

**LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR  
UTILIZANDO FLOCULADORES DE MEDIO POROSO**

**Eder Yesid Caicedo Solano  
Iván David Pacheco Londoño**

**Programa de ingeniería civil  
Departamento de ingeniería ambiental, civil y química  
Facultad de ingenierías y arquitectura**



**Universidad de Pamplona  
Pamplona, julio 10 de 2021**

**LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR  
UTILIZANDO FLOCULADORES DE MEDIO POROSO**

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director:**

**Julio Isaac Maldonado M.**

**Programa de Ingeniería Civil  
Departamento de Ingeniería Ambiental, Civil y Química  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura  
Universidad de Pamplona  
Pamplona, julio 10 De 2021**

## **Agradecimientos**

Ante todo, damos gracias a Dios por darnos la vida y llegar donde estamos hoy en día, a nuestros padres, los señores Enith y Hermes Rangel y a los señores Yaneth y Alonso Pacheco, quienes siempre nos han apoyado en nuestro andar.

A cada uno de nuestros familiares y amigos, quienes contribuyeron en nuestro crecimiento personal y espiritual, a todos y cada uno de nuestros profesores y compañeros que nos han acompañado en la vida universitaria, y finalmente a nuestra hermosa alma mater, la Universidad de Pamplona, por darnos la formación ética y profesional.

## Glosario

**Cortocircuito:** Se define como aquella parte de flujo que tiene una velocidad infinita y un tiempo de retención igual a cero.

**Flóculo:** Pequeña masa gelatinosa que se forma en un líquido por haberse agregado coagulantes. Es el transporte de las partículas suspendidas dentro del líquido.

**Gradiente de velocidad (G):** Es una de las variables más importantes el proceso de floculación y en la prueba de jarras, indica la intensidad de agitación que se le da a una masa de agua, para iniciar el proceso formación a los flóculos. El G está expresado en unidades de gradiente de velocidad y su adimensional es ( $s^{-1}$ ).

**Movimiento Browniano:** Describe el movimiento constante e irregular de las partículas suspendidas en el solvente. La teoría cinética explica este movimiento desordenado de la siguiente manera: Las partículas en suspensión son bombardeadas por el movimiento permanente y desordenado de las moléculas del solvente. Dicho movimiento se intensifica por causa del calor, es decir que al aumentar la temperatura de suspensión aumenta el movimiento browniano.

**Prueba de jarras:** Es una prueba de laboratorio que simula las condiciones en las cuales coagula el agua en la planta de tratamiento. Se usa para determinar las cantidades óptimas de coagulante que se deben emplear para lograr la coagulación más eficiente.

**Reactor:** Se le denomina así a la unidad o elemento donde se efectúa un proceso de tratamiento de agua. Por ejemplo: un floculador, un sedimentador, un tanque y otros.

**Sedimentador:** Unidad encargada del proceso de asentamiento y depósito de la materia suspendida (flóculos), en el agua por la fuerza de la gravedad.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	9
Capítulo I. Generalidades.....	11
1.1.    Planteamiento y Justificación .....	11
1.2.1.    Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos.....	13
Capítulo II. Marcos de Referencias .....	14
2.1. Marco Teórico .....	14
2.1.1. Naturaleza del Agua a Tratar. ....	14
2.1.2. Importancia de la Coagulación.....	14
2.1.3. Proceso de Floculación.....	15
2.1.5. Tipos de Floculadores .....	15
2.2. Marco Legal .....	17
Capítulo III. Metodología .....	18
3.1. Tipo de estudio .....	18
3.2. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	19
3.2.2. Método para la revisión sistemática .....	19
Capítulo IV. Estado del arte.....	22
4.1. Documentos incorporados al estado del arte.....	22
Capítulo V. Novedades en la floculación en medio porosos. ....	27
5.1. Parámetros característicos de la floculación .....	27
Capítulo VI. Variables y Elementos de Interés en la Floculación en Medio Poroso.....	35
Capítulo VII. Comparación técnica de los diferentes procesos de floculación convencional versus floculación en medio poroso y nuevos procesos. ....	39
7.1. Tipos de Floculadores .....	39
7.2. Floculadores de medio poroso.....	41

7.2.2. <i>Floculación en medio poroso con lecho de grava</i> .....	42
Capítulo VIII. <i>Discusión</i> .....	49
Conclusiones .....	53
Referencias Bibliográficas .....	56

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características de los materiales utilizados en los floculadores	19
Tabla 2. Clasificación de floculadores	34
Tabla 3. Proceso de cálculo de un floculador en medio poroso	39
Tabla 4. Marco legal general para el tratamiento de aguas	40
Tabla 4. Análisis comparativo de floculadores convencionales Vs floculadores de medio poroso	43

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Modelo de Cálculo definitivo para el diseño del floculador-sedimentador por medio de programa Capla.	16
Figura 2. Flujograma de trabajo experimental	20
Figura 3. Sistema piloto	21
Figura 4. Sedimentador con panel lameral.	25
Figura 5. Métodos de tratamiento del agua según su calidad	24
Figura 6. Floculadores de contacto sólido	35
Figura 7. Esquema de un floculador de medio poroso	38
Figura 8. Influencia del periodo de retención en la eficiencia de la floculación	41

## **Introducción**

La producción de agua potable a partir de una fuente de aprovisionamiento de agua contaminada por sustancias introducidas naturalmente o como resultado de las actividades del hombre, implica la realización de uno o una serie de procesos u operaciones unitarias. Desde el punto de vista del tratamiento del agua, una operación unitaria es un proceso químico, físico o biológico, mediante el cual las sustancias no deseadas contenidas en las aguas no tratadas, se separan y/o se transforman en sustancias aceptables (Pérez, 1981).

La mayoría de los procesos de potabilización originan cambios en la concentración de una sustancia en específico, esto se logra gracias al proceso de desplazamiento de esta de una fase a otra (por ejemplo, la oxigenación que lo que busca es la introducción de oxígeno de la fase gaseosa a la líquida); con la realización de estos procesos se logra que el recurso hídrico pueda ser consumido por el ser humano y al mismo tiempo ser útil para las distintas actividades antrópicas.

Si bien, existen procesos convencionales para la potabilización del agua, es importante reconocer que cada proceso es útil o eficiente dependiendo de las características y composición del agua a tratar y los parámetros de diseño bajo los cuales se establece el proceso unitario. Ante esta situación condicionante, las tecnologías para el tratamiento de agua han ido evolucionando y transformando los diferentes métodos y procesos aplicados al tratamiento, en aras de garantizar la máxima eficiencia de remoción de los agentes contaminantes del agua, teniendo siempre como regla de oro el costo operacional, la eficiencia del proceso, el caudal de tratamiento, la compatibilidad con los demás procesos entre otros.

