezclado

Se describe como una unidad donde todos los elementos que ingresan a esta, se dispersan dentro ella, cumpliendo que la concentración de las sustancias a la salida es igual a la que se encuentra en cualquier punto de la unidad. Este tipo flujo en la práctica es muy

difícil desarrollarlo, aunque se emplean aproximaciones de este tipo en unidades como retro mezcladores o floculadores mecánicos con pocas cámaras en serie.

Flujo no ideal

Se describe como un flujo que corresponde a la combinación de flujo pistón y mezcla completa, en general este es tipo de flujos que se encuentran en plantas de tratamiento y en unidades de filtración, ya que la composición de los fluidos puede variar entre los diferentes puntos (Saldaña Marín, 2019).

Teniendo en cuenta factores económicos, espacios disponibles para la construcción de la unidad de filtrado, se debe tener en consideración la dirección del flujo.

Flujo ascendente

La filtración ascendente consiste en hacer pasar el fluido a tratar en dirección opuesta a la gravedad. Este tipo de filtración, presenta una ventaja y es que debido a la distribución granulométrica el tamaño de partícula disminuye en la dirección de escurrimiento, todo el medio filtrante se vuelve efectivo. Por otro lado, es necesario una carga hidráulica considerable, además de que las carreras de filtración son más largas que las de flujo descendente, han limitado el uso de la filtración ascendente. Algunas de las características de los filtros que funcionan con flujos ascendentes son: tasas de filtración entre 120 a 200 m³/m²/día., fondos de los filtros son de tipo Leopold, tuberías perforadas y placas perforadas. (De Vargas, 2004).

Flujo descendente

La filtración de flujo descendente consiste en emplear la acción de la gravedad para el escurrimiento. En plantas de potabilización se emplean dispositivos electrónicos o válvulas reguladoras de caudal, para controlar las tasas de filtración. A diferencia de los filtros de flujo ascendente, la simplicidad a la que opera, hace más sencillo su cuidado y mantenimiento (De Vargas, 2004).

Filtración convencional

Antes de elegir la tecnología de filtración se deberá conocer las características del agua y la procedencia de esta, es decir si el agua es extraída de algún pozo, fuente subterránea ó cuerpos de agua superficiales, para así evaluar cuál es la tecnología que se puede acomodar. Los filtros comúnmente empleados en plantas de potabilización son filtros lentos en arena, filtración rápida y filtración por membrana (Grisales Penagos, 2010)

Los filtros se pueden clasificar como rápidos o lentos, se consideran rápidos cuando la tasa de filtración está contenida en un rango de 120-360m³/(d *m²)y lentos, cuando la tasa de filtración está en un rango de 7-14m³/(d *m²), como se muestra en la Tabla 6

Tabla 6

Clasificación de filtro según la tasa de filtración

Clasificación de filtro	Tasa de filtración	Medio filtrante
	Unidades (m ³ /(m ² *d))	
Rápido	<120	Lecho simple
	120-360	Lecho mixto
Lento	7--14	Simple-mixto

Fuente: Resolución 2115 de 2007. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Filtración lenta en arena (FLA)

La arena ha sido uno de los materiales más empleados a través de la historia en las unidades de filtración, gracias a sus propiedades de resistencia, dureza y durabilidad, por lo que permite elongar la vida útil del filtro (Torres & Villanueva, 2014)

La filtración en arena es un proceso que consiste en hacer pasar el agua a través de un medio filtrante (arena) para mejorar las características de esta, reduciendo o eliminando los sólidos en suspensión o material coloidal (EPA, 1989). A través de tiempo, en la capa superficial de los filtros lentos, se genera una capa biológica, la cual contiene una gran variedad de microorganismos que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica perteneciente al afluente a tratar, mientras que la materia inorgánica y otra orgánica queda retenida por acción física (De Vargas, 2005) Algunas de las ventajas de este tipo de sistema, es que son de bajo costo y confiables, ya que puede lograr eficiencias del 99,9% en remoción de materia orgánica y reducción del 99.9% de los microorganismos (EPA, 1989).

Los filtros lentos en arena pueden emplearse al final del tratamiento del proceso de potabilización. También puede emplearse como único tratamiento de remoción, siempre y cuando los valores de turbiedad no superen los 15 UNT, valores de color menores a 20 UPC y valores menores a 500 unidades formadoras de colonia (UFC) por 100cm³ en caso tal de detectar coliformes totales. Debe operarse bajo tasas de filtración entre 7 y los 14 m³/m².día. La unidad de filtración debe contar con un tanque que contenga agua cruda, material filtrante (arena), sistema de drenaje y dispositivos de control y regulación de flujo. (Titulo C Ras 2017) Los filtros lentos en arena deben cumplir ciertos parámetros como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7.
Ficha técnica de filtración lenta en arena

Ficha técnica de filtración lenta en arena	
Composición del lecho filtrante	Medio filtrante debe estar compuesto por material granular, libre de materia orgánica. Tamaño efectivo de la arena debe estar contemplado en un rango de 0,35-0,55mm, con coeficiente de uniformidad entre 2-

	4. Espesor entre 0,8m y 1,0m. Es de gran importancia que el material filtrante se encuentre limpio
Medio de soporte	Debe ser grava, con peso específico superior a 2,5. Se debe sumergir la grava en ácido clorhídrico por 24 horas. Se debe diseñar la capa de soporte, teniendo en cuenta los tamaños del grano
Capa 1 (grava gruesa)	Tamaño efectivo 9-19mm; espesor 0,1-0,15m
Capa 1 (grava fina)	Tamaño efectivo 2-99mm; espesor 0,05m
Capa 1 (Arena gruesa)	Tamaño efectivo 1-1,5mm; espesor 0,1-0,15m
Dispositivo de entrada	Se recomienda que la entrada al filtro sea por medio de un vertedero ancho con pared gruesa, esto con el fin de que la lámina de agua sea delgada para así mitigar el impacto abrupto del agua al lecho filtrante
Dispositivo de salida	Se recomienda emplear un vertedero de control, que no sobre pase 0,1m a la cota máxima del lecho de arena
Velocidad de filtración	La tasa de filtración debe estar ente 7-14m ³ /(m ² *d)
Altura del agua sobre el lecho	Máximo 0,8m
Velocidad a la entrada	Velocidad máxima de flujo 0,1m/h
Perdidas de carga	0,10-1m
Número de unidades	Número mínimo de unidades es 2, sin embargo, para modos rectangulares, el número adecuado de unidades de obtiene a partir de la expresión $N = (0.5) (A)^{1/3}$; donde, N= número total de unidades rectangulares operando en paralelo, A= área superficial total (m ²)
Dispositivo de control de velocidad a la entrada y a la salida	Se puede emplear en la entrada o a la salida los dispositivos de control de velocidad. En la entrada se debe emplear un vertedero que deje pasar un caudal constante, para evitar que el filtro se vacíe se puede

	diseñar un pozo de recolección de agua filtrada, con salida en la parte superior de este, para conservar el nivel de agua sobre el lecho; si es a la salida de la unidad se debe emplear un dispositivo hidráulico que permita las variaciones del flujo.
Sistema drenaje	Se puede emplear ladrillos de construcción, tubería corrugada o perforada

Fuente: RAS Titulo C, Ministerio de vivienda, 2013

Aunque los filtros lentos en arena presentan buenas eficiencias, también presenta algunas desventajas, como la necesidad de grandes espacios, ya que algunos operan a velocidades muy bajas (EPA, 1989).

Filtración lenta en múltiples etapas

La filtración lenta en múltiples etapas hace parte de las unidades de filtración convencionales. Emplea la combinación la filtración a través de grava y la filtración lenta en arena. Este tipo de filtros se emplean generalmente en comunidades rurales o lugares con poca población, el agua a tratar debe presentar valores inferiores a 30 UPC en cuanto al color y 80 UNT en turbiedad. Las características que debe tener la filtración lenta en múltiples etapas se encuentran en la Tabla 8 (RAS, 2013)

Tabla 8.

Ficha técnica de filtración lenta en múltiples etapas

Ficha técnica de filtración lenta en múltiples etapas	
Composición del lecho filtrante	El lecho filtrante está compuesto por tres capas de grava con diferente granulometría y la última capa se encuentra en la parte superior, como se muestra en las tablas
Velocidad de filtración	2 m/h y 3 m/h. (48 a 72 m ³ /m ² /día)
Número de unidades	2 unidades

Lavado	<p>Limpieza del filtro dinámico grueso. Se debe realizar el siguiente procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpiar la cámara de entrada de agua. • Rastrillar la grava superficial • Limpiar la grava del fondo del filtro • Limpiar la cámara de rebose <p>• Retiro y lavado de la grava: se debe lavar cada capa de grava y en el momento de colocarla de nuevo se debe colocar en el mismo orden en el que estaban.</p>
---------------	--

Fuente: RAS Titulo C, Ministerio de vivienda, 2013

Tabla 9.
Medio de soporte para filtración en múltiples etapas

Medio de soporte para filtración en múltiples etapas		
POSICIÓN DE LA UNIDAD	ESPESOR DE LA CAPA (m)	TAMAÑO DE LA GRAVA (mm)
Superior	0.2	3.0-6.0
Intermedio	0.2	6.0-13.0
Inferior (Fondo)	0.2	13.0-25.0

Fuente: RAS Titulo C, Ministerio de vivienda, 2013

Tabla 10 .
Medio filtrante para filtración en múltiples etapas

Medio filtrante para filtración en múltiples etapas			
CAPA	TIPO	DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA (mm)	ESPESOR DE LA CAPA (mm)
Superior	Arena gruesa	1--2	50
Segunda	a Grava fina	2--5	50
Tercera	Grava	5--10	50
Inferior	Grava gruesa	10--20	150

Fuente: RAS Titulo C, Ministerio de vivienda, 2013

Filtración rápida

La filtración rápida contempla en general uno o más medios filtrantes dentro de la misma unidad de filtración; sin embargo, el material más empleado en este tipo de filtración es la arena.

La filtración rápida en arena al igual que la filtración lenta en arena, es un método físico de limpieza de agua, en general es un proceso eficiente para la provisión de agua potable, sin embargo, es necesario complementar esta unidad con procesos de coagulación-floculación como pre tratamiento y desinfección como proceso posterior (Dorothee, 2020). La tasa de filtración de este tipo de unidades debe estar en un rango entre 90-350m³/(m²*d); los filtros rápidos contemplan la teoría de la filtración convencional o la filtración directa. En el caso de emplear la filtración convencional, se debe instalar una fase de coagulación-floculación como pretratamiento, además la turbiedad al ingreso del filtro debe presentar valores inferiores a 8 UNT y el color no debe sobrepasar los el valor de 20 UC; en el caso de ser filtración directa, esta puede ser de contacto, es decir sin floculación-coagulación ó empleando una unidad de coagulación floculación, más no un proceso de sedimentación. Las unidades de filtración rápida deben contener un módulo de entrada de agua, Medio filtrante (arena), Caja del filtro, Sistema de drenaje, sistema efluente, sistema de lavado del filtro. En la Tabla 11 y Tabla 12 , se pueden observar algunos aspectos importantes de los filtros rápidos, como propiedades físicas, y la ficha técnica que se debe tener en cuenta (RAS, 2013)

Tabla 11

Propiedades físicas generales y granulometría de los medios utilizados en filtros rápidos

Propiedades físicas generales y granulometría de los medios utilizados en filtros rápidos						
Propiedad	Unidad	Granate	Ilmenita	Arena	Antracita	GAC
Tamaño efectivo	mm	0.2-0.4	0.2-0.4	0.4-0.8	0.8-2.0	0.8-2.0

Coefficiente de uniformidad	UC	1.3-1.7	1.3-1.7	1.3-1.7	1.3-1.7	1.3-2.4
Densidad	g/mL	3.6-4.2	4.5-5.0	2.65	1.4-1.8	1.3-1.7
Porosidad	%	45-58	N/A	40-43	47-52	N/A
Dureza	Moh	6.5-7.5	5--6	7	2--3	Bajo

Fuente: RAS Titulo C, Ministerio de vivienda, 2013

Tabla 12

Ficha técnica de filtración rápida en arena

Ficha técnica de filtración rápida en arena

<p>Composición del lecho filtrante</p>	<p>Puede emplear solo un material filtrante como antracita ó antracita un medio dual de arena y antracita, el espesor de la capa filtrante debe estar en un rango de 0,6-0,9m. Los materiales que se emplean para la construcción de la capa filtrante pueden ser antracita, o arena de sílice, o arena de alta densidad ilmenita o carbono activado granular colocados solos o mezclados. La arena y la antracita debe cumplir con la Norma Técnica Colombiana NTC 2572 de 2010 (segunda actualización). Cuando se utilice carbono activado granular (CAG) como medio de filtración, éste debe cumplir con los requisitos de la Norma ANSI/AWWA B604-05. Las propiedades físicas de los materiales filtrantes se encuentran en la tabla 11</p>
<p>Arena</p>	<p>La granulometría de la arena debe estar dentro de los límites que se muestran en la tabla 10. Se emplea arena fina (0.35 mm - 0.45 mm), cuando los pretratamientos son poco satisfactorios, se requiere alta remoción, operación de periodos cortos; se emplea arena estándar 80.45 mm - 0.65 mm), cuando o las condiciones del agua se encuentren entre las que se especifique para arena fina y gruesa; la arena gruesa (0.65 mm - 0.85 mm, cuando los pretratamientos son eficientes, no se requiere alta remoción</p>
<p>Antracita</p>	<p>Debe tener un contenido bajo de cenizas y material volátil, baja friabilidad, alto contenido de carbono fijo y atraxilón (fósiles coloidales), y además libre de mica, polvo, arcilla, sulfuro de hierro, limo y materiales extraños. Las partículas deben ser piramidales con el fin de obtener una mayor área superficial por unidad de volumen, con un densidad no inferior a 1450 kg/m³ y una dureza de 3.5 en la escala de Mohs. La antracita puede reemplazar la arena parcial o totalmente como lecho filtrante.</p>

Arena-antracita	Para este tipo de lecho debe formarse una interfase de los dos materiales donde ellos se juntan, que no puede ser mayor a 0.15 m. Por tanto los tamaño de los granos de cada lecho deben ser tales que el diámetro del medio de antracita más grueso (que va encima: d1) sea como máximo cuatro a seis veces mayor que el diámetro del medio menor de arena (d2) que va debajo. ($d1 = 4 \text{ a } 6 d2$).
Medio de soporte	Debe ser grava con características que dependen del sistema de drenaje.
Velocidad de filtración	La tasa de filtración debe estar ente $7-14 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$
Lechos de arena ó antracita sola con profundidad máxima de 0,75m	$120 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$.
Lechos de arena ó antracita sola con profundidad mayor a 0,9m	$180 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$.
Lechos mixtos antracita sobre arena con profundidad de 0,9 m(antracita 0,6m y arena 0,3m)	Tasa máxima permitida es de $350 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$, siempre y cuando la calidad del floc lo permita
Nota	Tasas de filtración mayores a $350 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$ deben determinarse en filtros pilotos, siempre que la calidad del floc lo permita.
Altura del agua sobre el lecho	Máximo 0,5m
Perdidas de carga	Menor a 2 m

Número de unidades	Mínimo 3
---------------------------	----------

Fuente: RAS Título C, Ministerio de vivienda, 2013

Filtración por membrana

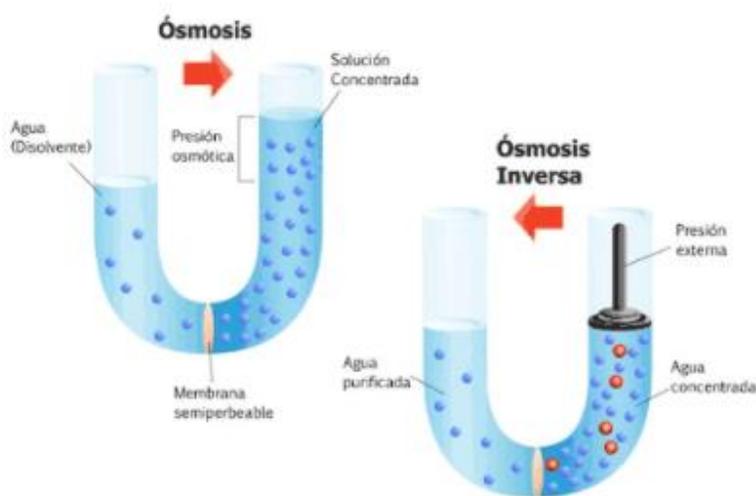
Este tipo de unidad convencional, es una alternativa que consiste en separar a través de una membrana y presión sobre el fluido, las partículas contenidas en el líquido. Los tamaños de los poros son variables, pueden estar en un rango de 0.2-1 micrómetro. Este tipo de sistemas se ha venido empleando desde hace algunos años y gracias a su alta eficiencia para separar sustancias disueltas. Se han desarrollado productos que corresponden a 4 tipos de membranas generalmente aceptadas, definiéndose según el tamaño de sus poros como, osmosis inversa, nano filtración, ultra filtración, y microfiltración (ALFA LAVAL, 2015).