El desarrollo de esta monografía busca realizar una Investigación Documental detallada del proceso de floculación en medio poroso, destacando y extrayendo de los documentos revisados, los aspectos más importantes sus características, los principales componentes dentro del

tratamiento, parámetros de relevancia, novedades condiciones de operación y las principales ventajas comparativas con relación a los sistemas convencionales y con toda la nueva información, se obtendrá el insumo teórico práctico del Documento que muestre estos desarrollos académicos, con miras a perfeccionar este proceso adicionando elementos innovadores y tecnologías apropiadas que le brinden el máximo nivel de aprovechamiento a los recursos del entorno para generar las alternativas de potabilización requeridas.

## Capítulo I. Generalidades

### 1.1. Planteamiento y Justificación

En un mundo caracterizado por rápidos y complejos cambios, resulta cada vez más complicado al proceso general del tratamiento del agua. Dado que el agua es junto al aire y la tierra, uno de los pilares para el desarrollo humano, resulta muy importante que la tecnología, la investigación y la ciencia presten servicios a la humanidad enfocados al desarrollo de diversas estrategias para seguir accediendo a ella de manera óptima, constante y segura.

Los datos importantes que nos permiten contextualizar la situación de la humanidad en torno al recurso hídrico (agua dulce) son los presentados por (Banco Mundial , 2019) donde resaltan lo siguiente:

Cerca de 1/3 de las personas en el planeta no tienen acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura, más de la mitad de las personas carecen de un servicio de saneamiento básico y cerca de la mitad no gozan de instalaciones básicas para el lavado de manos.

Ahora bien, para que exista un mayor acceso al agua potable, se requiere de procesos eficientes sometidos a evaluación y mejora continua, según sus criterios de diseño, características del agua captada y los diversos factores externos que hacen parte integral del proceso de potabilización.

Dentro de las etapas de tratamiento de aguas para abastecimiento, la floculación es una de las más importantes. La floculación tiene por finalidad aumentar el tamaño de las partículas en suspensión que se encuentran en el agua y luego ser dirigida a los decantadores, flotadores, sedimentadores o filtros, esto aplica tanto para tratamiento de aguas como para efluentes industriales y domésticos. Flocs bien formados indican que las etapas anteriores al tratamiento, como la mezcla rápida acompañada de la coagulación, fueron hechas con éxito. Indican también

la posibilidad de una elevada eficiencia en las etapas subsiguientes del tratamiento, responsables de la remoción de material en suspensión.

Los sistemas de tratamiento convencionales, a pesar de su evolución en el diseño de unidades como los decantadores y filtros, presentan costos de instalación, operación y mantenimiento relativamente altos, comparados a los sistemas no convencionales, pero son más adecuados en tratamiento de aguas con alto nivel de materia orgánica, sólidos y variaciones de estas u otras características (Dalssaso, 2005).

Este estudio de revisión bibliográfica ha permitido recopilar y contextualizar diferentes estudios teóricos y aplicados enmarcados en el proceso de coagulación – floculación utilizando material poroso de soporte y documentarlo con los nuevos avances. La consulta de este documento le brindará al lector una mirada reflexiva, crítica y profunda sobre la temática principal, y podrá servir de sustento teórico que permita enriquecer el escenario del estudio de los principales procesos de tratamiento de aguas en el área de la ingeniería civil y sanitaria.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Revisar bibliográficamente las técnicas para la remoción de turbiedad y color por medio de floculadores de medio poroso.

#### **Objetivos Específicos**

- Realizar la investigación documental relacionada con las novedades inherentes a la floculación en medio porosos.
- Determinar las variables de interés y elementos a la floculación en medio poroso.
- Efectuar comparación técnica entre los diferentes procesos de floculación convencional versus floculación en medio poroso y nuevos procesos
- Realizar discusión argumentada que permita generar conclusiones objetivas de la revisión bibliográfica.

## **Capítulo II. Marcos de Referencias**

### **2.1. Marco Teórico**

Normalmente, la floculación es un proceso químico que se da simultáneamente con la coagulación y no se pueden desligar de la naturaleza del agua, de allí la importancia en proceso en la formación de los flócs.

#### **2.1.1. Naturaleza del Agua a Tratar.**

Según las Características físico-químicas del agua no tratada, tales como el pH, la turbiedad y la alcalinidad en el agua pueden afectar en el equilibrio físico-químico de su medio, en la formación de enlaces poliméricos de los hidróxidos que se construyen en la interacción de estas partículas coloidales, lo que afectará el tiempo de floculación. (Rojas & Torrado, 2007, pág. 13).

Cuando existe un análisis físico químico bien desarrollado, se pueden tener las consideraciones necesarias para que el proceso de floculación se realice de forma apropiada. Estos análisis deben realizarse en distintas estaciones, con flujo alto y bajo del cuerpo hídrico, evaluando los parámetros de importancia que permitan tomar decisiones acertadas.

#### **2.1.2. Importancia de la Coagulación**

La Coagulación depende de varios factores que sumados determinan el éxito del tratamiento.

Estos factores se pueden ver a continuación:

- a. Tipo y dosis de coagulantes definidos experimentalmente mediante el ensayo de jarras.
- b. Factores del agua, tales como: Turbiedad, concentración de coloides, pH, color o concentración de sustancias orgánicas en el agua
- c. Intensidad y tiempo de mezcla del coagulante
- d. Permanencia de núcleos.

Debe ser importante precisar que el proceso de floculación no será del todo eficiente, si la coagulación previa no es realizada con éxito, porque lo que puede resultar es una floculación deficiente, un diseño que no cumple con las expectativas y pérdidas económicas que implicarán reajustes operacionales.

### **2.1.3. Proceso de Floculación**

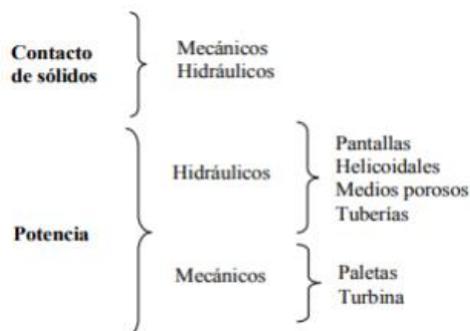
La floculación se analiza como un proceso producido por la colisión entre partículas. Implica, secuencialmente, tres instrumentos de traslado: 1) Floculación browniana. Se debe a la energía térmica del fluido. 2) Gradiente de velocidad. Se forma en la masa del fluido en movimiento. 3) Sedimentación diferencial. Constituye a los fragmentos grandes, que al precipitar chocan con las de menor tamaño. (Vargas, 2014).

A medida que el coagulante se dispersa en el cuerpo de agua y las partículas se desestabilizan, se requiere una floculación browniana para que las partículas coloidales micrométricas comiencen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microfloc inicial. Solo cuando alcanza el tamaño de un micrómetro comienza a actuar el gradiente de velocidad, promoviendo más incremento de las microflocúlas. También sea estudiado este proceso en ambientes con temperaturas cercanas a los 0°C donde no tiene eficacia el gradiente de velocidad (Vargas, 2014)

### **2.1.5. Tipos de Floculadores**

Los floculadores se pueden clasificarse en hidráulicos, mecánicos e hidromecánicos. Se destaca También existen dos tipos de floculadores experimentales; los de piedras y los de mallas (Gómez & Jiménez, 2017, pág. 33).

Ilustración 1. Clasificación de floculadores



**Floculadores Hidráulicos:** Aquellos que necesitan energía hidráulica disponible a través de una pérdida de carga; Se encuentran dos tipos de floculadores que emplean pantallas, de flujo horizontal y de flujo vertical, flujo que se opta por medio del caudal a utilizar. (Garzon & Matinez, 2018), entre ellos se tienen:

- **Floculadores de Pantallas:** Estos floculadores hidráulicos son más utilizados, donde los de pantallas manejan el flujo horizontal o de flujo vertical. En los primeros, el agua circula con un movimiento de zigzag y en los segundos, el flujo es alternado entre ascendente y descendente, girando abajo o arriba de las pantallas. La caída de presión total es la suma de dos parciales. El primero, menos importante, por fricción en el canal; y el segundo, el principal, por cambios de rumbo. Las pérdidas totales tienen un efecto directo sobre el gradiente que se induce en cada compartimento.
- **Floculador Alabama:** Es un floculador ascendente y descendente, con un número mínimo de 8 cámaras el cual genera el gradiente del compartimento en los accesorios del mismo, que depende de la velocidad en el codo, niple y una platina de orificio para regular el gradiente de velocidad, que determinan las pérdidas hidráulicas.
- **Floculador Flujo Helicoidal:** es una estructura de varios compartimientos de flujo helicoidal, alternados ascendente y descendente donde el gradiente depende de la velocidad del

flujo en al orificio sumergido (rectangular o cuadrado) que determinan las pérdidas hidráulicas en función de la velocidad que incide de manera directa en el gradiente del compartimiento.

➤ **Floculadores de Medios Porosos**

El agua flocula transcurre por los poros del material granular, estos a su vez tienen como objetivo convertirse en diminutos espacios casi infinitos de cámaras o compartimientos, lo que demuestra su gran resultado, acorde con lo planteado de Harris y Kaufman, (2000), con carreras de filtración más extensas. (Dalsasso, 2005)

**2.2. Marco Legal**

Tabla 1. Normativa legal general para el tratamiento de aguas

Documento	Entidad	Objeto
RESOLUCIÓN 844 DEL 8 DE NOVIEMBRE DEL 2018 – RAS RURAL	MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	Por el cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento Básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del título 7, de la parte 3, del libro 2 del decreto 1077 de 2015". Publicada en el diario oficial 50.784 del 21 de noviembre del 2018
RESOLUCIÓN 330 DE 08 DE JUNIO DE 2017 – Nuevo RAS	MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento básico – RAS. Reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Deroga las resoluciones 1096 de 2000, 424 de 2001, 668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.
RESOLUCIÓN NÚMERO (2115) 22 DE JUNIO DE 2007 DIARIO OFICIAL NO. 46.679 DE 4 DE JULIO DE 2007	MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL - MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
RESOLUCIÓN NUMERO 0631 17 DE MARZO DE 2015	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones

Fuente: Assesort-wt: <https://www.assessorwt.com/herramientas/marco-legal>

## **Capítulo III. Metodología**

Aquí se describe la metodología utilizada para realizar esta investigación documental basada en revisión de documentos reunidos, seleccionados y analizar, que termina en un reporte escrito final sobre el tema principal del trabajo, que sintetizara el conocimiento actualizado consultado y que se desea entregar a la sociedad inserta en el mundo de la investigación, para que puedan dar el uso social, técnico y ambiental requerido.

### **3.1. Tipo de estudio**

El presente estudio es un análisis documental o investigación documental, basada en una selección y análisis de documentos producidos por investigadores, para estudiar avances de los procesos para remover turbiedad y color, utilizando floculadores de medio porosos.

Este proceso investigativo permitirá recuperar y reconstruir los avances cognitivos, teóricos y metodológicos sobre la remoción de turbiedad y color utilizando floculadores de medio poroso.

La revisión documental es una técnica de recolección de datos de carácter cualitativa y el objeto de un estudio documental es la producción sistemática de conocimiento a partir de la investigación previa. Desde esta metodología, la realidad se entiende como un texto o un hecho comunicativo que requiere ser descifrado en sus sentidos, significados e intencionalidades (Valenzuela y Cifuentes, 2004).

El análisis documental se realizara revisando de manera concisa con los objetivos expuestos, se buscaran para esto documentos relacionados con este método de floculación utilizando palabras claves, donde se pueda revisar la utilidad del método en medios porosos, las variables que se presentan en los distintos tipos de floculación en medios porosos, el proceso que se lleva

a cabo para esta actividad, las novedades que se observan durante los estudios relacionados con el tema y por ultimo los beneficios y desventajas de los mismos.

### **3.2. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

Teniendo en cuenta que la investigación será netamente cualitativa se diseñaran métodos de recolección de datos para el diagnóstico que no impliquen tabulación y cuantificación numérica de los datos; Hernández, Fernández y Baptista (2003): “En las investigaciones cualitativas se traza un plan de acción en el campo para recolectar información, y se concibe una estrategia de acercamiento al fenómeno, evento, comunidad o situación particular” (p.184).

Se utilizará en esta investigación documental una recogida de referencias bibliográficas mediante una técnica llamada revisión sistemática, la cual simplemente se basara en la búsqueda de palabras mediante buscadores como Google y se conectaran las bases de datos de ingeniería donde se encontrara información del tema “procesos para remover turbiedad y color, utilizando floculadores de medio porosos”.

#### **3.2.2. Método para la revisión sistemática**

Para realizar la recolección de datos es necesario obtener la mayor información posible con respecto a documentos sobre el tema para esto se ha llevado una secuencia y un proceso para llegar a una teorización del tema.

Primera Etapa: Estudios por palabras claves

Para la revisión sistemática de la literatura científica. Se extraen una cantidad de estudios amplio con los objetivos a tratar; por lo que queda un número más pequeño de estudios.