Osmosis inversa

Este tipo de unidad por membrana utiliza tamaños de poro menores a 1nm, el agua está sujeta a presiones altas (Leal Ascencio, 2008). La ósmosis inversa se emplea para desalinizar agua de mar, potabilizar el agua, industria de alimentos, fabricación de fármacos, reutilización de aguas residuales e industriales remover hasta un 100% bacterias, grasas, proteínas, gomas, azúcares, minerales, etc. Es importante resaltar que para este tipo de tratamiento debe existir un pre-tratamiento, para extender la vida útil de la membrana y tener mejores rendimientos. Una de sus limitantes es el alto costo, debido a la cantidad de energía que se necesita para mantener el fluido a altas presiones (ALFA LAVAL, 2015). La Figura 3 muestra como es el sistema de ósmosis inversa.

Figura 3

Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa



Nota..

Fuente

(ALFA

LAVAL,

2015).

Nanofiltración

Este tipo de unidad hace pasar el líquido a través de membranas semipermeables con tamaños de poro entre 0.001 y 0.01 mm a presiones específicas, logrando remociones de sustancias orgánicas, micro contaminantes e iones multivalentes. También es empleada para (Crittenden et al., 2012).

- Reducción o eliminación de pesticidas en aguas subterráneas.
- Reducción o eliminación de metales pesados de las aguas residuales e industriales.
- Reciclaje de aguas residuales en lavanderías.
- Ablandamiento del agua.
- Eliminación de nitratos.
- Reducción / eliminación de color / materia orgánica.
- Desmineralización del suero de lácteo
- Separación de azúcares.
- Recuperación de lavados CIP.

- Purificación / Concentración de productos.
- Recuperación de subproductos (salmueras).
- Filtración de CO₂

Aunque este tipo de unidad es altamente eficiente y capaz de remover carbonatos y bicarbonatos, el agua puede adquirir en ocasiones características corrosivas, es necesario en ocasiones la adición de algún aditivo para neutralizar el líquido como el álcali; otra limitante de este, son los gastos de energía de los equipos, ya que es necesario mantener el líquido a altas presiones (Jacangelo, Laine, Cummings, Mallevalle, & Wiesner , 1994).

Ultrafiltración

Hace parte de las tecnologías por membrana, lo cual permite una separación de sólidos suspendidos y disueltos a través de una membrana semipermeable con tamaños de poro entre 0,002 y 0,1 μm utilizando la presión hidrostática. Este tipo de unidad se emplea generalmente como pretratamiento de nano filtración u ósmosis inversa, pretratamiento de aguas superficiales, de mar y subterráneas; además es de gran uso a nivel industrial ya que se emplea para la recuperación de almidón, clarificación de jugos de fruta, licores. Es una unidad costosa (Iagua, 2021) ya que el tiempo de vida útil de las membranas es corto ya que, al tener tamaños de poro tan pequeños, estos se colmatan fácilmente, y debe reemplazarse rápidamente, además del gasto energético es alto ya que debe garantizarse altas presiones al fluido (Jacangelo et al., 1994).

Microfiltración

Es un proceso de filtración por membrana. Está compuesto por una membrana semipermeable con tamaños de poro entre 0,1 y 1 μm utilizando presiones relativamente bajas. Este sistema es capaz de remover material particulado como arena, arcilla, Giardia, Cryptosporidium, algas, algunas especies bacterianas y compuestos orgánicos. Esta tecnología es muy empleada en la industria farmacéutica, clarificación de zumos y licores,

pretratamiento para la ósmosis inversa, separación de aceite y agua y potabilización (Jacangelo et al., 1994). Aunque se pueden encontrar en el mercado varios tipos de membrana, las más empleadas son las tubulares y las de fibra capilar hueca debido a su fácil mantenimiento. Se recomienda un pretratamiento para elongar la vida útil de las membranas y garantizar una mejor remoción de contaminantes (Leal Ascencio, 2008).

En potabilización convencional se emplean unidades de desinfección posterior a los procesos de remoción de sustancias en suspensión y/o disueltas en el agua, para prevenir enfermedades provenientes de organismos patógenos y así garantiza agua segura (Solsano & Méndez , 2002).

Desinfección

La desinfección es un proceso fundamental en los sistemas de tratamiento de agua (Solsano & Méndez , 2002) para eliminar y garantizar la no permanencia de microorganismos patógenos en el agua (Leal Ascencio, 2008). Los procesos de desinfección mayormente empleados convencionalmente se encuentran la radiación ultravioleta, cloro, ozono(O₃) y dióxido de cloro.

Cloro

La cloración es el mecanismo más usado en los sistemas de abasto a nivel mundial, este fue introducido a principios del siglo XX constituyéndose como una de las revoluciones tecnológicas. El empleo del cloro ha incrementado la esperanza de vida del 50% de la población mundial. La conquista de este método en casi toda la población mundial es su fácil acceso y su bajo costo, además de su poder oxidante (Solsano & Méndez , 2002). La eficiencia de los procesos de cloración se basa en el tiempo de contacto y la concentración que se emplea. (Botero, 2020). El tiempo de contacto según la normativa colombiana,

determina un tiempo de contacto de mínimo 20 mn (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, Resolución 330, artículo 121 párrafo 2,2017) La concentración a emplear, dependerá de necesariamente de pruebas de laboratorio. (Li et al.,, 2017).

En el mercado se pueden encontrar como

- cloro gaseoso
- cal clorada
- hipoclorito de sodio
- hipoclorito de calcio.

El cloro, aunque es un compuesto eficiente, presenta algunas limitantes como la generación de subproductos halogenados, que se originan cuando el cloro entra en contacto con la materia orgánica que puede contener el agua (Ram, Christman, & Cantor, 1990) . La formación de sustancias halogenadas depende del tipo y concentración de la materia orgánica presente cuando se añade el cloro, la dosis de cloro, la temperatura y pH del agua, así como el tiempo de reacción. Los productos generados pueden ser diversos pero los más importantes se conocen como trihalometanos, compuestos altamente tóxicos, cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos para el ser humano (Leal, Bandala, Gelover , & Pérez, 1999). Otro factor importante que aumenta la presencia de subproductos halogenados, es la recloración dentro del sistema de distribución (OMS, 1995). En la Tabla 13 se da a conocer las características y propiedades de los diferentes tipos de cloro.

Tabla 13

Diferentes tipos de cloro que se encuentran en el mercado

Nombre y formula	Nombre comercial	Características	% Cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
Cloro gas CL2	Cloro licuado Cloro gaseoso	Gas licuado a presión	99,5%	Muy buena	Gas altamente tóxico	Cilindros de 40 a 70 Kg

						Recipientes de 1,0 a 5,0 toneladas
Cal clorada CaO₂.CaCl₂ O.3H₂O	Cal clorada, polvo blanqueador, hipoclorito de cal. Cloruro de cal	Polvo blanco seco	15,9 a 35,0 %	Media. Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar. Perdida de 1,0 % al mes	Corrosivo.	Latas de 1,5Hg. Tambores de 45,0 kg-135,0 Kg. Bolsas plásticas o papel de 25-40,0 Kg, otros
Hipoclorito de sodio NaClO	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido. Lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1,0 a 15,0% como máximo	Baja. Perdida de 2,0 a 4,0% por mes; mayor si la temperatura excede los 30°C	Corrosivo	Diversos tamaños de botella de plástico, vidrio y garrafrones
	Hipoclorito de sodio por electrólisis <i>in situ</i>	Solución líquida amarillenta	0,1 a 0,6%	Baja	Oxidante	Cualquier volumen
Hipoclorito de calcio Ca(ClO)₂. 4H₂O	HTH perclorón	Polvo, gránulos y tabletas. Sólidos y blanco	Polvo 20,0 a 35,0% granulado : 65,0 a 70,0%. Tabletas: 65,0 a 70,0%	Buena. Perdida de 2 a 2,5 por año	Corrosivo. Posible inflamación al entrar con algunos ácidos	Latas de 1,5 kg. Tambores 45,0-135,0 Kg. Baldes de plástico.

Tabla extraída de: (Solsana & Méndez, 2002)

Ozonificación

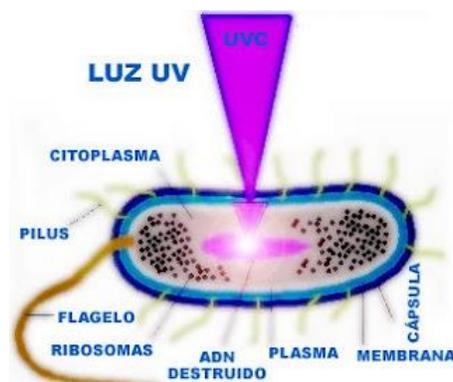
El ozono (O₃) hace parte de las alternativas de desinfección más empleadas en sistemas convencionales de tratamiento de agua potable. Es un gas altamente inestable, con un gran poder oxidante. Es capaz de eliminar color, olor, sabor, turbidez y compuestos orgánicos e inorgánicos. Esta alternativa a bajas concentraciones no produce compuestos halogenados, además tiene un mayor efecto bactericida que el cloro (Sawyer *et al.*, 2000). Teniendo en cuenta el tiempo de vida media del ozono en el agua que oscila entre los 20 y 30 minutos, es una limitante, no existiría como agente residual a larga duración. Al ser un gas inestable, se hace riesgosa y compleja su manipulación. (Martínez & Cubides, 2018)

Radiación ultra violeta (UV)

Los sistemas de desinfección mediante la luz ultra violeta, garantizan la eliminación de patógenos en un valor aproximado del 99.99%. Es necesario que antes de llevar a cabo un proceso de desinfección con este método, se emplee un pre tratamiento, ya que este es eficiente siempre y cuando se atraviese perfectamente la radiación de luz el flujo. Una de las características de este sistema, es que la luz no perturba la estructura química del fluido. Al emplear una dosis adecuada de radiación ultravioleta aproximadamente de 253.7nm de longitud de onda (UV-C), el ADN (ácido desoxirribonucleico) de las células absorben fotones UV, provocando la destrucción de la célula, como se muestra en la Figura 4 (Grisales Penagos, 2010).

Figura 4

Penetración de la radiación UV sobre una célula.



Nota. Fuente (PureWater SAS., 2019)

algunas ventajas de este tipo de tratamiento son:

- No se emplean productos químicos.
- Mantiene las propiedades del agua tratada.
- No hay efectos negativos en la fuente en caso de existir una sobredosificación
- Económico, fácil mantenimiento
- Fácil instalación
- Posibilidad para distintos usos: consumo humano, industria alimentaria, procesos industriales, laboratorios, agricultura, etc.

Algunas de las desventajas de este tipo de tratamiento son:

- El agua no puede estar turbia, ya que los rayos de luz no podrían penetrar completamente el contenido a desinfectar, por ende, no garantiza la eliminación de microorganismos
- No genera efecto residual

La Tabla **14** da a conocer según el tipo de tecnología a emplear, sus aplicaciones, manejo, costos y limitantes

Tabla 14.*Tecnologías convencionales de potabilización de agua y sus limitaciones*

Tecnología	Aplicación	Manejo	Costo	Limitantes
Filtro de arena	Sedimentos suspendidos, remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo, costo elevado de terreno	Remoción de 80-90% de bacterias y 60% de materia orgánica, requiere gran superficie
Filtros mixtos	Sedimentos suspendidos, remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo, costo medio	Remoción de 80-99% de bacteria, requiere gran superficie
Filtros de carbón activado	Remoción de materia orgánica y de bacterias	Sencillo	Costos bajo de inversión, costos medio en cuanto a mantenimiento	Generación de residuos, continua renovación del filtro, no remueve bacterias ni nitratos
Cloro	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Bajo costo de inversión y mantenimiento	Generación de subproductos
Cloraminas	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo medio de inversión y de mantenimiento	Poder desinfectante limitado

Ozono	Desinfección	Complejo	Altos costos de operación	Poco poder residual
Luz ultravioleta	Desinfección	Operación y mantenimiento	Costo medio de inversión y de mantenimiento	No previene recrecimiento, no genera poder residual
Microfiltración	Remoción de sólidos disueltos y algunas especies bacterianas	Operación sencilla	Costos moderados de inversión y operación	Desperdicio e agua, descomposición de la membrana
Ultrafiltración	Remoción virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Altos costos de operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana
Nanofiltración	Remoción de virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Altos costos de operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana
Ósmosis inversa	Remoción de virus, bacterias, materia orgánica e inorgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Altos costos de operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana, requiere manejo de salmuera

Tabla extraída de: (Leal Ascencio, 2008)

Generalmente los procesos de potabilización presentan un grupo de operarios, los cuales atienden a operaciones de control y vigilancia constante tanto del afluente como del efluente para garantizar agua segura (Grisales Penagos, 2010).

Debido a que gran parte de la población mundial, en especial las comunidades rurales, asentamientos informales y parte de la población que vive a las afueras de las ciudades

principales no cuenta con acceso a las unidades de tratamiento convencional que garantizan agua segura, se han desarrollado otras tecnologías y estrategias que se adaptan a la posición de emergencia en la que se encuentra. (Grisales Penagos, 2010).

Algunas de las diferencias que presentan los tratamientos no convencionales a los tratamientos convencionales son:

Sistema convencional: El agua que ingresa a la vivienda es potable, es decir que cualquier uso que se le dé, se emplea agua segura (regaderas, duchas, grifos para lavar ropa, sanitarios, consumo directo), no requiere espacio para disponer la unidad de tratamiento, generalmente el agua que llega a las viviendas contiene cloro (Grisales Penagos, 2010).

Sistema no convencional: generalmente el agua tratada se emplea para consumo directo, disposición de un espacio para la instalación de la unidad de tratamiento, se puede elegir alguna tecnología que no emplee cloro y sea segura (teniendo en cuenta aspectos económicos) (Grisales Penagos, 2010).

Tratamientos no convencionales de bajo costo

El uso de tratamiento o técnicas alternas de potabilización de uso doméstico, son tecnologías de bajo costo que pueden reducir considerablemente el material contaminante que posee el agua, incluso puede lograr que los parámetros de calidad del agua se encuentren dentro de la normatividad. Cabe resaltar que todos los métodos de uso doméstico que se expondrán en este trabajo necesitan un proceso de desinfección. Además, como lo menciona “Organización Panamericana de la salud”, para muchos de estos sistemas se recomienda procesos de coagulación, floculación sedimentación, para remover un porcentaje mayor de sólidos en suspensión y contaminantes presentes. (Grisales Penagos, 2010) A continuación, se describirán las tecnologías de uso doméstico más empleadas:

Coagulantes naturales

La Moringa es un árbol que puede crecer entre 5-12 metros, su tronco es recto y su copa es de una estructura piramidal, es empleada como planta medicinal debido a su alto contenido de minerales, como hierro, vitamina C ácido clorogénico entre otros compuestos (OMS, 2006). Se emplea como coagulante natural en países asiáticos, africanos y algunas poblaciones latinoamericanas como las que viven alrededor del río Ucayali en las selvas peruanas, sin embargo, presentan un riesgo muy alto debido a no tener un postratamiento como lo es la desinfección que les garantice agua segura. Las características más importantes de la moringa son (Grisales Penagos, 2010):

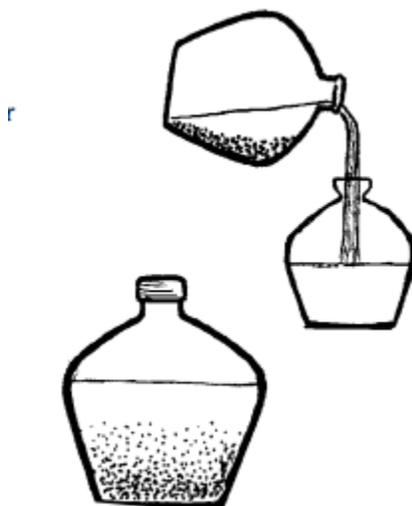
- Las bayas o frutos del árbol de moringa se recolectan cuando estos hayan madurado y secado.
- Las semillas se abren, sacando el fruto que hay dentro de ellas, posterior a esto se muele.
- Para aguas con turbiedad moderada es necesario emplear entre 150-300 mg de semilla molida por litro de agua.
- Diluir semillas molidas en agua limpia en un recipiente el cual pueda cerrarse. Durante un periodo de 5 minutos se agita esta mezcla y luego se filtra para retirar los elementos más gruesos.
- La mezcla preparada y filtrada se agrega al agua a tratar, agitándola por 2 minutos y se deja reposar por una hora.
- Emplear otra unidad de tratamiento para pulir dicho proceso.