Entre los estudios escogidos en un principio se tiene en cuenta que no estén repetidos, que la información presentada realice aportes novedosos al tema y específicamente a los estándares que

se revisan y la fuente confiable, es decir que la base de datos tenga experiencia en el ramo, sus autores tengan estudios innovadores y con fechas desde el año 2010 en adelante.

Entre los escogidos se realiza nuevamente el análisis se descartan los que investigan la parte química o biológica y no de procesos y técnicas.

Se escogen los países en los cuales se tendrá una mayor cantidad de aportes para el análisis comparado.

### **Bases de datos**

Revisión sistemática de artículos primarios publicados en español en revistas científicas en bases de datos como: GOOGLE, COLCIENCIAS PUBLINDEX, SCIELO, REDALYC, Tesis Latinoamericanas.info, Dialnet sobre procesos para remover turbiedad y color, utilizando floculadores de medio porosos, en base de datos relacionadas con ingeniería.

La búsqueda se realizó en bases de datos bibliográficas que abarcaran revistas electrónicas en ingenierías: GOOGLE, COLCIENCIAS PUBLINDEX, SCIELO, REDALYC, DOAJ.ORG, OATD.ORG. Fuente académica premier Universidades, Institutos de ingeniería, Tesis Latinoamericanas.info, DialNet . y las librerías de universidades oficiales como la Universidad de Antioquia, Universidad Nacional y otras.

### **Palabras claves**

Las palabras claves se seleccionan mediante una búsqueda previa en los buscadores; palabras como: Floculadores, técnicas, métodos de tratamiento de aguas.

En la búsqueda inicial no se toma en cuenta la cobertura geográfica (nacional o regional) para evitar el efecto que introduciría la presencia de estados nacionales o internacionales, y porque este va a ser uno de los términos utilizados como criterio de inclusión.

### **Criterios de inclusión:**

- Tipo de investigación: estudios primarios
- Idioma: español.
- Fechas de publicación: entre 2005 a 2021
- Alcance: estudios referidos a países como Colombia, Venezuela, Cuba, Chile, Perú, Bolivia

Ecuador y España, Europa

- Población: Tratamiento de agua – Métodos Floculación
- Intervención: Técnicas para la remoción de turbiedad y color utilizando floculadores de medio poroso.

Resultados: Técnicas para la remoción de turbiedad y color utilizando floculadores de medio poroso

Segunda Etapa: Descarte de investigaciones en creación

En esta etapa se descartan algunos estudios teniendo en cuenta, el lenguaje; la aportabilidad al estudio específico, parte médica, estudios que no han terminado.

### **Criterios de exclusión**

Otros sectores distintos a la ingeniería

Áreas diferentes a lo relacionado con tratamiento de aguas

Investigaciones después del 2005

Tercera Etapa: Selección y recuperación de los estudios escogidos, fichas bibliográficas.

De todos los estudios que se revisaron, finalmente, se escogerá una cantidad favorable acorde a la investigación documental.

## Capítulo IV. Estado del arte

Para el desarrollo de este análisis documental se estableció un marco de referencia para la recolección, el estudio y análisis de la información recolectada, que le permitió al compilador organizar una secuencia lógica de estudios teóricos y aplicados relacionados a la temática de floculación en medio poroso, de donde se han sustraído los datos más importantes dentro de cada estudio, las conclusiones presentadas por parte del (los) autor (es) y la relevancia del estudio, para conformar el documento producto final de la presente revisión bibliográfica.

### 4.1. Documentos incorporados al estado del arte.

Los documentos incorporados al estado del arte se este trabajo son los siguientes:

#### **Floculación en lecho poroso (Ortiz A., 1995 -2015 Segunda edición.)**

En esta investigación realizada por el M.Sc. Mario Ortiz Arce, (1995), Se tratan términos de pérdida de carga, tiempo de retención, caudal y gradiente de velocidad; Ejecutar parámetros que permitan establecer la eficiencia y funcionalidad de este sistema de floculación. La fuente de agua cruda para la realización de las pruebas proviene del río Bogotá, afluente de la planta de tratamiento en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, donde se realizó el estudio.

**Resultados:** Los resultados derivados de este trabajo, permitieron concluir que este sistema funciona eficientemente como floculador en tratamiento de aguas; siendo viable la implementación desde varios puntos de vista: - Se reducen los costos de construcción, operación y mantenimiento de los floculadores. - El tiempo de retención y la caída de presión en este sistema son considerablemente menores que los de los sistemas convencionales. - Dados los problemas de funcionamiento de los floculadores en plantas de tratamiento de pequeñas localidades, en

nuestro entorno, los lechos de grava ofrecen una alternativa para lograr mejores resultados a menor costo.

**Software de diseño floculador de medio poroso y sedimentador de manto de lodos en un solo cuerpo. (Piedrahita E., 2015).**

En el presente trabajo el Ing. Edgar Augusto Piedrahita Gómez, (2015) ha desarrollado un aplicativo de cálculo, que analiza y diseña un proceso de floculación y sedimentación en un solo experimentó; progreso que responde el problema de oposición en los floculadores porosos que están en nuestro medio, donde la prioridad de dicha obstrucción, es la de no manejar gradientes óptimos en el mecanismo de los mismos.

El sistema soluciona el patrón y se originan geometrías con gradientes y variables hidráulicas de acuerdo a la calidad del agua natural. Este Genera el diseño de floculadores de medio poroso con régimen de flujo auto limpiantes que no permiten depósito y colmatación con los flócs, con una división en compartimientos para el retro lavado del medio, mejorando los tiempos de trabajo. (Piedrahita, 2015)

**Resultado:** El software propuesto, permite el dimensionamiento de unidades que requieren una mínima área y por ende es más ahorrador que los sistemas convencionales que disponen de mayor espacio, intensidad de maquinaria y sobre costo de inversión. (Piedrahita, 2015).

**Floculación. Capítulo 6 del libro: Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I, OPS/CEPIS/PUB/04.109, 2004.**

La Floculación en el nombre del Capítulo 6 del Tomo I del libro titulado Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida. Manual I, publicado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), coordinado por la Ing. Lidia Cánepa de Vargas, Asesora en Tratamiento de Agua para Consumo Humano y bajo la dirección del Dr. Mauricio Pardón, director del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS).

En este documento que explican la mecánica y procesos de la floculación, la teoría básica en los parámetros operacionales y factores que influyen en la floculación como el tiempo de floculación, el gradiente, la variación de caudal y la compartimentalización y de manera particular los floculadores de contacto de sólidos o de manto de lodos son controlados por la concentración de sólidos.

Para la dra Lidia la floculación tiene como objetivo principal reunir las partículas desestabilizadas formando así aglomeraciones de mayor peso y tamaño, para que estas logren ser sedimentadas con una mayor eficiencia, además, manifiesta que la invención de los decantadores de placas, paralelas o tubulares, se ha reducido significativamente la ventaja en precio de este tipo de floculadores respecto a los proyectos convencionales. Por ello, y por tratarse de unidades cuyo control y funcionamiento son muy difíciles, no se comentarán con más detalle. Si se consideran como una alternativa de proyecto, además del costo, se deben examinar los siguientes puntos:

- En cuanto al tamaño de la instalación, no son aconsejables para comunidades pequeñas, que carecen del personal altamente calificado necesario para su operación.

- El régimen de operación debe ser continuo o, al menos, por un período diario bastante largo, y no debe presentar variaciones de flujo, debido a la dificultad de formar y mantener un manto de lodos.
- Por la misma razón, se recomienda para aguas que mantengan sus características fisicoquímicas más o menos constantes, con variaciones de calidad imperceptibles. (Vargas, 2014)

### **Floculador de lecho poroso en material de relleno plástico (Gómez y Jiménez, 2017)**

Este trabajo es el resultado final de un análisis sistemático de la literatura en el tema “Floculador de lecho poroso con material de relleno plástico” realizado en Colombia por Kimberly Gómez y Vidal Laura Tatiana Jiménez Castro, en donde se realizaron varias pruebas de laboratorios y se encontraron hallazgos de bajos niveles de pH en aguas crudas, entre otros aspectos, como el hecho de que sea difícil usar estas fuentes hídricas en la producción de agua para uso residencial, especialmente en zonas rurales cuando es captado a través de pozos o jagueis sin ningún tratamiento (Gómez & Jiménez, 2017). En el desarrollo de la obra se instaló un floculador, construido en una zona de Villavicencio- departamento del Meta, donde se instaló como prototipo experimental con un lecho poroso para aprovechar agua de pozos profundos, y donde se realizaron las pruebas. fuera, la toma de muestras de agua cruda y filtrada, para establecer si hubo una reducción de impurezas en el agua.

**Metodología:** El desarrollo de la investigación es exploratoria de tipo cuantitativo y corte longitudinal, en la cual se describe la elaboración de un prototipo con material de relleno plástico que aglutina sólidos de las aguas subterráneas como generador de conocimiento que busca ser aplicado en comunidades pequeñas; El estudio se estructura con las fases de desarrollo de los objetivos que se han plasmado dentro de la investigación, siguiendo una secuencia lógica : descripción del problema, revisión de literatura sobre plantas de tratamiento de agua potable,

análisis del panel lamelar (módulo tubular relleno de plástico) y los métodos de floculación con sus respectivas características, materiales para el diseño del prototipo a escala con relleno plástico entre otros.

**Resultados:** -Las aguas en comunidades pueden ser removidas mediante un proceso de floculación recubierta (instalación de lamelas rellenas de plástico) en una planta de tratamiento de agua potable más eficaz y económica, con lo cual se puede obtener altos niveles de purificación logrando la eliminación de impurezas que trae el agua etc.

Se encuentra que las ventajas de la utilización del panel lamelar para la floculación, son la reducción de costos, se requiere menor mano de obra, posee una mayor eficacia y produce claridad en el agua filtrada, es el medio más durable solo requiere una planta de tratamiento pequeña para mantener una mejor capacidad y lograr agua adecuada para el consumo humano evitando enfermedades y tasas de morbilidad. Su diseño es innovador ayudando a implementar en distintas zonas rurales para su bienestar.

El prototipo de Floculador con material de relleno plástico, se diseña a partir de una amplia revisión literaria, que permite el conocimiento para la construcción con materiales de fácil obtención en el medio y las cantidades apropiadas para su instalación en el sitio adecuado para su funcionamiento.

## **Capítulo V. Novedades en la floculación en medio porosos.**

La floculación es uno de los procesos prioritarios en la potabilización de agua, se lleva a cabo después de coagulación, consiste en la agitación lenta de la masa de agua para la aglomeración de partículas llamados flocs, en ella es esencial la forma de producir la agitación, el gradiente de velocidad y el tiempo de retención (Carreño y Castiblanco, 2016).

### **5Tipos de Floculación**

Floculación Pericinética o browniana Se debe a la energía térmica del fluido, este movimiento está producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y es conocido como el movimiento browniano (Arboleda, 2000; Lidia de Vargas, 2004).

Floculación Ortocinética o gradiente de velocidad Se produce en la masa del fluido en movimiento, conlleva a las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, este gradiente de velocidad puede ser estimulado por una energía de origen mecánico o hidráulico, primero ocurre la floculación pericinética luego la ortocinética (Arboleda, 2000; Lidia de Vargas, 2004). (Gonzalías, 2019)

### **5.1. Parámetros característicos de la floculación**

Los parámetros que influyen directamente en la floculación son el tiempo de residencia, la potencia para producir la agitación y el gradiente de velocidad o Potencia para producir la agitación (hidráulica, mecánica, hidromecánica y neumática). El gradiente de velocidad es la energía necesaria para producir la mezcla. El tiempo de retención es el tiempo que el agua permanece en la unidad de floculación. El tiempo de retención y el gradiente de velocidad son significativos al aumentar la posibilidad de que las partículas se adhieran (Arboleda, 2000), estos dos son los parámetros más utilizados para el diseño de floculadores. (Gonzalías, 2019)

Existen algunos métodos de floculación en medios porosos ya puestos en práctica, aunque no están formalizados en el reglamento técnico del sector RAS-2000 de la república de Colombia expedida por el Ministerio de Desarrollo Económico, se ha visto que son eficientes; algunas variantes en las investigaciones son el tamaño del material poroso el cual se debe emplear con piedras de ½” a 2”, con piedras de tamaño mayor indican que no se puede lograr todo el rango de gradientes de velocidad para floculación variando el diámetro equivalente de las piedras u otro material similar (Pérez Parra, 1999).

La floculación, consiste en un sistema de clarificación de aguas constituido por un floculador en medio poroso y un sedimentador de contacto con sólidos suspendidos en un solo cuerpo. La floculación en lechos porosos consiste en un lecho de grava, a través del cual se hace circular un cierto flujo de agua a tratar, íntimamente mezclado con el coagulante, para lograr la formación de flóculos, que, en una posterior sedimentación del manto de fangos, producen la clarificación del agua (Pérez Parra, 1999). (Piedrahita, 2015) En esta unidad el agua flocula al pasar a través de los poros o espacios vacíos del material granulado, los cuales desempeñan la función de pequeños compartimientos (Pérez Parra, 1999), que pueden considerarse con un número casi infinito de cámaras o compartimientos, lo que explica su gran eficiencia, Como material granular, pueden utilizar piedras, pellets de plástico, residuos de fábricas de plástico, segmentos de tubería o cualquier otro tipo similar de material que no se pudra ni contamina. (CEPIS, 2014) (Piedrahita, 2015)

La floculación se puede realizar en medio granular fijo o expandido, en tiempos del orden de 2 a 5 minutos. La floculación en medio granular expandido surgió por la necesidad de evitar la retención de sólidos, con el fin de mantener inalteradas las condiciones de floculación en el reactor. La operación requiere condiciones hidráulicas en términos de gradiente de velocidad y tiempo de

floculación, que no siempre se pueden lograr utilizando materiales granulares naturales como arena y carbón antracita (Dalssaso, 2005).