Método de las tres vasijas

Una técnica muy empleada es la de las tres vasijas, esta consiste en almacenar el agua durante un tiempo, permitiendo el asentamiento de los contaminantes; posterior a esto se trasvasa el agua a otra vasija o recipiente. Este procedimiento se realiza pasando el agua por tres recipientes. A ciclos más extensos, las eficiencias serán mayores (Cruz Roja, 2008). Es un método fácil de usar, es de bajo costo y puede emplearse en zonas locales. Se recomienda postratamiento (Conant, 2005).

Figura 5

Sistema de tratamiento de las tres vasijas



Nota.. Fuente (Conant, 2005).

Filtración

La filtración es una alternativa que consiste en la retención de partículas suspendidas y bacterias a través de un medio poroso (Chulluncy, 2011), comúnmente empleado en plantas

de tratamiento de agua potable (OOMEN, 1978) y como solución a la purificación de agua en zonas donde este es un recurso limitado. Conviene subrayar, que la filtración es una alternativa viable como solución económica que reduce el riesgo de contraer enfermedades por consumo de agua contaminada (OMS, 2020).

Filtro de tela

La tela de Sarí son grandes lienzos de seda fabricado principalmente en India para atuendos tradicionales de la región (Cebrián , 2021)

En muchas comunidades como Bangladesh e India, se filtra el agua con telas de sari, debido a que son tejidos bastante finos, estos funcionan como sistema de filtración, el cual puede retener partículas de tamaños mayores 20 μm (micras) como el cólera y gusanos de Guinea. Se puede construir un filtro a partir de pañuelos, linos u otras telas. Una de las formas de empleo de este sistema es (Conant, 2005):

1. Disponer el agua a tratar en un recipiente durante un periodo de tiempo de aproximadamente 24 horas, para que los sólidos queden depositados en el fondo de este
2. Emplear 4 telas (una encima de la otra), o doblar una tela 4 veces, alongarla considerablemente y ubicarlas encima de un jarrón
3. Verter el agua a través de la tela.
4. Evitar girar las telas para que el material retenido en ellas no ingrese al jarrón y así prevenir la recontaminación
5. Después de usar las telas, lávelas y expóngalas al sol durante varias horas
6. Emplee un proceso de desinfección

Figura 6
Filtración con telas



Nota. Fuente (Conant, 2005)

Filtro en cerámica

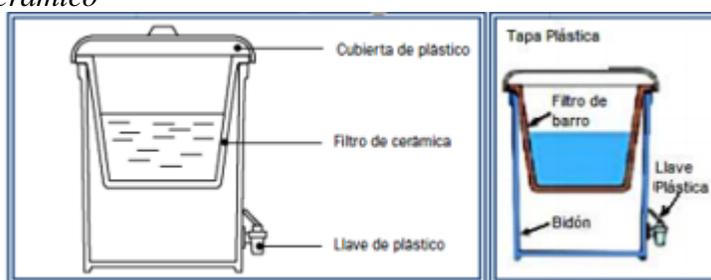
Las vasijas cerámicas consisten en pasar el agua a través de un medio poroso cerámico, en ocasiones se adiciona en el ensamble del prototipo, plata coloidal, lo cual ayuda considerablemente a inactivar el crecimiento de organismos patógenos y a su vez actúa como agente desinfectante (Bruni , 2020).

Este tipo de unidades es altamente eficiente, económico e intradomiciliario solo para consumo directo. Está constituido por una maceta hecha de una mezcla de arcilla, aserrín y en algunos casos impregnada por plata coloidal, un recipiente que se emplea como almacenador de agua filtrada y una válvula de salida de agua. Este tipo de tecnología puede lograr remover hasta un 99,8% de microorganismos, turbiedad, color entre otros (Carbotecnia, 2021).

Para comenzar a operar el filtro, es necesario realizar un lavado de este con agua limpia y dejar secar, posterior a esto se debe comenzar a filtrar el agua; se recomienda que el primer lote filtrado no sea consumido, si no a partir del segundo o tercero (Bruni , 2020)

Los filtros de maceta cerámica requieren de limpieza regular, esto se conocerá cuando la velocidad de filtración no sea la misma, es decir comience a reducirse, se recomienda emplear un cepillo o trapo suave. El tiempo de vida útil de este tipo de unidades es de aproximadamente 1-2 años (Bruni , 2020).

Figura 7
Filtro vasija cerámico



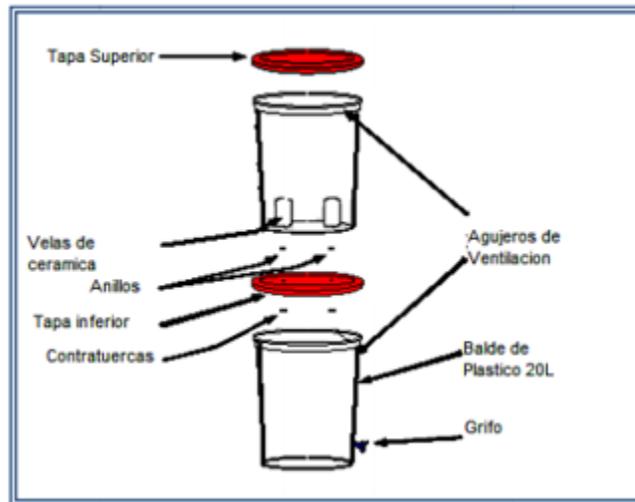
Nota. Fuente (PureWater SAS., 2019)

Filtro velas filtrantes

Los filtros de vela cerámica, presentan una membrana filtrante de cerámica microporosa la cual puede retener partículas mayores a 0,5 micrones; en ocasiones los proveedores emplean una capa de plata coloidal para eliminar las bacterias retenidas en la membrana.

En el mercado existen varios filtros de vela, generalmente se componen de baldes plásticos de aproximadamente 20 L, uno encima de otro, separado una pieza que sirve como base del balde superior y como tapa del balde inferior. El caudal promedio en este tipo de tecnologías es aproximadamente 15 L/h. En este separador se instalan las velas cerámicas que sirven como material filtrante. Son sistemas compactos, eficientes en remoción de contaminantes, de fácil reemplazo de velas de cerámica y fácil limpieza (Grisales Penagos, 2010)

Figura 8
Filtro velas cerámicas



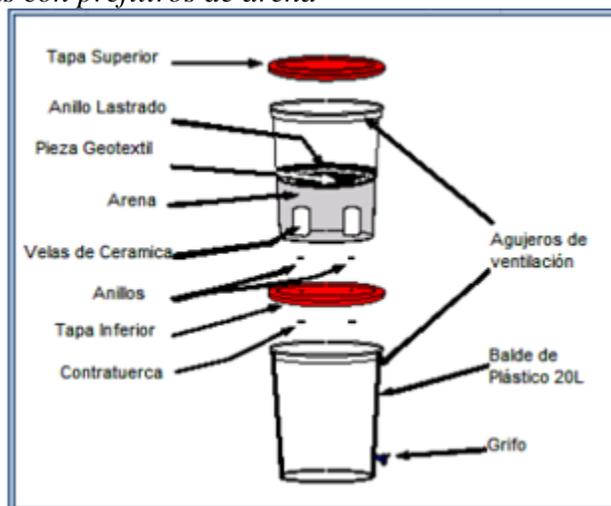
Nota. Fuente (Grisales Penagos, 2010)

Filtro de velas cerámicas con prefiltros de arena

Este filtro opera casi de la misma manera al sistema anterior (Filtro de vela cerámica), la diferencia es que este, cuenta con una capa de arena por encima de las velas cerámicas, la cual ayuda a mantener una mejor eficiencia del proceso, cuida de la vela cerámica y prolonga la vida útil del filtro (Grisales Penagos, 2010).

Figura 9

Filtro velas cerámicas con prefiltros de arena



Nota. Fuente (Grisales Penagos, 2010)

Filtros en arena de bajo costo

La filtración en arena es una tecnología de bajo costo que puede llegar a ser muy eficiente. Emplea la teoría de filtración en arena mencionada anteriormente. Este tipo de unidades, aunque no asegura una remoción del 100% de microorganismos y otros elementos, puede presentar eficiencias hasta un 99.9% siempre y cuando se construya y se emplee de forma correcta. En muchos casos a partir del noveno día de operación se logra observar evidenciar una generación de capa biológica compuesta de bacterias, protozoarios, algas, hongos, microcrustáceos y nematodos en la parte superior del material filtrante, aproximadamente entre los primeros 3-5cm, aumentando la eficiencia del filtro. Generalmente los filtros en arena están compuestos por una capa de soporte de grava y arena graduada, es decir los tamaños de partícula van de mayor a menor y por último una capa de arena fina de aproximadamente entre 40cm – 90cm de altura (Medeiros et al, 2020). Es necesario que los filtros en arena cumplan con las tasas de filtración establecidas por la normatividad, como se muestra en la Tabla 6, para que las partículas puedan quedar retenidas en el material filtrante (Avila Bareño & Moreno Figueroa, 2016).

Existen muchas formas de construir este filtro, empleando diferentes alturas y materiales de construcción como el concreto, PVC o baldes plásticos (Conant, 2005). En la

Tabla 15 se mencionan algunos prototipos que han desarrollado diferentes autores en tesis de grado y artículos de ingeniería, dando a conocer alturas del medio filtrante, materiales, tamaños de partícula y las remociones alcanzadas.

Tabla 15

Filtros en arena de bajo costo

Autor(es)	Tratamiento	Caudal/tasa	Tipo de lecho filtrante	Eficiencia
Mahmood, et al., 2011	Filtración en arena	Especifican 20L/d	5cm grava como material de soporte(15mm), 5cm grava(6mm),45cm arena, 5 cm grava (6mm-12mm)	Después de 10 días de operación Remoción de turbidez: Ald 1: 96,6% Ald2:96,2% Remoción de <i>E.Coli</i> : Ald 1: 97,9% Ald2:96,3% Remoción de coliformes T: Ald 1: 97,2% Ald2: 97,4%
Medeiros et al, 2020	Filtración en múltiples etapas	20L/d+20L(establecido) Tasa de filtración: 3,21+/-0,009m ³ *m ² d ⁻¹	1er compartimiento: 7,5cm grava (8-15mm); 7,5cm grava(5-8mm);7,5cm grava (3-5mm)+ 10cm borde libre 2do compartimiento: 7,5cm grava(8-15mm); 5cm grava(5-8mm);5cm arena (1.5-3mm); 25cm arena (01-1mm); 25 cm borde libre	Turbidez 50%

Mwab et al., 2011	BSF: Filtración en arena y zeolita ; BF:filtración en arena; CCF:Filtración microporosa cerámica SIPP: Filtración microporosa cerámica & nitrato de plata	BSF: 171 l/h, BF:167 l/h; CCF: 6,4 l/h; SIPP:3,5 l/h	BSF: 41 cm(tamaño de partícula: 5-7 mm), arena: 5cm (tamaño de partícula: 0,95 mm y 0,3 mm) y zeolitas 2,5cm (tamaño de partícula: 3 mm) ; capa de arena2,5cm(tamaño de partícula de 0,3mm); BF: grava de 2 cm (5-7 mm) y arena fina de 5 cm (0,3 mm)	Turbidez 90%-95; para todos hubo una muy mala reducción de floruros (16-48%); alta remoción de clorofila BF(97,8%); Hubo una notable reducción de turbidez tanto en el agua sintética, como en el agua superficial ambiental. Además, hay una notable reducción de bacterias patógenas, eficiencias mayores a 80%
Lugo, J. Burgos, J. Lugo, E. Gould, A. Ovallos, D.	Filtro 1: Filtración en arena Filtro 2: filtración que combina, carbón activado y arena	No especifican	Filtro 1: 5cm grava gruesa, 5cm grava fina, 3 cm carbón activado, 15 cm de arena fina (diámetro 0,55-0,75mm) Filtro2: 5cm grava gruesa, 5cm grava fina, 15 cm arena(diámetro 0,55-0,75mm)	Como moringa de coagulante (turbiedad), para ambos filtros 91-96% Como Cañandong de coagulante (turbiedad, para ambos filtros 52-70% En cuanto a eficiencia de eliminación de bacterias esta entre 54-76,9% usando moringa como coagulante

Cordoba et al., 2016	Filtración dual Arena-antracita por gravedad	Dan a conocer variabilidad en tazas de filtración, debido al ensuciamiento. Tasa de filtración de diseño: 250 m ³ /m ² d	8 filtros, compuestos de arene-antracita. No especifican las alturas de los lechos	
Torres et al., 2017	Microfiltración a través de arena fina, carbón activado, piedra pomez	Caudal de salida 1,5L/minuto	Altura total: 179cm, varios compartimentos. Compart 1: 26 cm arena fina Compart 2: 14 cm arena fina+ 12cm material granular (no especifican) Compart 3: 5cm carbón activado + 5cm piedra pomez+ 10 cm arena gruesa+ 6cm grava fina	Reducción de 99.9% de coliformes totales y <i>E.coli</i> . 98% turbiedad
Cordoba et al., 2020	Filtración lenta en arena-micro filtración a través de membranas-velas cerámicas.	Q: 20L/d; 2L/h	-	Coliformes totales 80.91%,- 67.39%
Agrawal, A. Sharma, N. Sharma, p.	Filtración lenta en arena	carga hidráulica de 4.6296 L / segundo / m ²	Arena fina(d mayor a 2cm; grava (6mm-2cm); Grava (4,25mm-6mm); arena fina (0.7mm-4.25mm); arena fina (diámetro mayor a 0.7mm)	Remoción del 80% de solidos disueltos

Mutemi et al., 2020	Filtración lenta en arena	1,5 L/d		Eficiencias mayores al 94% en cuanto a remoción de bacterias
Villanueva Sonia, 2013	Filtración lenta en arena	Q: 18414 L/d		Turbiedad :96.4% Color:100% Coliformes totales: 100%
Duque et al., 2006	Lecho mixto	20-40L/h	95cm altura- 36cm ancho	remoción del 98% contaminantes

Elaboración propia

Como se menciona al inicio de este apartado, las tecnologías mencionadas, necesitan un proceso de pulimiento como desinfección para garantizar la no presencia de microorganismos en el agua

Desinfección

Emplear un proceso de pulimiento como un sistema de desinfección ayuda a complementar los tratamientos ya sean convencionales o no convencionales. Los sistemas que más se emplean en zonas rurales o en poblaciones sin acceso a agua segura son la desinfección a través de la luz solar, adición de cloro, hervir el agua o adición de limón.