La floculación lastrada es una técnica para el tratamiento físico-químico de aguas, implementada a nivel industrial en algunos países europeos y en Estados Unidos con excelentes resultados. Su aplicación inicial data de 1950, al desarrollarse un proceso en Hungría que luego comenzó a conocerse en Europa, siendo patentado en Francia con el nombre de Cyclofloc y Simtafier en la década de los 80 (Gregory, 2002). En la actualidad existen referencias de este sistema en instalaciones de gran caudal, tanto en el viejo continente como en América y Asia. Desde el año de 1992 se han adelantado estudios sobre la aplicación de la floculación lastrada en el tratamiento de aguas potables, lluvias y residuales; iniciando con el tratamiento de aguas potables por Cailleux, Pujol y Drouton en Francia, quienes construyeron una planta piloto con esta técnica, evaluando el desempeño de diferentes parámetros que deben monitorearse en su operación (Mancipe y Wolf, 2005) (Rojas & Torrado, 2007)

Mediante una evaluación realizada a los dos sistemas comerciales de floculación lastrada (Actiflo y Densadeg 4D), en los que la diferencia más significativa radica en el tipo de material lastrado que emplea (Arena y lodo espeso respectivamente), Jolis (2004) concluyo que para ambos se pueden lograr una remoción del 75% de solidos suspendidos y 65% de DBS5 en el tratamiento de aguas que provenían de aliviaderos de alcantarillados combinados, sin embargo, en cuanto a operación, el sistema Densadeg 4D necesita un mayor tiempo de arranque y controles operativos, esto se debe al contenido químico del lodo. En nuestro país, (Sepúlveda, 1997), evaluó la remoción de color aplicando la técnica de floculación lastrada en las aguas de la planta de potabilización Wiesner, obteniendo resultados satisfactorios en tiempos de floculación y sedimentación y reduciendo la infraestructura y los insumos químicos. (Rojas y Torrado, 2007)

La concentración y la naturaleza de las partículas tienen una influencia significativa en el proceso de floculación, porque es más fácil flocular aguas con alta turbidez que permiten una amplia distribución de tamaños de partículas, facilitando así el proceso de remoción en tanques de sedimentación. - Tiempo de floculación El tiempo óptimo para la floculación es un rango de 10 – 30 min, el cuál ha sido determinado bajo diversos experimentos como la Pruebas de jarras. En la cual se determina que una permanencia del agua por un tiempo inferior o superior al tiempo óptimo dentro del floculador produce resultados inferiores de turbiedad, por ello una posible solución es la división de compartimentos del floculador como mínimo 2 y como máximo 6, permitiendo que sean menores los cortocircuitos del agua. - Gradiente de velocidad Los autores Tekippe y Ham realizaron un estudio teórico-práctico, donde determinaron la influencia en la variación del gradiente de velocidad, es decir, cuanto mayor sea el gradiente de velocidad inducido en el fluido, mayor será la velocidad de aglomeración de las partículas y los flóculos aumentarán de tamaño hasta un tamaño máximo sin romperse, pero una vez superado este tamaño, el flóculo se desintegrará, por lo tanto, quien concluyó que es necesario graduar gradualmente el gradiente (Arboleda, 2000,a). La OS.020 Plantas de tratamiento de agua para consumo humano, recomienda que caudales de diseño mayores a 50 l/s, los parámetros óptimos de la unidad como el gradiente y el tiempo de retención o floculación deberán ser simulados con el equipo de prueba de jarras. Mientras para caudales de diseño menores a 50 l/s, se debe considerar un rango de gradientes de velocidad de 70 a 20 s-1 y un tiempo de retención de 20 min (2006).

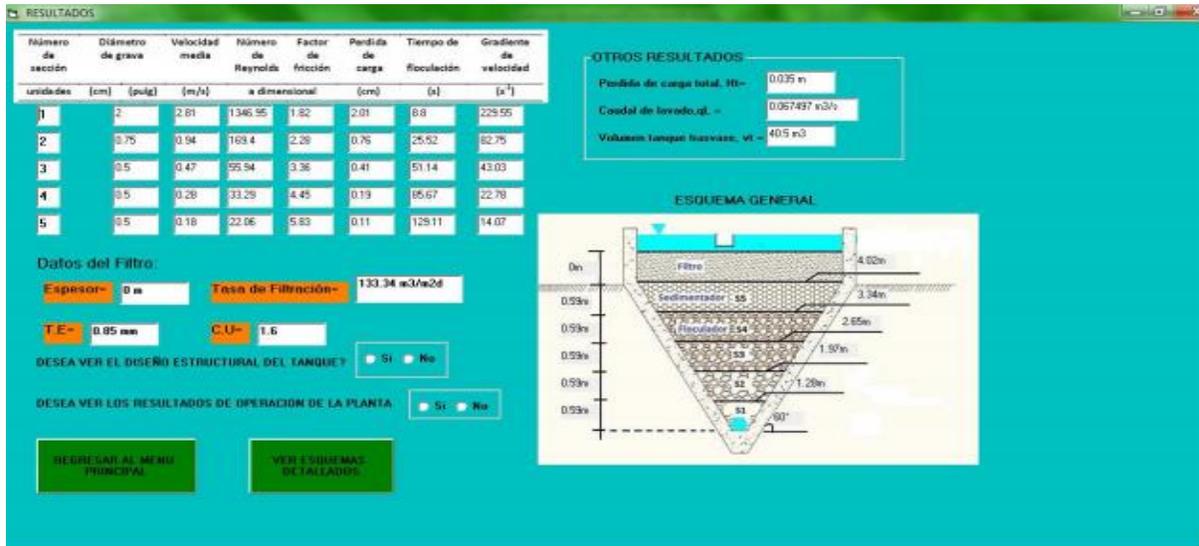
Díaz (1999) realizó un estudio sobre floculación de balasto en las plantas potabilizadoras de Vitelma y San Diego (Bogotá), evaluando la eficiencia del tratamiento con esta técnica y comparándola experimentalmente con el método convencional. Mancipe y Wolf (2005) de la

Universidad de La Salle, realizaron una evaluación de la floculación de balasto en aguas residuales domésticas a escala, concluyendo que con esta técnica se obtienen mayores eficiencias de remoción de contaminantes con menores costos de inversión inicial en comparación con la técnica convencional. Adicionalmente establecieron los criterios hidráulicos de diseño para la implementación de un sistema de floculación lastrada a escala real. (Rojas & Torrado, 2007)

Ante esta necesidad, se estudiaron materiales sintéticos esféricos y no esféricos, con un diámetro entre 3 y 6 mm, en un sistema piloto, consistente en floculación y filtración descendente rápida. Inicialmente, las condiciones hidráulicas de los materiales granulares, como la expansión y la velocidad mínima de fluidización, se evaluaron utilizando agua tratada. La floculación en un sistema piloto, precedida de pruebas de jarras, se realizó con agua de la laguna Peri, caracterizada por valores relativamente bajos de color y turbidez, y una fuerte presencia de fitoplancton.

Entre los materiales estudiados, se eligió uno para probar la floculación como tratamiento previo a la filtración descendente directa. Los resultados muestran que solo la floculación en un medio granular expandido permitió la autolimpieza de los floculadores. Los materiales utilizados permitieron obtener valores adecuados de gradiente de velocidad para la producción de flocs (Dalssaso, 2005, pág. 17). La pre floculación aumentó la duración de las corridas de filtración en un 68% y mejoró la calidad del agua filtrada cuando se asocia con cambios en el medio filtrante y el coagulante. Un ejemplo de una comparación económica entre floculadores mecánicos de paletas, deflectores verticales hidráulicos y medios granulares expandidos mostró que este último tiene un costo 50% menor. (Dalssaso, 2005)

**Figura 1.** Modelo de Cálculo definitivo para el diseño del floculador-sedimentador por medio de programa CAPLA.



**Fuente:** (Piedrahita, 2015)

En la anterior figura se logran ver los datos obtenidos mediante el programa CAPLA, en los cuales se evidencia gradientes superiores a  $14 \text{ s}^{-1}$  en las 5 secciones del floculador de medio poroso, que impiden que haya depósitos o sedimentación, logrando evitar así la obstrucción del sistema. Se puede observar que cuando el agua fluye hacia el final del medio poroso, existe un gradiente menor a  $14 \text{ s}^{-1}$  de velocidad, velocidad  $0.18 \text{ m/s}$  y número de Reynolds 22, obteniendo así un régimen de flujo que garantiza un depósito y posterior remoción de lodo a través del anillo central. Se validó la tecnología de medios porosos aplicando el modelo físico-matemático y se evidenció la eficiencia del proceso que, en una sola unidad de equipo mínimo de fácil construcción, mantenimiento, gestión operativa, versátil y de bajo costo, menos del 30%, comparado con los convencionales.

- Se disminuye en un 80% del área necesaria en una floculación y sedimentación convencional.

- Se logra retirar con facilidad el 100% de los lodos solucionando así problemas de remoción de lodos en los sedimentadores de alta tasa que requieren del vaciado total de la estructura y retiro de lodos manualmente.

- Se comprueba que, debido a que el sistema de medios porosos utiliza la energía hidráulica, No requieren de equipos electromecánicos lo que conlleva a un ahorro de energía eléctrica y una disminución de la vulnerabilidad del reactor por falla de sus componentes o por suspensión del flujo eléctrico.

- Este sistema es un referente a nivel nacional de un floculador de medio poroso eficiente, que no permite depósito del flócs formado en sus cámaras, por tener control del gradiente y tiempo de permanencia que exige las diferentes calidades de agua.

- El sistema incluye un proceso de retrolavado y drenajes adecuados solucionando el problema de taponamiento que algunos sistemas presentan por motivo de estar sobre dimensionados y manejar régimen de flujo bajos.

Según investigaciones sobre floculadores, solo permiten diseños con piedra de ½” a ¾” (diámetro medio de 15,90 mm) y se recomiendan diseñar estas unidades con un flujo ascendente y en estructuras tronco-cónicas, a fin de escalar los gradientes de velocidad, manteniendo el mismo tamaño del material para facilitar la limpieza.

Se han encontrado en los estudios que los floculadores de medio poroso que ahora son de gran interés por la alta eficiencia que han reportado el medio granular y por su aplicación en pequeñas poblaciones, debido a su bajo costo y alta eficiencia, sin presentar problemas de obstrucción para caudales menores o iguales a 10 l/s (Carlos Ritcher, 1991, como se citó en (Cárdenas & Cuesta, 2017).

El floculador de medio poroso es una unidad hidráulica que tiene un gran número de compartimentos, esto permite que tenga gran eficiencia ya que utilizan como medio piedras, bolitas de plástico, residuos de fábricas de plástico, segmentos de tubo y materiales no contaminantes.

Dentro del análisis bibliográfico y contextual se destaca la alternativa para una planta de potabilización conformada por un Filtro Grueso Dinámico (FGDI) + Mezcla rápida + Floculador de medio poroso + Sedimentador + dos Filtros Lentos de Arena (FLA) + Cloración), por razones de costos (Cárdenas & Cuesta, 2017, pág. 120)

Otro dato importante de la revisión constituye el hecho de la funcionalidad del floculador de lecho poroso, cuya eficiencia es elevada (teniendo control en la coagulación) y el costo de operación es reducido porque el medio poroso no requiere remplazo sino un mantenimiento periódico en la medida que se va alterando su capacidad de carga.

## **Capítulo VI. Variables y Elementos de Interés en la Floculación en Medio Poroso.**

Un floculador de medio poroso además de representar un sistema alternativo a los métodos convencionales de tratamiento de agua, proporciona una solución de bajo costo, fácil manejo y un funcionamiento que garantiza viabilidad a la hora de ampliar la cobertura del suministro de agua, especialmente hacia aquellas zonas en donde, por las condiciones propias del medio, no se dispone de los recursos técnicos y económicos que se necesitan para operar de forma eficiente un floculador de tipo convencional o con un cierto grado de complejidad y sofisticación.

Un lecho de grava con características definidas bajo condiciones ideales puede ser empleado como floculador en una planta de tratamiento, por tanto, dependiendo de las características del agua a tratar se pueden obtener altas eficiencias en la remoción de la turbiedad y color. (Ortiz, 1985).