Luz solar (SODIS)

La desinfección solar es un metodo sencillo, economico y sostenible. Consiste en verter el agua en botellas transparentes, posterior a esto se exponen a la luz solar. Este metodo se basa en los efectos nocivos de la radiación ultra violeta (UV) y sus efectos en los organismos patogenos gracias a la temperatura. (Joyce *et al.*, 1996). Para garantizar una efectividad en el proceso de desinfección es necesario tener en cuenta los siguientes factores (Márquez Bravo, 1998):

- EL tiempo de exposición de la muestra de agua sobre la radiación solar, de esto depende las características geográficas, variaciones climáticas y el rango efectivo de longitudes de onda de la luz.
- Tipo de microorganismos expuestos
- El tipo y características del recipiente (material, transparencia, entre otros)
- Características del agua

Para emplear esta tecnología es necesario

- Lavar bien las botellas
- 3/4 partes de la botella con agua.
- Agitar durante 20-30 segundos la botella con agua para airear el agua y a su vez contribuir a la eliminación de patógenos
- Disponer la botella en un lugar donde tenga contacto con el sol
- Dejar la botella expuesta mínimo 6 horas al sol

Aunque este es una tecnología efectiva, no genera un efecto residual en el agua.

Hervir el agua

Uno de los métodos de desinfección inmediata es disponer el agua en un recipiente limpio y hervirla durante un minuto. Una vigorosa ebullición elimina los microorganismos presentes en el agua contaminada. Se debe tener en cuenta el sector donde se realizará la desinfección, debido a el punto de ebullición del agua varía según la presión a la que se encuentre. Una de las limitantes de este tipo de sistema es el color y sabor que esta puede adquirir gracias a las características del recipiente donde se realice el calentamiento del agua (Solsano & Méndez , 2002)

Adición de cloro

Como se menciona en “Cloro”, el cloro es un método de desinfección económico y de fácil empleo. Este método es empleado en potabilización convencional y no convencional

Teniendo en consideración las tecnologías convencionales, no convencionales, y las necesidades que presentan la población de Carpinelo II, se emplea el libro “Diseño y desarrollo de un producto”, con el fin de desarrollar el filtro como producto para que logre tener un mayor impacto en la comunidad..

Metodología

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en la propuesta de trabajo de grado, el enfoque metodológico de este trabajo es a través de la técnica de investigación documental; su proceso fue deductivo, secuencial, probatorio y analizó la realidad objetiva.(1); además se tuvo en cuenta algunos conceptos mencionados en el libro de Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger, el cual muestra como paso a paso se diseña y se desarrolla un producto; permitiendo a partir de la teoría y datos obtenidos en las pruebas realizadas, evaluar el comportamiento hidráulico del prototipo, para así presentárselo a la comunidad de Carpinelo II de la comuna 1 como una opción de mejoramiento de calidad de agua. En principio se plantearon 3 etapas, donde se organizó un cronograma como se muestra en la Tabla 1.

Etapa I. Selección de la alternativa de filtración

Durante todo el desarrollo del prototipo y trabajo escrito se tuvo en cuenta la revisión bibliográfica que alimentó el proyecto, cabe aclarar que durante el tiempo de trabajo se realizaron reuniones con los dos asesores, verificando que el proyecto fuera en la dirección correcta, se cumpliera con los objetivos propuestos inicialmente y tiempos establecidos para

cada actividad de la Tabla 16, además se tuvieron en cuenta ideas y aportes que realizaron estudiantes y docentes que hacen parte del equipo de “articulación territorial de prácticas académicas en la comuna 1”

Tabla 16
Cronograma de actividades

Cronograma general																									
Actividad	Semana																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	Etapa I							Etapa II							Etapa III										
Revisión bibliografica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisión de alternativas de filtración	X	X	X	X	X	X																			
Elección de la alternativa						X	X	X	X																
Dimensioamiento hidráulico del sistema										X	X														
Elaboración de memoria de cálculos										X	X	X	X												
Elaboración del sistema													X	X	X										
Ensamble de prototipo																	X	X	X						
Creación de manual del sistema																		X	X	X	X				
Evaluación del funcionamiento del sistema																						X	X	X	

Fuente: Elaboración propia

Antes de elegir cual era el prototipo que mejor se podría acomodar a la población de Carpinelo II, se realizó una recolección de información del sector, en la que se encuentra la ubicación de barrio, los parámetros climáticos, un poco del contexto social que vive la población, las rutas de acceso y censo poblacional en cuanto acceso a servicios públicos domiciliarios.

Ubicación

El barrio Carpinelo II, está ubicado en la zona nororiental de la ciudad de Medellín en el departamento de Antioquia, hace parte de los 12 barrios que constituye la comuna 1 según se reconoce por medio del decreto 346 del 2000 (marzo 30), a su vez pertenece a una

de las 16 comunas de la ciudad. (UdeA, 2016). Carpinelo II limita con el municipio de Bello, el corregimiento de Santa Elena, la comuna 3 (Manrique) y la comuna 2 (Santa Cruz)

Figura 10.
Localización geográfica del sector Carpinelo

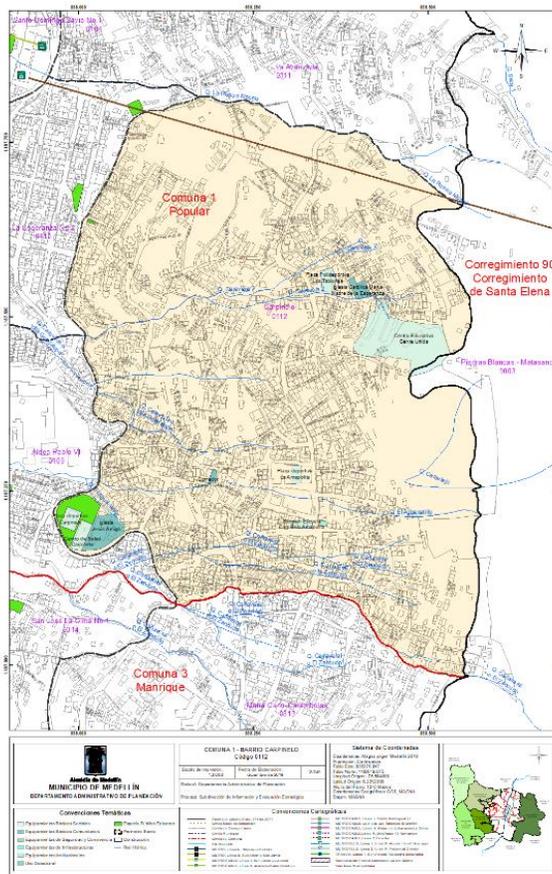


Imagen extraída de: (Medellín, 2009)

Parámetros

climáticos

Dado que el barrio Carpinelo II pertenece a la ciudad de Medellín, este adopta las características climáticas de esta, así como se muestra en la Tabla 17 (Medellín, 2009).

Tabla 17.
Información climatológica del valle de aburra

MEDIOS	Ene o	FEB R	MA R	ABRI L	MAY O	JUNI O	JULI O	AGO S	SEP	OC T	NO V	DIC
Prec	61,4	76,1	120, 6	163,1	199,5	147,7	118,9	154	171, 7	221	151, 1	87,8
NoDIAS	12	13	17	21	24	18	16	20	221	25	21	15
TMAZ	31,6	33	33,4	32,8	32,2	32	32	33,6	33,1	31,3	31,1	32,8
TMIN	12,4	12,4	13	13,9	12,8	10,4	10	11,4	10,2	11,2	11,2	10,8
TM-Máx	27,7	28	28	27,6	27,4	27,4	28,3	28,2	27,7	26,8	27	27,1
TEMP	21,9	22,1	22,1	22	21,8	21,8	22,5	22,4	21,8	21,1	21,2	21,4
TM-MIN	16,7	16,9	17,2	17,3	17	17	16,5	16,6	16,5	16,6	16,9	16,7
BRILLO	175,5	149	154, 2	138,9	173	173	203,2	191,6	153, 4	132, 9	136, 4	156, 2
HUMEDA D	66	66	67	71	67	67	63	65	69	72	73	70
EVAP	135,6	121,6	130, 6	114,7	148,3	125,9	148,3	147	123, 5	106, 7	103	109, 7

Tabla extraída de: (IDEAM, 2000)

La temperatura promedio del barrio Carpinelo es de 23° grados centígrados. (Medellín, 2009)

Contexto social de la población

La población de la comuna, ha pasado por momentos difíciles debido a la violencia en consecuencia del conflicto armado, narcotráfico y grupos armados ilegales al margen de la ley, pero también como resultado la falta de oportunidades, pobreza y miseria que viven más del 80% de la población. (Municipio de Medellín, 2008)

Rutas de acceso

Dado que el barrio Carpinelo II integra uno de los barrios de la comuna 1, las rutas de acceso al barrio, serán las mismas que conectan a la comuna. La malla vial que compone al barrio no es planificada, es además intermitente, poca señalización, lo que hace difícil la movilidad dentro de la misma. (Katíos, SIMPAD, & Ambiente, 2012). Los principales ejes

viales de la Comuna Popular son la carrera 39, la carrera 42 B, la carrera 46 y la calle 107B (Departamento Administrativo de Planeación, 2014). En cuanto al sistema de transporte, la Comuna 1 - Popular cuenta con la Línea K del Metro de Medellín, además de rutas alimentadoras de este sistema y también cuenta con transporte público (Alcaldía de Medellín, 2015).

En la imagen Figura 11 se logra evidenciar los principales ejes viales de la Comuna 1, y a partir de la imagen Figura 12, las rutas del sistema de transporte.

Figura 11
Malla vial comuna 1

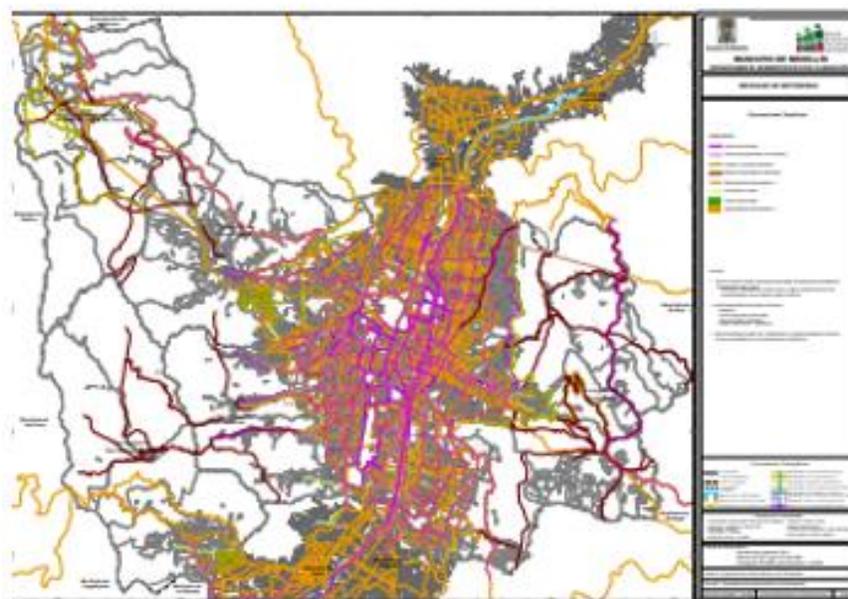


Imagen extraída de: (Alcaldía de Medellín, 2014)

Figura 12
Sistema de movilidad comuna 1

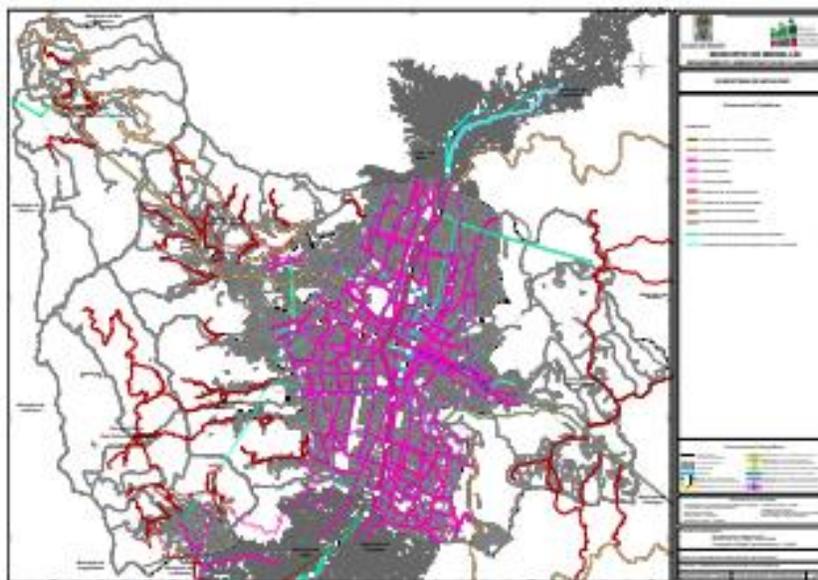


Imagen extraída de: (Alcaldía de Medellín, 2014)

La malla vial de la comuna es tiene múltiples problemas debido a la falta de planeación del territorio. Según se nombra en el “plan de desarrollo comuna I”, se requieren proyectos de desarrollo vial, y comunicación de los barrios; sin embargo, cabe aclarar que la comuna cuenta con acceso al transporte masivo, lo que facilita el ingreso a esta. (Alcaldía de Medellín, 2014)

Acceso a servicios públicos

A partir del censo que se realizó en el sector Carpinelo 2 en el año 2018, por parte de la junta de acción comunal del respectivo barrio, en base a 150 familias dio a conocer algunas de las necesidades en cuanto al funcionamiento y adquisición de servicios públicos domiciliarios. (Junta de acción comunal, 2018) como se muestra en la Tabla 18

Tabla 18
Censo servicios públicos domiciliarios

censo servicios públicos domiciliarios
--

Servicios	Energía	Acueducto	Gas	Teléfono	Internet
Hogares	123	6	4	22	22
Calidad promedio (1-5)	3,46	1,83	2	3,85	3,86

Información Extraída de: (Junta de acción comunal, 2018)

A partir de la tabla Tabla 18, puede evidenciarse que gran parte de la población de Carpinelo II, no cuenta con servicios públicos domiciliarios.

Teniendo en cuenta los resultados de calidad de agua que se obtuvieron a partir de una caracterización de agua en tres puntos diferentes del sector carpinello II, que realizo el grupo GIGA en el año 2019 como se muestra en la Tabla 19 se buscó a través de la literatura y prototipos construidos, emplear una tecnología que se adecuará a el contexto socio económico de la comunidad, con el fin de mejorar y tratar diferentes parámetros como turbiedad, color aparente Coliformes Totales y *E.coli.*, ya que son parámetros que sobrepasan los valores máximos establecidos por la normatividad colombiana de agua potable (GIGA, 2019)

Tabla 19

Parámetros de calidad del agua del barrio Carpinelo II

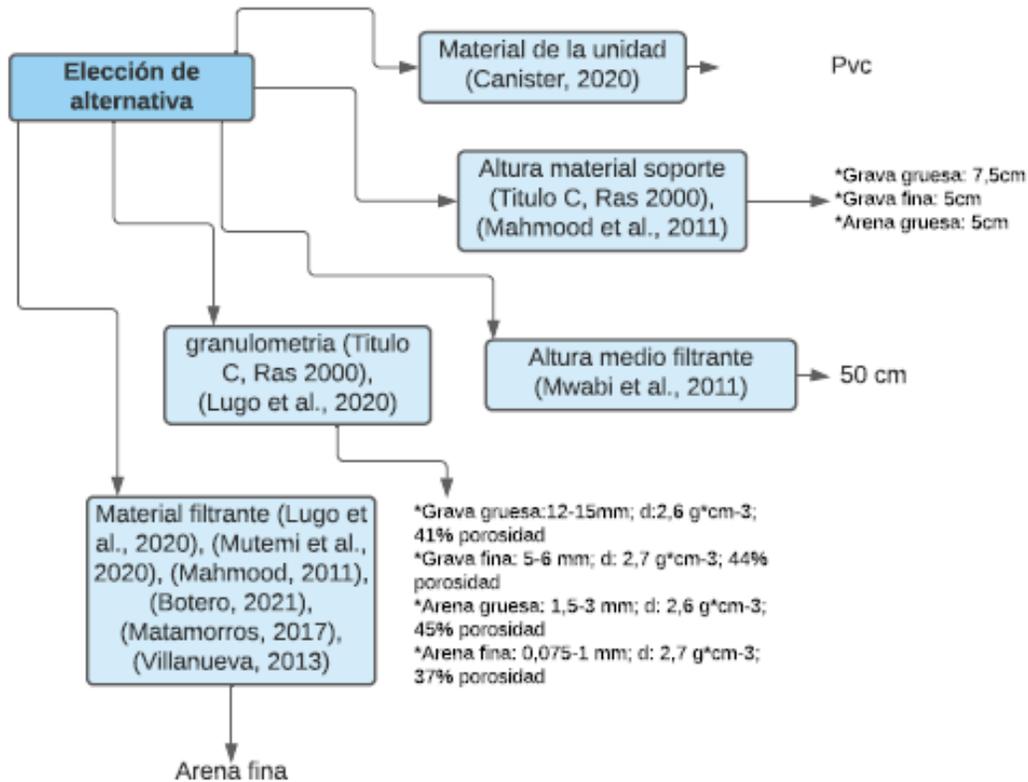
Parámetro	Unidades	Valor máximo	Valor Obtenido punto 1	Valor Obtenido punto 2	Valor Obtenido punto 3
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	200	23,0	22,8	22,8
Color Aparente	UPC	15	25	25	25
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	300	23,9	21,9	20,3
Nitritos	mg/L NO ₂ ⁻ N	0.1	< LCM	< LCM	< LCM
pH	Unidades de pH	6.5-9.0	6,42	6,41	6,38
Turbiedad	UNT	2	7,28	4,95	6,37

Coliformes Totales	NMP/100mL	<1	9 x10 ²	13 X10 ²	120 X10 ¹
<i>E. coli</i>		<1	2 X10 ²	5 X10 ²	20 X10 ¹

Tabla extraída de: (GIGA, 2019)

En a la etapa de revisión de alternativas de filtración, se evaluaron las tecnologías ya existentes y que varios autores han desarrollado como velas cerámicas, vasijas cerámicas y filtración en arena; sin embargo, la idea con este trabajo es que la población de Carpinelo II logre ensamblar el filtro a partir de materia prima y materiales de fácil acceso dentro del valle de aburra, además que estos sean duraderos y económicos. A partir de la información obtenida se realizó un filtro de ideas donde se tenían en cuenta, las remociones, altura del lecho filtrante y materiales empleados, para así elegir y emplear los mecanismos, parámetros para elaboración de la unidad de filtración, como se muestra en la ilustración 1

Ilustración 1
Elección de alternativa



Etapa II: Dimensionamiento del sistema

A partir de las elecciones de las consideraciones y materiales, se realizó una memoria de cálculos donde se tuvo en cuenta las siguientes ecuaciones (Pinos Prieto, 2019).

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Ecuación 1

Donde:

$$V = H_1 * A$$

Ecuación 2

Reemplazando Ecuación 2 en la Ecuación 1 se obtiene:

$$M_1 = \rho * A * H_1$$

Ecuación 3

La Ecuación 3, se emplea para cada material, es decir para cada columna de arena, y para cada columna de grava, posterior a esto se suman las masas para saber el peso total del material filtrante y soporte, para así evaluar si el prototipo es viable o inviable debido a su peso.

$$\text{Tasa de filtración} = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 4

Donde

M: Masa del material

ρ : Densidad del material

H_1 : Altura del lecho filtrante o material de soporte

Q: caudal

A: área transversal de filtración:

Perdidas de carga:

Para cada columna tanto del soporte como para el la columna filtrante se empleo

la ecuación

Para conocer las pérdidas por carga en la unidad de filtración lenta se empleó

$$h = 1,067 * C_D * \frac{1}{\epsilon^4} * \frac{L}{d} * \frac{V^2}{g}$$

Ecuación 5

$$C_D = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0,34$$

Ecuación 6

$$N_R = \frac{V * d}{\nu}$$

Ecuación 7

Para conocer las pérdidas por carga si el filtro se comportaba de manera rápida

$$\Psi = 4,84 * \frac{\beta^{2/3}}{\alpha}$$

Ecuación 8

$$h = 0,178 \left(\frac{V^2}{g * \epsilon^4} \right) \left(\frac{\beta}{\alpha} \right) \left(\sum C_{Di} \frac{Pi}{di} \right) * L$$

Ecuación 9

Donde:

V: velocidad filtración

K: Coeficiente de permeabilidad

H: Pérdida de carga en el lecho

L: Profundidad del lecho

CD: Coeficiente de arrastre

Ψ : Relación de porosidad del lecho

d: Diámetro de los granos

g: Aceleración de la gravedad

N_R : Número de Reynolds

ν : Viscosidad cinemática

ε : Porosidad de la arena

V: velocidad o tasa de filtración

C_{Di} : Coeficiente de arrastre para los granos de tamaño promedio

d_i : Es igual $(d_1 * d_2)^2$; es decir, el tamaño geométrico de las aberturas de los dos tamices adyacentes.

P_i : Fracción en peso de partículas de tamaño “di”.

Los valores de factores de forma, porosidad del material, se obtienen a partir de la Tabla 20

Tabla 20

Características de forma de los medios granulares.

Tipo de grano	β	β/α	Ψ
Angular	0,64	6,9	0,81
Afilada	0,77	6,2	0,85
Erosionada	0,86	5,7	0,89
Redondeada	0,91	5,5	0,91
Esférica	0,52	6,0	1,0

Tabla extraída de: (Pinos Prieto, 2019)

Para la unidad de drenaje se tuvo en cuenta las teorías que emplea (Pinos Prieto, 2019). Para obtener el área de cada orificio, cantidad de orificios, se emplean las siguientes ecuaciones.

$$\frac{A_{total\ de\ orificios}}{A_{Lecho\ filtrante}} = 0,7$$

Ecuación 10

Se empleó una broca de con diámetro de 1/8'' para cada orificio, por ende, la cantidad de orificios se encuentra partir de la siguiente ecuación.

$$A_{total\ de\ orificios} = n_{orificios} * A_{Cada\ orificio}$$

Despejando n , se obtiene

$$n_{orificios} = \frac{A_{Total\ de\ orificios}}{A_{Cada\ orificio}}$$

Ecuación 11

Para conocer el caudal por cada orificio se empleó la siguiente ecuación:

$$q_0 = \frac{Q}{n}$$

Ecuación 12

Para evaluar el coeficiente de descarga se empleó la siguiente ecuación

$$C_d = \frac{q_0}{A_0 \sqrt{2} * g * \Delta H}$$

Ecuación 13

Para así conocer la velocidad en cada orificio

$$v = \frac{q_0}{C_d * A_0}$$

Ecuación 14

Y conocer la perdida por carga en la pieza de drenaje

$$H_f = K * \frac{v^2}{2 * g}$$

Ecuación 15

Cabe aclarar que estas ecuaciones se emplearon solo en el prototipo final. Antes de llevar a cabo los cálculos correspondientes a pérdidas de energía, condiciones hidráulicas, se elaboró para cada uno de los 9 prototipos un bosquejo en el programa AutoCAD 2019 donde se analizaba la utilidad, manejo y posibles fallas que pudiese contener la unidad de filtración. A sí mismo se evaluó el peso de la respectiva unidad a través de la ecuación

Los prototipos que no cumplieren con las especificaciones o sobrepasaran parámetros como el caso del peso, se descartaron y no se continuaba con su respectiva evaluación.

Etapa III. Construcción y ensamble de prototipo

Algunos de los bosquejos que se desarrollaron en el programa de AutoCAD 2019, se extrapolaron a bosquejos en 3d (renders); los cuales ayudaron a entender un poco más la unidad de filtración, reducción de piezas y mitigar posibles fugas.

Los prototipos que fueron renderizados, se ensamblaron para conocer a si más allá de la teoría, desde la observación y experiencia, identificar la forma más factible de llevarlo a cabo, adquirir el conocimiento del comportamiento real de la unidad, verificar las fugas, y corregirlas,

Para hacer una simulación de desinfección del material filtrante y material de soporte, estos materiales, se lavaron empleando agua lluvia y se expuso al sol durante 7 horas.

Debido a que este trabajo se desarrolló en época de pandemia, la entrada a la universidad era restringida para realizar ensayos de laboratorio, por ende, se realizaron pruebas para conocer caudales a partir de una conexión directa con una manguera a la parte superior de la columna filtrante, y una prueba con trazadores, en la que empleaba anilina vegetal y agua limpia.

La medición de caudal empleando una conexión directa de la manguera se realizó a partir de los siguientes pasos

1. Cerrar la válvula de salida de la unidad de filtración
2. Llenar con agua la unidad de filtración hasta alcanzar 7 cm una cabeza hidráulica de 7cm
3. Inyectar agua y abrir la compuerta de salida de agua
4. Evaluar tasas de filtración, fugas y el caudal donde el filtro pudiese colmatarse.

La solución para los trazadores estaba compuesta por

- 8 gramos de anilina vegetal violeta
- 3 litros de agua

Los pasos que se realizaron para llevar a cabo esta prueba fueron:

1. Diluir 8 g de anilina vegetal violeta en 3 litros de agua
2. Cerrar la válvula de salida de la unidad de filtración
3. Llenar la unidad de filtración hasta alcanzar 7 cm de columna de agua
4. Adicionar la solución de agua con anilina
5. Evaluar las tasas de filtración, fugas y tiempos de retención de la unidad

Posterior a las evaluaciones hidráulicas, se procedió a desarrollar el manual de construcción, funcionamiento y mantenimiento de la unidad. El manual de construcción se desarrolló empleando los programas Procreate e Indesign para la ilustraciones y escritura respectivamente.

Resultados y análisis

Selección de la alternativa de filtración

Entre los problemas que se identificaron en las mesas de dialogo el sector Carpinelo II, se encuentra “la no distribución de agua potable”, lo cual incrementa riesgos de enfermedades (Universidad de Antioquia, 2016). El semillero de investigación GIGA, ahora llamado G-lima en el 2019, realizó una visita al sector Carpinelo II, donde hizo seguimiento a la manguera que abastece de agua las casas del sector. La manguera tiene una conexión a la tubería de aducción de transporte de agua, que conecta el embalse de piedras blancas con la planta de tratamiento (PTAP) de villa hermosa; es decir el agua no cuenta con ningún tipo de tratamiento. Posterior a esto, el 9 de septiembre del 2019, tomaron muestras de agua en 3 sectores diferentes, para realizarles un análisis fisicoquímico y microbiológico a través del laboratorio de estudios ambientales (acreditado) ubicado en la facultad de ingeniería de la Universidad de Antioquia, donde el 18 de septiembre del mismo año, el laboratorio da un informe con los parámetros de calidad del agua, en el cual se observa incumplimiento de la Resolución 2115-2007, en cuanto a turbiedad y presencia de *Escherichia coli* y coliformes totales.

Según la metodología Jover los problemas son consideradas oportunidades. (Jover , 2014); por ende, una solución y a su vez una oportunidad de desarrollo para mejorar la calidad del agua del sector, es la implementación de tratamientos de uso domésticos a bajo costo, como lo es un filtro de agua. (Avellaneda, 2016)

Como se muestra en la Tabla 21, en el mercado se pueden encontrar unidades de tratamiento de uso doméstico, como filtros domésticos de membrana cerámica, lechos de arena, membranas plásticas, entre otros, donde varían según sus características volumétricas, funcionales y sus respectivos costos.

Tabla 21*Comparación de filtros en el mercado*

Filtro	Watsan	Pure Water	Sawyer	Agualogic
Materiales	Vela de terafil (arcilla de limo, arena de río y aserrín de madera)	Cerámica, plata coloidal, carbón activado, plástico	Membrana de filtración de 0,1-0,02 micras, plástico	Plástico, Filtro cerámico
Remoción	Patógenos, arsénico, turbiedad, hierro, color, olor	Patógenos, turbiedad, color, olor, sabor, impurezas hasta de 0,5 micrones	Bacterias, protozoos, partículas mayores a 0,1 o 0,02 micras	Bacterias
Ventajas	Compacto, durabilidad aproximadamente de 5 años, fácil manteniendo, eficiencia de remoción	Compacto, eficiente remoción de contaminantes, fácil reemplazo de velas de cerámica, fácil limpieza	Compacto, fácil uso, remoción efectiva	Fácil uso, efectivo
Desventajas	Ya está armado, importación	Se vende armado y no venden la materia prima	No se vende la materia prima, importación, costo	Viene armado, lenta
Tecnología	Nano a base de microfiltración	Filtración microporosa cerámica	Filtración por membrana	Filtración microporosa cerámica
Costo (\$)	105968+envío	100000	240000	Desde 165900
Imagen				
Fuente	www.watsan.in	www.purewater.com.co	www.sawyer.com.co	www.agualogic.com

Aunque existen muchos filtros en el mercado, muchos de ellos los venden armados. La intención con este trabajo, como se menciona en la metodología es que la misma comunidad pueda construirlo con materia prima y elementos de fácil acceso. Por ende, es factible el uso de filtro en arena de carácter doméstico, ya que puede ser una solución al problema que se presenta, aunque mejore las características del agua a tratar, los tratamientos con arena deben complementarse con un proceso de desinfección para garantizar agua segura (OMS, 2006)

Identificación de proveedores

Con el fin de que la población de Carpinelo,II, logre obtener los materiales necesarios para la construcción de la unidad de filtración, todos los materiales que se eligieron pueden conseguirse en diferentes tiendas como Homcenter , Pavco, e incluso en diferentes ferreterías o depósitos de materiales. Las arenas y las gravas requeridas deberán comprarse en establecimientos que cumplan con los requerimientos técnicos que exige la norma técnica NTC 174, como antioqueña de arenas, lugar ubicado en el municipio de caldas.

En este trabajo, se pensaron varios prototipos, teniendo como un fin llegar hasta la última etapa cada vez que se realizaba un bosquejo, sin embargo, a medida que se realizaron sus respectivos análisis y posibles fallas, se fueron descartando hasta llegar a el indicado.

En el periodo de elección de alternativa y dimensionamiento del prototipo, se evaluaron diferentes unidades.

Desde un principio se mantuvo una altura de 50cm para el lecho filtrantes que se menciona en *Wabi et al (2020)*, la altura del material de soporte que se menciona en *Titulo C RAS., 2000* y *Mahmood et al.,(2011)*, capa de arena gruesa de 7,5cm, grava fina de 5cm y grava fina de 5cm, sin embargo a medida que fue evolucionando el trabajo se contempló una altura para la capa de grava gruesa de 5cmdes; además se mantuvieron características

granulométricas que menciona *Lugo et al (2020)*; *Titulo C RAS (2000)*, grava gruesa (12-15mm; d:2,6 g*cm-3; 41% porosidad), grava fina (5-6 mm; d: 2,7 g*cm-3; 44% porosidad), arena gruesa (1,5-3 mm; d: 2,6 g*cm-3; 45% porosidad), arena fina (0,075-1 mm; d: 2,7 g*cm-3; 37% porosidad);

A medida que surgían ideas para la puesta en marcha del prototipo, se realizaron esquemas en Autocad, se evaluaron costos, beneficios y problemas. Dado que se hacía difícil un dimensionamiento y evaluación del comportamiento de los materiales teóricamente sin práctica, las unidades que parecieron ser las indicadas se fueron ensamblando, evaluando, descartando y mejorando

Dimensionamiento del sistema, Construcción y ensamble de prototipo

Después de realizar una extensa revisión bibliográfica y con la intención de que las materias se encontrasen dentro del barrio o en lugares aledaños al sector Carpinelo II.

En la Tabla22, se presentan los primeros diseños de los primeros prototipos, en ellos se emplean dos galones de agua de 20L, con tamaño de boca de 49 mm y diámetro de 270 mm. Para la construcción de estas unidades se debe girar 180° ambos botellones, es decir que la boquilla mirase el suelo, posterior a esto se recortaba la parte inferior para el primer filtro y la capa superior e inferior del segundo botellón, posterior a esto se pegaban con pega de PVC. La unidad de filtración se pensó para que el flujo fuese descendente, donde el agua entraba por la parte trasera del segundo botellón y saliese filtrada por la boquilla del primer recipiente. El prototipo 1, estaba distribuido por una capa de grava gruesa de 7,5cm, una capa de grava fina de 5cm, una capa de arena gruesa de 5 cm y por último una capa de arena fina de 50cm; El prototipo 2, estaba distribuido por una capa de grava gruesa de 7,5cm, una capa de grava fina de 5cm, una capa de arena gruesa de 5 cm, una capa de arena fina de 50cm y por último una capa de arena gruesa de 2cm; El prototipo 3, estaba distribuido por una capa de grava gruesa de 7,5cm, una capa de grava fina de 5cm, una capa de arena gruesa de 5 cm, una capa de arena fina de 50cm y por último un pequeño filtro cerámico realizado por *Calvo*

Velez (2021); El prototipo 4, estaba distribuido por una capa de grava gruesa de 7,5cm, y una capa de arena fina de 50cm

Tabla 22
Prototipos 1, 2, 3 y 4

	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4
Materiales	Costo filtro 1 (\$)	Costo filtro 2 (\$)	Costo filtro 3 (\$)	Costo filtro 4 (\$)
Arena fina	37968	37968	37968	37968
Arena gruesa	5513	5513	5513	sin
Grava fina	6500	6500	6500	sin
Grava gruesa	6500	5500	5500	5500
Tubo PVCØ1/2"	5000	5000	5000	5000
Envase retornable	29800	29800	29800	29800
Conexión PVC	6000	6000	6000	6000
Bisturí	1900	1900	1900	1900
Encendedor	500	500	500	500
Pega	6000	6000	6000	6000
Valor total (\$)	105681	104681	104681	92668

Fuente: elaboración propia

En Tabla 23, se presenta el prototipo 5, el cual está estructurado por un tubo de PVC de diámetro 4'' y una altura de 90cm. La unidad de filtración se pensó realizar con una distribución de una capa de soporte, constituida por 5cm de grava gruesa, y por una capa de material filtrante de 50 cm de altura

Tabla 23
Prototipo 5

Prototipo 5																															
Imagen	Características																														
	<ul style="list-style-type: none"> • 7,5 cm grava gruesa 12-15mm; d:2,6 g*cm-3; 41% porosidad • 50 cm arena fina 0,075-1 mm; d: 2,7 g*cm-3; 37% porosidad 																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Materiales</th> <th>Cantidad</th> <th>Costo (\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena fina</td> <td>11 kg</td> <td>6960</td> </tr> <tr> <td>Grava gruesa</td> <td>1,64kg</td> <td>5500</td> </tr> <tr> <td>Tubo PVCØ1/2''</td> <td>2m</td> <td>5000</td> </tr> <tr> <td>Tubo PVCØ 4''</td> <td>1,5m</td> <td>29800</td> </tr> <tr> <td>Conexión PVC</td> <td>3</td> <td>6000</td> </tr> <tr> <td>Bisturí</td> <td>1</td> <td>1900</td> </tr> <tr> <td>Encendedor</td> <td>1</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Pega</td> <td>1</td> <td>6000</td> </tr> <tr> <td>Valor total (\$)</td> <td></td> <td>40370</td> </tr> </tbody> </table>	Materiales	Cantidad	Costo (\$)	Arena fina	11 kg	6960	Grava gruesa	1,64kg	5500	Tubo PVCØ1/2''	2m	5000	Tubo PVCØ 4''	1,5m	29800	Conexión PVC	3	6000	Bisturí	1	1900	Encendedor	1	500	Pega	1	6000	Valor total (\$)		40370
	Materiales	Cantidad	Costo (\$)																												
	Arena fina	11 kg	6960																												
	Grava gruesa	1,64kg	5500																												
	Tubo PVCØ1/2''	2m	5000																												
	Tubo PVCØ 4''	1,5m	29800																												
	Conexión PVC	3	6000																												
	Bisturí	1	1900																												
	Encendedor	1	500																												
Pega	1	6000																													
Valor total (\$)		40370																													

Fuente: elaboración propia

Con el fin de realizar una primera evaluación, se realiza un análisis de las masas de las 5 primeras unidades a partir de la Ecuación 3, como se muestra en la Tabla 24, se da a conocer la masa de cada capa y el total de los filtros 1, 2, 3, 4 y 5,

Tabla 24

Masa de las unidades 1, 2, 3, 4 y 5

Capa	Masa filtro 1 (kg)	Masa filtro 2(kg)	Masa filtro 3(kg)	Masa filtro 4(kg)	Masa filtro 5(kg)
Grava gruesa	13.78	13.78	13.78	13.78	1.05
Grava fina	9.54	9.54	9.54	-	-
Arena gruesa	9.19	9.19	9.19	-	-
Arena fina	95.43	95.43	95.43	95.43	10.92
Arena gruesa	-	3.68		-	-
Masa total (kg)	127.94	131.62	127.94	109.21	11.97

Fuente: Elaboración propia

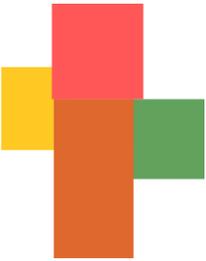
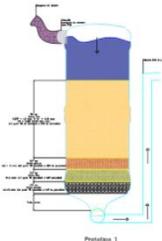
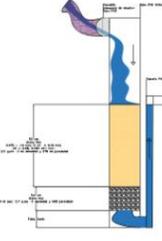
En principio se quería desarrollar uno de los 4 filtros que se muestran en la Tabla 22, o el filtro que se encuentra en la

Tabla 22, sin embargo, los primeros 4 prototipos se descartaron por varias razones, la primera fue por el alto peso que cada una tendría como se muestra en la Tabla 244, el filtro número 2, presenta el mayor masa, debido a que se quería disponer una capa de arena gruesa encima del material filtrante para que este pudiese elongar su vida útil y evitar colmataciones, empleando un poco la teoría que se menciona en (*Grisales Penagos, 2010*), donde se emplea un recubrimiento alrededor de la vela ceramica para evitar colmatación y enlongar la vida útil de dicha vela; en el prototipo 3 se quería adicionar el filtro ceramico que desarrollo el estudiante (*Calvo Vélez, 2021*) mejorar la calidad del efluente, sin embargo se descarto esta idea, ya que debido a la pandemia la ciudad universitaria estaba cerrada ó limitaba su ingreso, y asu vez dificultaba el desarrollo de las pruebas microbiologicas y fisico quimicas que debian hacerse a este material; el filtro número 4 y el filtro 5 se penso con el fin de reducir material de soporte, es decir sin emplear una capa descendente en cuanto al tamaño de particula, sin embargo esto no es viable, ya que en la teoria de filtración dice que: “las particulas del material filtrante, deben estar sosteniadas en un material el cual genere espacios con un diametro menor al material filtrante para que este, no fluya con las lineas de corriente” (lavar) (*De Vargas, 2005*); otra de las razones por las cuales se descartaron los prototipos 1,2,3 y 4 es que seria dificil la manipulación de los materiales y lavado de estos; Además son filtros que ocupan gran espacio.

Con la intención de presentar varias opciones de materiales, el PVC fue uno de ellos, por ende se realiza un bosquejo del filtro 5, aunque se descartó la distribución del material que la unidad contenía, debido a que podría ocurrir lo que se nombro en el prototipo 4, referente a su lavado, se selecciona como material estructural el PVC, debido a que es un material económico, de fácil acceso y duradero.

Durante el desarrollo del trabajo de grado, se realizaron reuniones consecutivas con los asesores del trabajo, para verificar el progreso de este. En ellas se presentaron exposiciones donde daban muestra de los avances de las unidades de filtración, se ponía en discusión los elementos faltantes, fallas y cambios. Una de ellas se realizó el 26 de abril como se muestra en la Tabla 255 allí se logró observar las fallas que presentaban los prototipos 1,2, 3, 4 y 5, donde se sugirió comenzar a pensar en un falso fondo.

Tabla 25
Presentación prototipo 26 de abril

Presentación prototipo 26 de abril																																																																									
<p>Presentación prototipos</p>  <p>Estudiantes: Juan David Escobar Arango</p> <p>Asesores: Camila Grueso Guillermo León Sepulveda</p> <p>23 de abril de 2021</p> <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>	<p>Especificaciones técnicas según Resolución 0844 de 08 de noviembre de 2018 - Minvivienda</p> <p>Artículo 32</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rangos de dotación • Caudal de diseño • Restricciones de mejoración • Procesos complementarios y escala del proyecto • Procesos complementarios y escala del proyecto • Mejoramiento de la calidad de agua <p>Artículo 33 Artículo 35</p>  <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>																																																																								
<p>presentación</p>	<p>Presentación de la normativa</p>																																																																								
 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Materiales</th> </tr> <tr> <th>Materiales</th> <th>Cantidad</th> <th>Valor \$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena fina</td> <td>60 kg</td> <td>37560</td> </tr> <tr> <td>Arena gruesa</td> <td>5,25 kg</td> <td>2923</td> </tr> <tr> <td>Grava fina</td> <td>60 kg</td> <td>3819</td> </tr> <tr> <td>Grava gruesa</td> <td>8,55 kg</td> <td>5313</td> </tr> <tr> <td>Tubo PVC Ø1/2"</td> <td>1,5 m</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td>Conexión PVC</td> <td>3</td> <td>6000</td> </tr> <tr> <td>Envasar retornable</td> <td>2</td> <td>25000</td> </tr> <tr> <td>Victrol</td> <td>1</td> <td>2500</td> </tr> <tr> <td>Encendedor</td> <td>1</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Pega</td> <td>1</td> <td>6000</td> </tr> <tr> <td>Valor total</td> <td></td> <td>50000</td> </tr> </tbody> </table>  <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>	Materiales			Materiales	Cantidad	Valor \$	Arena fina	60 kg	37560	Arena gruesa	5,25 kg	2923	Grava fina	60 kg	3819	Grava gruesa	8,55 kg	5313	Tubo PVC Ø1/2"	1,5 m	3000	Conexión PVC	3	6000	Envasar retornable	2	25000	Victrol	1	2500	Encendedor	1	500	Pega	1	6000	Valor total		50000	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Materiales</th> </tr> <tr> <th>Materiales</th> <th>Cantidad</th> <th>Valor \$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena fina</td> <td>11 kg</td> <td>6960</td> </tr> <tr> <td>Grava gruesa</td> <td>1,64 kg</td> <td>1010</td> </tr> <tr> <td>Tubo PVC Ø4"</td> <td>1,5</td> <td>15000</td> </tr> <tr> <td>Tubo PVC Ø1/2"</td> <td>2</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td>Conexión PVC</td> <td>3</td> <td>6000</td> </tr> <tr> <td>Victrol</td> <td>1</td> <td>1900</td> </tr> <tr> <td>Encendedor</td> <td>1</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Pega</td> <td>1</td> <td>6000</td> </tr> <tr> <td>Valor total</td> <td></td> <td>40370</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>Tabla 3. Materiales prototipo 3 (elaboración propia)</small></p>  <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>	Materiales			Materiales	Cantidad	Valor \$	Arena fina	11 kg	6960	Grava gruesa	1,64 kg	1010	Tubo PVC Ø4"	1,5	15000	Tubo PVC Ø1/2"	2	3000	Conexión PVC	3	6000	Victrol	1	1900	Encendedor	1	500	Pega	1	6000	Valor total		40370
Materiales																																																																									
Materiales	Cantidad	Valor \$																																																																							
Arena fina	60 kg	37560																																																																							
Arena gruesa	5,25 kg	2923																																																																							
Grava fina	60 kg	3819																																																																							
Grava gruesa	8,55 kg	5313																																																																							
Tubo PVC Ø1/2"	1,5 m	3000																																																																							
Conexión PVC	3	6000																																																																							
Envasar retornable	2	25000																																																																							
Victrol	1	2500																																																																							
Encendedor	1	500																																																																							
Pega	1	6000																																																																							
Valor total		50000																																																																							
Materiales																																																																									
Materiales	Cantidad	Valor \$																																																																							
Arena fina	11 kg	6960																																																																							
Grava gruesa	1,64 kg	1010																																																																							
Tubo PVC Ø4"	1,5	15000																																																																							
Tubo PVC Ø1/2"	2	3000																																																																							
Conexión PVC	3	6000																																																																							
Victrol	1	1900																																																																							
Encendedor	1	500																																																																							
Pega	1	6000																																																																							
Valor total		40370																																																																							

Prototipos 1, 2, 3 y 4	Prototipo 5

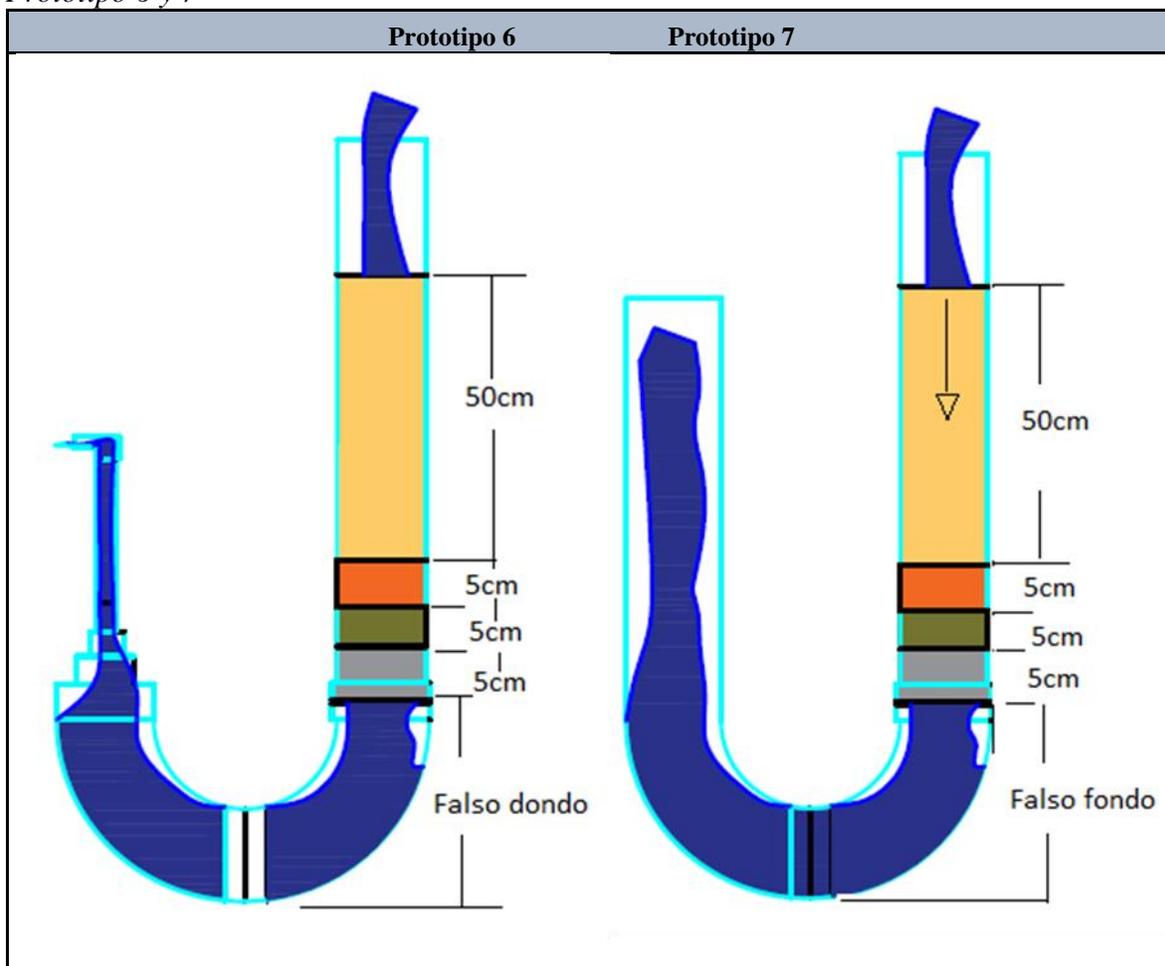
Fuente: propia

Teniendo en cuenta que el material a emplear era PVC, se comenzó a evaluar formas de construcción de falsos fondos, una de ellas fue a partir de la unión de dos codos 4'' de 90° en PVC, y así mismo una forma de extraer el agua filtrada, como se muestra en la

Tabla 226

Con el fin de presentar un diseño final, se propusieron otras dos unidades compuestas de la misma manera hasta el falso fondo. La unidad de filtración de ensamble con un tubo de ventilación de diámetro de 4'' y una longitud de 90cm, la cual contenía, material de soporte constituido por: una capa de 5 cm de grava gruesa, una capa de 5 cm de grava fina, una capa de arena gruesa de 5cm, y finalmente una capa de arena fina de 50 cm; esto soportado por un sistema de drenaje que se construyó a partir de una tapón de PVC perforado por una broca de diámetro 1/8'', dicho tubo y tapón perforado se conectaban por medio de una unión de PVC de 4'' y a su vez con dos codos de 90° de PVC de 4''. El sistema de las unidades 6 y 7 varían respectivamente debido a su salida. La Salida de agua filtrada de la unidad 6 está compuesta por bujes de reducción de 4'', hasta llegar al de 1/2'' para así ensamblar un tubo de PVC de 1/2''; la salida de agua filtrada de la unidad 7, está compuesta por un tubo de ventilación de diámetro de 4''

Tabla 26
Prototipo 6 y 7



Materiales	Costo (\$) Filtro 6	Costo (\$) Filtro 7
Arena fina	8000	8000
Arena gruesa	4000	4000
Grava fina	4000	4000
Grava gruesa	4000	4000
Codo 90CXC 4''	19000	19000
codo 90cxc 1/2''	1000	-
Buje sold 3x1. 1/2''	4000	-
Buje sold 4x3. 1/2''	7000	-
Buje presión 1.1/2x1	1000	-
Buje presión 3/4x1/2	800	-
pvc ventilación 4''	16000	32000

Broca 1/16	29800	29800
Bisturí	1900	1900
Encendedor	500	500
Pega	1	6000
Total \$	101001	109200

Fuente: propia

En principio se diseñó un bosquejo en Autocad, análisis de materiales y costos, como se observa en la Tabla 26

Teniendo en cuenta de que la unidad de filtración parecía ser prometedora, se realizó un renderizado 3d como se muestra en la Tabla 27, que ayudó a conocer las características geométricas de las piezas que contenía la unidad, observar donde podrían presentarse fugas, observar donde y como podrían realizarse cambios y en el caso que la unidad funcionase correctamente, se expondría a la comunidad

Tabla 27
Renderizado prototipo 6



Fuente: Render elaborado por Oscar Cossio

Uno de las mayores limitantes para realizar el ensamble de este prototipo, fue la construcción del sistema de drenado. El sistema de drenado que conecta el material de soporte y el falso fondo en principio, se intentó construir a partir de una malla plástica con distancia entre líneas menor a 4 mm para evitar el descenso del material de soporte y el material filtrante, como se muestra en la imagen c. de Tabla 28 sin embargo la capa filtrante ejercía mucho peso en esta, produciendo un alongamiento de las fibras y a su vez ruptura del material. Días después se pensó en recortar el borde de un tapón de PVC de 4'', perforarlo con una broca de 1/8''. Este método que surgió a través de la experimentación, funcionó, la tapa de PVC, logró sostener el material filtrante y el material de soporte, además es una pieza que resulta ser económica, como se muestra en la imagen e de la Tabla 28

Antes de realizar cálculos hidráulicos, se llevaron a cabo pruebas de observación en cuanto al escurrimiento y evacuación del agua. Cabe aclarar que el agua que se empleó, fue a partir de una recolección de agua lluvia sin presencia de sólidos suspendidos a simple vista.

El prototipo 7 se descartó ya que el agua asentada en la unión de los dos codos de 90°, la cual contenía el volumen de agua ya filtrado (falso fondo) era muy difícil de evacuar a través del tubo con diámetro de 4 '' que lo precedía, la única forma de evacuar el líquido empleando el tubo con dicho diámetro, era ejerciendo presiones muy altas sobre este. El filtro 6, funcionó en ocasiones, dado que el falso fondo que se empleó a partir de la unión de los codos de PVC, contenía como el prototipo 7, aunque menor cantidad, un gran volumen de agua, el cual para poder ser evacuado se debía ejercer cabezas hidráulicas mayores a 9cm. Se vio innecesario contener un falso fondo que abarcara tanto volumen de agua y a su vez presentara elevados costos en cuanto a los materiales de ensamble como codos y bujes.

En la Tabla 28, se puede observar los pasos que se llevaron a cabo para realizar el ensamble del prototipo 6 y 7

Tabla 28

Proceso de ensamble prototipo 6

Proceso de ensamble prototipo 6		
 <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>	 <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>	 <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>
a. Compra de materia prima	b. Compra de materiales	c. Sistema de drenaje 1
 <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>	 <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>	 <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>
d. Prototipo desarmado	e. Sistema de drenaje 2	f. Ensayos hidráulicos

Fuente: propia

En principio las pérdidas generadas en la unidad de filtración de los prototipos 6 y 7 son las mismas y son mínimas, el problema yacía en el falso fondo o unidad de reserva de agua, por ende, debía que centralizar la atención en realizar un cambio en esta parte de la unidad

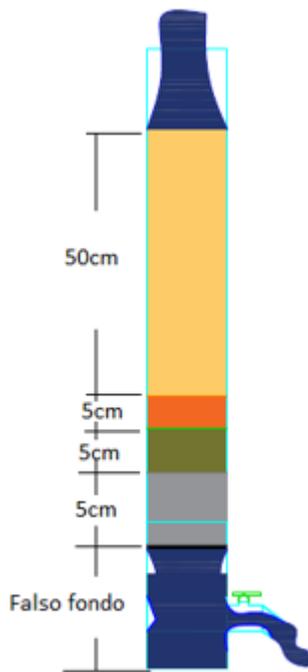
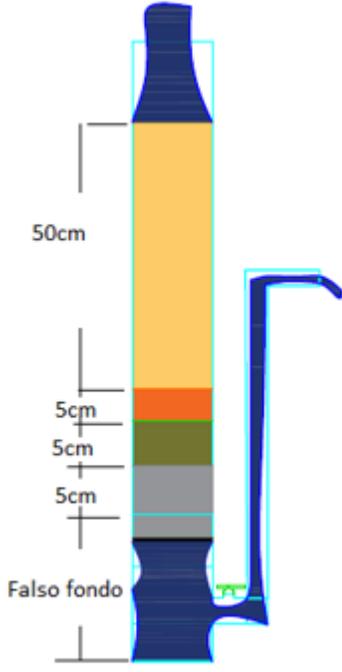
En búsqueda de una solución para el problema del falso fondo, se comenzó a experimentar con piezas de PVC, puesto que es un material económico y duradero. Para esto

se empleó un corte de tubo de PVC de diámetro de 4'', el cual se conectaba perfectamente al sistema de drenaje, en el, se perforó empleando una broca de diámetro ½'', y se ensambló un collarín de ½'', luego se conectó una válvula de control de flujo y se selló con pega para PVC. En la parte inferior se empleó un tapón de PVC de diámetro de 4'', esta nueva unidad reemplazó el falso fondo de los prototipos 6 y 7.

Como se observa en la tabla 29, los prototipo 8 y 9 ocupan mucho menos espacio que las anteriores unidades, necesitan menos material filtrante y material de soporte para ser instalados y es más sencillo su ensamble.

En la Tabla 29, se puede observar la estructura de los prototipos 8 y 9. Estas dos unidades están compuestas por un tubo de ventilación de diámetro de 4'' y una longitud de 90cm, la cual contiene, material de soporte constituido por: una capa de 5 cm de grava gruesa, una capa de 5 cm de grava fina, una capa de arena gruesa de 5cm, y finalmente una capa de arena fina de 50 cm; esto soportado por un sistema de drenaje que se construyó a partir de un tapón de PVC perforado por una broca de diámetro 1/8'', dicho tubo y tapa perforada, conectan a otro tubo de PVC de 4'' perforado en el centro de este con un diámetro de ½'', el cual conecta con un collarín y una válvula de control de flujo; en la parte inferior de la unidad se encuentra un tapón de PVC de 4'' que sostiene el peso de la unidad de filtración y evita la salida de agua.

Tabla 29
Unidades 8 y 9

	Prototipo 8	Prototipo 9
		
Materiales	Costo (\$) Filtro 8	Costo (\$) Filtro 9
Arena fina	7675	7675
Arena gruesa	720	720
Grava fina	690	690
Grava gruesa	720	720
Collarín deriv acue 4''x1/2	15500	15500
Broca espada 1''	10000	10000
Tubo PVC 1/2	4500	4500
Codo PVC 1/2	3000	3000
Llave plástica 1/2''	4800	4800
Tapón plástico 4''	9000	9000
pvc ventilación 4''	16000	16000
Broca 1/16	8000	8000
Bisturí	1900	1900
Encendedor	500	500
Pega	6000	6000

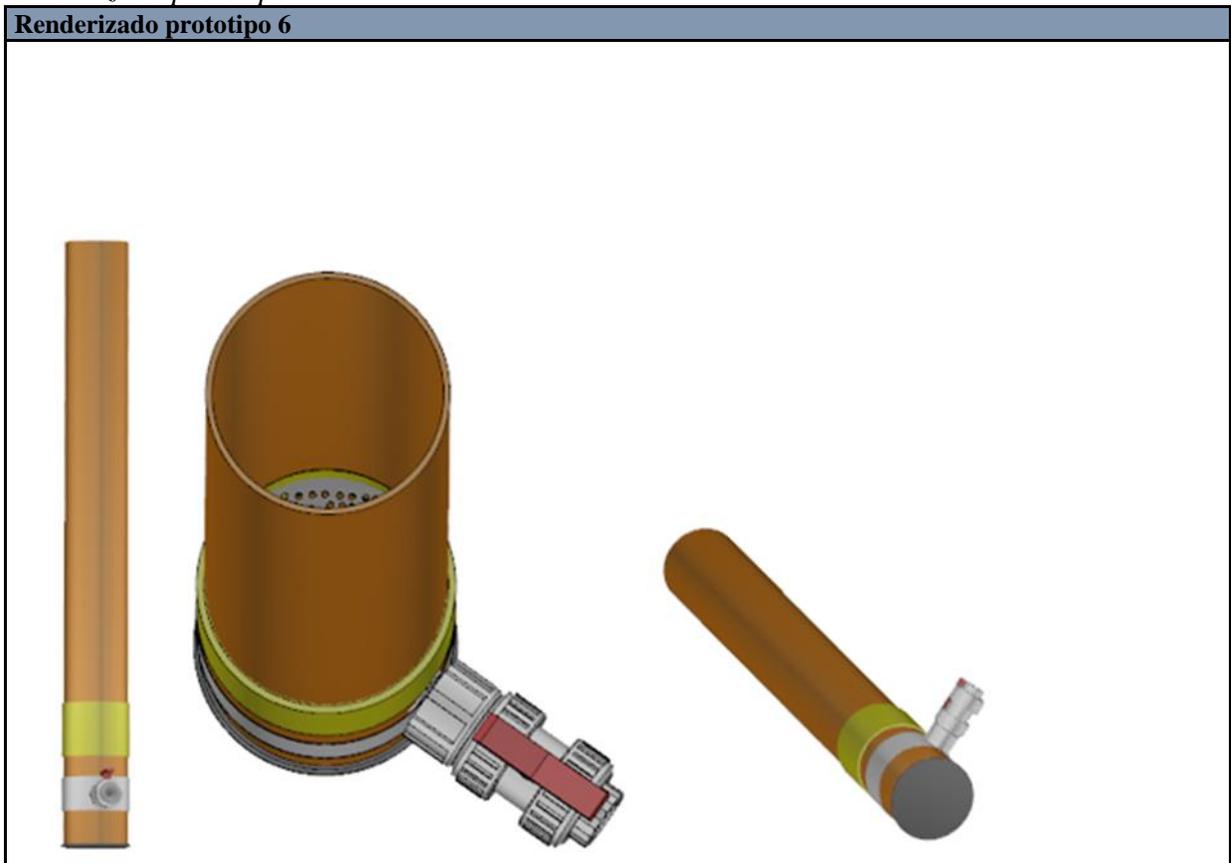
Total \$	89005	89005
-----------------	--------------	--------------

Fuente: propia

Con el fin de responder de manera objetiva a los objetivos planteados, se presenta como ensamble final el prototipo 8. Lo único en lo que varían las unidades 8 y 9, es que el prototipo 9 presenta una conexión más extensa de PVC, lo cual es más cómoda la evacuación del agua para los usuarios, pero no es estéticamente agradable.

Con el fin de evaluar la unidad de filtración, verificar fallas y generar posibles mejoras, se realizaron renders, como se muestra en la Tabla 30, donde se logra observar la forma de la unidad a través de una vista frontal e isométrica

Tabla 30
Renderizado prototipo 6



Fuente: elaboración

Con la intención de que la teoría fuese de la mano con la práctica, a diferencia de los prototipos 6 y 7, los prototipos 8 y 9 se les realizaron algunas evaluaciones como pérdidas en el lecho filtrantes, pérdidas en el material de soporte y el área requerida y su respectiva distribución en el sistema de drenado para evitar pérdidas de energías muy altas y que no haya impedimentos en un buen escurrimiento del agua filtrada

Cálculos hidráulicos

Teniendo en cuenta las ecuaciones ... se realizó el cálculo de la cantidad de orificios que necesitaba el falso fondo (n).

$$\frac{A_{Total\ de\ orificios}}{A_{Unidad\ filtración}} = 0,7$$

Según Pinos Prieto (2006), se debe garantizar una relación de área de orificios/ área de la unidad igual a 0.7%, para evitar grandes pérdidas de energía (Pinos Prieto, 2019).

$$\frac{0,7}{81,07cm^2} = A_{Total\ de\ orificios}$$

$$A_{Total\ de\ orificios} = 56,7cm^2$$

Teniendo en cuenta que se empleó una broca de 1/8'' para cada perforación, el área correspondiente a cada hueco es de 0,079 cm². Obteniendo así el número de orificios.

$$n_{orificios} = \frac{56,7cm^2}{0,079cm^2}$$

$$n_{orificios} = 718\ orificios$$

Dadas las características granulométricas del material filtrante, material de soporte y geometría de la unidad de filtración, se evaluó teóricamente las pérdidas por carga en el lecho

filtrante, empleando la tasa de filtración de un filtro lento y la tasa filtración de un filtro rápido, teniendo en cuenta las ecuaciones 4-9, como se muestra en la Tabla 31 y Tabla 32 respectivamente.

Tabla 31

*Perdidas en el lecho filtrante Empleando tasa de filtración de 7m³/(m²*d)*

Empleando tasa de filtración de 7m ³ /(m ² *d)		Unidades	Medio filtrante arena fina	Soporte arena fina	Soporte grava fina	Soporte grava gruesa
V	velocidad filtración	m/s	8.E-05	8.E-05	8.E-05	8.E-05
K	Coefficiente de permeabilidad	m/s	1.E-05	1.E-04	1.E-03	1.E+00
L	Profundidad del lecho	m	0.50	0.05	0.05	0.05
CD	Coefficiente de arrastre	m	301.96	153.31	57.74	24.75
Ψ	Relación de porosidad del lecho		0.78	0.78	0.78	0.78
d	Diámetro de los granos	m	1.E-03	0.00	0.01	0.01
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²	9.81	9.81	9.81	9.81
NR	Número de Reynolds		0.08	0.16	0.45	1.11
ν	Viscosidad cinemática	m ² /s	1.E-06	1.E-06	1.E-06	1.E-06
ε	Porosidad de la arena	%	0.37	0.45	0.44	0.41
h	Pérdida de carga en el lecho	m	6.E-03	7.E-05	1.E-05	2.E-06
Perdida de carga en la unidad de filtración		m	6.E-03			

Fuente: propia

Tabla 32

*Perdidas en el lecho filtrante Empleando tasa de filtración de 250m³/(m²*d)*

Empleando tasa de filtración de 250m ³ /(m ² *d)		Unidades	Medio filtrante arena fina	Soporte arena fina	Soporte grava fina	Soporte grava gruesa
V	velocidad filtración	m/s	3.E-03	3.E-03	3.E-03	3.E-03
K	Coefficiente de permeabilidad	m/s	1.E-05	1.E-04	1.E-03	1.E+00
L	Profundidad del lecho	m	0.50	0.05	0.05	0.05
CD	Coefficiente de arrastre	m	10.50	5.79	2.62	1.44
Ψ	Relación de porosidad del lecho		0.78	0.78	0.78	0.78
d	Diámetro de los granos	m	1.E-03	2.E-03	6.E-03	1.E-02
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²	9.81	9.81	9.81	9.81
NR	Número de Reynolds		2.86	5.72	15.74	38.64
ν	Viscosidad cinemática	m ² /s	1.E-06	1.E-06	1.E-06	1.E-06
ε	Porosidad de la arena	%	0.37	0.45	0.44	0.41
α/β	Factor de forma		6.20	6.20	6.20	6.20
di	Tamaño geométrico de tamices adyacentes	m	1.E-04	1.E-03	6.E-03	7.E-03

h	Pérdida de carga en el lecho	m	3.E-03	1.E-05	3.E-06	4.E-06
Perdida de carga en la unidad de filtración		m	3.E-03			

Fuente: elaboración propia

Como se observa en la parte inferior de la Tabla 31 y Tabla 32, las pérdidas de carga en la unidad de filtración, teniendo en cuenta las características geométricas de la unidad y granulometría correspondiente a esta, son muy bajas, es decir que el filtro bajo tasas de filtración bajas y altas y empleando agua “limpia”, hidráulicamente es funcional teóricamente.

En el prototipo 8 se realizaron algunos ensayos para verificar el funcionamiento hidráulico. Uno de los ensayos consistía en cerrar la válvula de salida del prototipo, llenar el filtro de agua, hasta obtener una cabeza hidráulica de 6 cm. Posterior a esto se ensayaban varios caudales para verificar el caudal al cual la unidad de filtración se colmataba, como se muestra en la Tabla 33. El filtro se colmataba después de un tiempo utilizando el caudal 3. Con esta observación, el filtro podría trabajar como filtro lento y como filtro rápido teniendo en cuenta las características granulométricas y calibrando el caudal a partir de la válvula de salida, para así cumplir con las tasas de filtración que exige la normativa colombiana. Sin embargo, es necesario realizar ensayos con las tasas de filtración que se desee y emplear agua de la comunidad o con características similares, para verificar el tiempo de colmatación de la unidad.

Tabla 33

Ensayos hidráulicos para el prototipo 8

Q1 (L/s)	Q2(L/s)	Q3(L/s)	Q4(L/s)
7	9.11	10.6	4.6
6.7	8.71	9.65	5.6
7.21	9.06	10.7	5
6.5	9.18	10.45	4.95

Fuente: propia

Debido a que en el sector de Carpinelo II, el agua que llega a las casas presenta diferentes presiones y a su vez diferentes caudales, el filtro debe trabajar por lotes, dado que, si se empleara un flujo continuo, se debería pensar en una unidad extra que controle la presión del flujo y el caudal, ya que este varía a diferentes horas del día.

Teniendo en cuenta que no se tenía los equipos necesarios para evaluar remoción de contaminantes, se realizó ensayos con tasas de filtración de $7,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ y $250 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, controlando este parámetro a través de la válvula de salida.

Pruebas con anilina vegetal

Con el fin de evaluar el tiempo de residencia de las partículas en la unidad de filtración, se empleó como elemento trazador, anilina vegetal violeta, cabe resaltar que el filtro puede funcionar de forma intermitente y empleando tasas de filtración bajas y altas, empleando una válvula de salida para controlar este parámetro

El 23 de Julio del presente año, se realizó ante los asesores del trabajo grado, la evolución de los prototipos como se muestra en la Tabla 34, el ensamble del prototipo 8 y las pruebas hidráulicas que se realizaron. En esta reunión se dejó como prototipo final el filtro 8, ya que cumple con las condiciones y características que desde un principio se plantearon:

- Materiales resistentes y duraderos
- Materiales de fácil acceso
- Economía
- Fácil ensamble

Tabla 34

Presentación prototipo 23 julio

Presentación prototipo 23 julio	
 <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>	 <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>
a. Presentación	b. Prototipo final
 <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>	 <p><i>Imagen tomada por Juan David Escobar</i></p>
c. Últimos prototipos	d. Materiales y costos

Fuente: elaboración propia

En reuniones posteriores a la que se realizó el 23 de julio, se deja claro que se cumplió con los objetivos planteados en la propuesta del trabajo e grado y se recomienda después de hacer ensayos físicos, químicos y microbiológicos a la unidad de filtración, para evaluar la eficiencia de remoción de las características del agua que presenta la comunidad de Carpinelo

II, una unidad de desinfección, ya que, ya que los autores mencionados en el presente trabajo, concluyen que la filtración en arena aunque puede ser altamente eficiente, sin embargo necesita un tratamiento posterior de desinfección para garantizar agua segura.

Conclusiones

Debido a las condiciones sociales y económicas del sector Carpinelo II, se realizó una extensa revisión bibliográfica, la cual ayudó a la elección de la alternativa de filtración más adecuada. Se estructuraron 9 prototipos que empleaban elementos de económicos y de fácil acceso, de los cuales se realizaron 4 ensambles a partir de la teoría y experimentación.

Los filtros intermitentes, de flujo descendente, que emplean material filtrante, arena fina, pueden ser una alternativa viable y económica que responde hidráulica y teóricamente a la problemática de deficiencia de agua potable del barrio Carpinelo II; sin embargo, los diseños teóricos, deben de ir de la mano con la práctica, ya que en esta es donde el ingeniero se enfrenta a los problemas constructivos, fallas y debe buscar soluciones prácticas que ayuden a reparar, mejorar o reconstruir dichas unidades de filtración.

Hidráulicamente, la unidad de filtración responde teórica y prácticamente a las tasas de filtración de agua potable que exige la normativa de agua potable RAS 2000, título C, $120-360\text{m}^3/(\text{m}^2*\text{d})$ y $7-14\text{ m}^3/(\text{m}^2*\text{d})$, es decir que el filtro puede trabajar bajo tasas de filtración rápidas y lentas, siempre y cuando se emplee la válvula de salida de dicha unidad calibrada.

La unidad de filtración, requiere de ensayos físico químicos y microbiológicos, para evaluar su eficiencia, ya que, por motivos de seguridad debido a la pandemia, la entrada a la Universidad y a los laboratorios limitó la evaluación de los parámetros de calidad del agua.

Dado que la unidad de filtración, responda a los parámetros físico-químicos y microbiológicos que exige la normatividad 2115 del 2007, se recomienda emplear un método de desinfección que garantice la seguridad del agua tratada

Bibliografía

- Aguamarket. (2021). Obtenido de <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=5564>
- Alcaldía de Medellín. (2014). *Planes de Desarrollo Local/ Comuna 1*. Medellín .
- ALFA LAVAL. (2015). *alfalaval*. Obtenido de www.alfalaval.es
- Avila Bareño, I., & Moreno Figueroa, M. (2016). *DISEÑO, PROPUESTA E IMPLEMENTACION DE UN FILTRO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE USO DOMÉSTICO EN TANQUES DE RESERVA EN LA POBLACION DEL CASCO URBANO DE LA INSPECCIÓN DE SAN ANTONIO DE ANAPOIMA*. Bogotá: UNIVERSIDAD LIBRE.
- Botero, M. (2021). *GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAD DE FILTRACIÓN DEL AGUA PARA EL ABASTECIMIENTO DOMÉSTICO*. Medellín.
- Bruni , M. (2020). *SSWM*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/>
- Cabezas Sánchez, C. (2018). Infectious diseases related to water in Peru. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(2).
- Calvo Vélez, S. (2021). *Fabricación de una membrana ceámica plana con materias primas de yacimientos Colombianos para purificación de agua cruda*. Medellín.
- Campo, M., & Tobar, C. (2011). *EVALUACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE CLORURO FÉRRICO PARA EL TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA AFLUENTE A LA PTARCAÑAVERALEJO*. Santiago de Cali: Universidad dek Valle.
- Carbotecnia. (2020). *¿Qué son los medios granulares?* Obtenido de Carbotecnia: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtros-de-lecho-profundo>
- Carbotecnia. (2021). *carbotecnia*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info>

- Cardona, A. C. (06 de 10 de 2010). Obtenido de Elmundo:
<https://www.elmundo.com/portal/pagina.gene%20ral.impresion.php?idx=%201%206%201%20515>
- Catarina. (2020). *Catarina.udlap*. Obtenido de
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo3.pdf
- CB, M. (2004). *Marine Microbiology:ecology and applications*. *BIOS Scientific Publisher*.
- Cebrián , J. (2021). *Moringa, el árbol milagro*. Obtenido de
<https://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/plantas-medicinales/que-es-la-moringa-y-principios-activos>
- Conant, J. (2005). *Agua para vivir Cómo proteger el agua comunitaria*. USA: Fundación Hesperian.
- Cristian Ávila Jiménez. (22 de 03 de 2015). ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia? *el colombiano*.
- Crittenden, J., & Trussell, R. (2012). *Water Treatment: Principles and Design, Third Edition: Principles and Design*. Georgia: MWH.
- Crittenden, J., Trussell, R., Hand, D. W., Howe, K., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design, Third Edition: Principles and Design, Third Edition*. Georgia: John Wiley & Sons, Inc.
- Cruz Roja. (2008). *Sistemas domésticos de tratamiento y almacenamiento de agua en situaciones de emergencia*. Chile.
- DANE. (08 de 08 de 2019). *DANE*. Obtenido de
<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/080819-CNPV-presentacion-RegionCaribe.pdf>
- De Vargas. (2005). *Plantas de filtración rápida Manual IV: Operación, mantenimiento y control de calidad*. Lima: Organización panamericana de la salud.
- De Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. Lima: Organización panamericana de la salud.
- Distriambiente S.A.S . (2021). *distriambiente*. Obtenido de
<https://distriambiente.com/categoria-producto/equipos-para-tratamiento-de-agua/filtros-de-carbon-activado/>
- Dorothee, M. (2020). *swwm*. Obtenido de Filtración rápida de arena:
<https://swwm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/filtraci%C3%B3n-r%C3%A1pida-de-arena>
- EPA. (1989). *Technology for Upgrading Existing or Designing New Drinking Water Treatment Facilities* . Cincinnati : Center for Environmental Research Information.

- EPA. (1998). *Small System Compliance Technology List for the Surface Water Treatment Rule and Total Coliform Rule*. United States: Environmental Protection Agency.
- FAO. (2011). Examen de la Escherichia coli como patógeno. *EMPRES*, 1-8.
- GIGA. (2019). *Informe de calidad de agua para consumo humano en el sector Carpinelo. Comuna 1*. Medellín.
- Grisales Penagos, D. K. (2010). *SISTEMAS NO CONVENCIONALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES PARA COMUNIDADES DE DESPLAZADOS EN ESTADO DE EMERGENCIA (CASO VILLA CLARÍN)*. Bogotá D.C: Universidad Militar Nueva Granada.
- Higiene Ambiental. (2021). *higieneambiental*. Obtenido de <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad>
- Iagua. (2021). *¿Qué es la ultrafiltración?* Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-ultrafiltracion>
- IDEAM. (16 de Junio de 2000). *Programa de Meteorología Aeronáutica*. Obtenido de <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/tablas.htm>
- INSST. (2018). Ficha técnica. *Unternational Labour Organization*.
- Institutoaguaysalud. (2021). *institutoaguaysalud*. Obtenido de <http://institutoaguaysalud.es/informes-y-estudios/>
- Jacangelo, J., Laine, J., Cummings, E., Mallevalle, J., & Wiesner, M. (1994). *Evaluation of uUltrafiltration membrane pretreatment and nanofiltration of sursace water*. united states: American Water Works Association .
- Jover, I. (2014). *gestiopolis*. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/metodologia-para-la-solucion-de-problemas-y-proyectos-de-mejora-empresarial/>
- Keiken engineering. (2015). *Keiken engineering*. Obtenido de <https://www.keiken-engineering.com/filter-media/>
- Kotler, & Philip. (2006). Dirección de marketing. 8-9.
- Leal Ascencio, M. T. (2008). 4 Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones. *SOLAR SAFE WATER*, 63-72.
- Leal, M., Bandala, E., Gelover, S., & Pérez, S. (1999). *Trihalometanos en agua para consumo humano*. México.
- LENNTECH. (2021). *LENNTECH*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/>
- Martinez, M., & Osorio, A. (2018). VALIDACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE COLOR REAL EN AGUA. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 7(1), 143-155.

- MENDOZA RONCANCIO, G., PINILLA, F., & MARTINEZ, F. (1989). *Evaluación de filtros de arena y de malla para riego por goteo*. Bogota.
- Ministerio de transporte, I. n. (2013). *Normas de ensayo para carreteras (E-102)*. Bogotá: chupameesta.
- Mulley, & Raymond. (2004). *Flow of Industrial Fluids: Theory and Equations*. 43-44.
- Nadia Cristina Chulluncy Camacho. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 153-170.
- OMS. (1995). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- ONU. (2015). *un.org*. Obtenido de 17 objetivos para transformar nuestro mundo: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- OOMEN, J. V. (1978). *Filtración lenta en arena para abastecimiento público de agua en países en desarrollo*. . PAISES BAJOS: CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIASANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE.
- Orellana , J. (2005). *CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE* (Vol. 3).
- Pérez Carrión, J., & Cánepa de vargas, L. (1992). *MANUAL II DISEÑO - FILTRACIÓN LENTA*. Organización Panamericana de la Salud.
- Pinos Prieto, E. (2019). *EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE ORIFICIO TIPO RANURA PARA SISTEMA DE DRENAJE EN FILTROS RÁPIDOS-ANÁLISIS EXPERIMENTAL* . Quito.
- POGGi. (2017). *POGGi*. Obtenido de <https://www.poggi-spa.com/es/decantadores/dinamicos/>
- PureWater SAS. (2019). *purewater*. Obtenido de <https://purewater.com.co/>
- Ram, N., Christman, R., & Cantor, K. (1990). *Significance and treatment of volatile organic compounds in water supplie*. USA: Lewis Publishers.
- Reyes M, & R. (2009). EFECTO DE LAS CARGAS HIDRÁULICA Y ORGÁNICA SOBRE LA REMOCIÓN. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 101-109.
- Rodriguez, D. C. (2016). *Turbiedad y Color en las aguas*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=_R3kUO5zC50
- Salas Salvadó, J., Maraver, F., Rodríguez Maña, L., Sáenz de Pipaon, M., Vitoria, I., & Moreno, L. (2021). Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual. *Nutrición Hospitalaria*, 37(5).

- Saldaña Marín, A. (2019). *CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD Y EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DADO AL AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE CELENDÍN CAJAMARCA*. Cajamarca.
- Salud, O. M. (2006). *Guías para la calidad*. Suiza.
- Solsano, F., & Méndez, J. P. (2002). *Desinfección del agua*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.
- Tinoco Rivera, J. (2019). *NIVELES DE CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN LA CIUDAD DE CALI EN EL AÑO 2019*. Cali: UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI.
- Torres, C., & Villanueva, S. (2014). *Manual para el armado, instalación y monitoreo*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- UNICEF. (18 de 06 de 2019). *UNICEF*. Obtenido de Un nuevo informe sobre las desigualdades en el acceso a agua, saneamiento e higiene también revela que en más de la mitad del mundo no hay acceso a servicios seguros de saneamiento: <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potable>
- universal, E. (08 de 04 de 2011). Colombia: uno de los más ricos en recurso hídrico. *El universal*, pág. 1.
- Universidad de Antioquia. (2016). *Informe final plan comunal de la comuna 1*. Medellín.
- Universidad distrital. (2012). Obtenido de www.atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap5
- Vives De Andrés, J. B. (2012). *Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia*. Santa Marta: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Zúñiga Carrasco, I. R., & Samperio Morales, H. (2019). Importancia de la cloración del agua: sitios de abastecimiento con presencia. 1-7.
- Zuñiga, J. M. (2009). *CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN GRANULAR A PRESIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO EN SITUACIONES DE EMERGENCIA*. Bogota: Universidad de los Andes.