En un floculador de lecho poroso, el agua flocula al pasar a través de los espacios o poros de un material granular, los cuales desempeñan la función de pequeños compartimientos, unidad hidráulica con un número casi infinito de cámaras o compartimientos, explicando así su gran eficiencia, de acuerdo con la teoría de Harris y Kaufman. Como material granular, se pueden utilizar gravas, esferas de plástico, residuos de las fábricas de plástico, segmentos de tubos o cualquier otro tipo de material similar no biodegradable ni contaminante. (Ortiz, 1985)

A partir del estado actual del conocimiento, se recomienda diseñar esta unidad con flujo un ascendente y forma troncocónica, a fin de escalonar los gradientes de velocidad, manteniendo el tamaño del material constante para facilitar la limpieza. · En este tipo de unidades, el tiempo de retención total suelen ser de entre 2 a 10 min (efecto del infinito número de compartimientos de la unidad). · La información disponible sobre floculadores de piedras solo permite diseñar unidades para caudales de hasta 10 a 15 L/s. (Ortiz, 1985)

En principio es importante aclarar que se observó que los factores que influyen en la eficiencia de un floculador de medio poroso son: El tiempo de retención, la pérdida de carga, la tasa de flujo y el lecho de grava, definiendo estas variables de la siguiente manera:

### Tiempo de retención

En un reactor de piedra el tiempo de retención  $t_r$  está dado por la ecuación:

$$t_r = L/V_R$$

$$V_R = V_A/\varepsilon$$

Donde:

$t_r$  : Tiempo de retención [s]

L : Espesor total del lecho poroso [cm]

$V_R$ : Velocidad real del flujo a través del lecho poroso [cm/s]

$V_A$  : Velocidad del flujo a través de la sección transversal del reactor (sin tener en cuenta la grava) [cm/s]

$\varepsilon$  : Porosidad del lecho

(Pérez & Escobar, 1993)

Un estudio experimental de la universidad Nacional de Colombia concluyó que los tiempos de retención para un floculador de medio poroso oscila entre los 90 y 600 segundos, esto representa una reducción de un 66,6% con respecto a los floculadores convencionales, ya que para estos últimos es recomendable un tiempo no menor a 30 minutos. (Gonzales & Ortiz)

### Perdida de carga

Para la evaluación de la pérdida de carga de un medio poroso puede ser útil la ecuación de Rose:

$$j_i = 0.534C_D \frac{v_A^2}{D_N \varepsilon^6 g}$$

Con:

$$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{R} + 0.34$$

$$R = \frac{\phi_s D_N v_A}{v \varepsilon}$$

$$D_N = \frac{1,24}{\frac{1,19}{LM} + \frac{0,35}{Lm}}$$

Donde:

$j_i$ : Perdida de carga unitaria

$C_D$ : Coeficiente de fricción de Newton

$D_N$ : Diámetro nominal de una partícula  $i$

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $981 \text{ cm}^2/s$ )

$R$ : Número de Reynolds

$\phi_s$ : Factor de forma

$LM$ : Diámetro mayor de la partícula [cm]

$Lm$ : Diámetro menor de la partícula [cm]

(Pérez & Escobar, 1993)

Experimentalmente para las ratas de flujo más alta se pudieron determinar, según el tipo de lecho poroso, las siguientes perdidas de carga en función del tiempo en horas:

- Lechos de  $1\frac{1}{2}$ '' a  $1$ ''  
 $hf = 3,55 * t^{0,37}$ ; con  $r^2 = 0.94368$
- Lechos de  $1$ '' a  $\frac{3}{4}$ ''  
 $hf = 4,896 * t^{0,13}$ ; con  $r^2 = 0.95363$
- Lechos de  $\frac{3}{4}$ '' a  $\frac{1}{2}$ ''  
 $hf = 15,8 * 1,018^t$ ; con  $r^2 = 0.49225$

(Gonzales & Ortiz)

### **Rata de flujo**

La rata de flujo para un funcionamiento más eficiente del floculador debe ser alta, esto permite el continuo arrastre de los flocs al sedimentador, evitando así, una colmatación acelerada del lecho, y que a su vez evitaría hacer mantenimientos frecuentes de este.

Un punto a favor de las ratas altas es el hecho de que producen flocs más pesados, mientras que las ratas bajas producen flocs muy pequeños o microflocs, lo que hace aumentar la altura del agua sobre el lecho para evitar la colmatación del mismo.

Se recomienda para tratamientos con ratas bajas, menores de  $100 \text{ M}^3/\text{M}^2 - \text{día}$ , llevar el agua con los microflocs directamente a la filtración, es decir, sin pasar antes por la sedimentación, para que estos microflocs queden retenidos en los filtros y se obtenga mayores resultados en la clarificación.

En cuanto a las ratas altas, se logró determinar experimentalmente que con una rata de flujo de  $377 \text{ M}^3/\text{M}^2 - \text{día}$  (gradiente de  $60 \text{ seg}^{-1}$ ) la eficiencia en la remoción de turbiedad es de 83,2% y de color es de 70%.

(Gonzales & Ortiz)

### **Lecho de grava**

Para evitar una prefiltración y una acelerada colmatación del lecho de grava, se deben preferir granulometrías por encima de las  $3/4''$ , esto se logró observar experimentalmente por Gonzales y Ortiz, notándose una reducción de la eficiencia de remoción de turbiedad y color para dimensiones menores a esta, de la siguiente manera:

- Fracción  $1 \frac{1}{2}'' - 1''$   
Remoción de turbiedad promedio: 81,3%  
Remoción de color promedio: 68,9%
- Fracción  $1'' - \frac{3}{4}''$   
Remoción de turbiedad promedio: 82,9%  
Remoción de color promedio: 65,8%
- Fracción  $\frac{3}{4}'' - \frac{1}{2}''$   
Remoción de turbiedad promedio: 65,4%  
Remoción de color promedio: 68,6%

(Gonzales & Ortiz)

## **Capítulo VII. Comparación técnica de los diferentes procesos de floculación convencional versus floculación en medio poroso y nuevos procesos.**

El objetivo del floculador es dotar a la masa de agua coagulada con lenta agitación a velocidades decrecientes, para promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que el agua y la lechada de flóculos salgan de la unidad. La energía producida por la agitación del agua puede ser de origen hidráulico o mecánico. En este capítulo nos ocuparemos del diseño de unidades de agitación hidráulica (Ingeniería Sanitaria, 2016). Entre los floculadores más conocidos se pueden citar, en primer lugar, los tamices de flujo horizontal y vertical, los de medios porosos, tipo Alabama y Cox, y los floculadores de malla.

La potabilización del agua para consumo humano, puede hacerse a través de un conjunto de operaciones unitarias que involucran procesos de tipo físico, químico y biológico los cuales remueven impurezas o transforman algunas de las características inapropiadas del agua haciéndola apta para su consumo. El éxito del proceso de potabilización requiere una infraestructura adecuada y una óptima operación y mantenimiento de esta. En las plantas de tratamiento de agua potable convencionales el proceso de floculación es uno de los más importantes, debido a que este es un proceso de agregación de sólidos, que da lugar a la formación de flocs en un proceso llamado mezcla lenta, con esto se logra que las partículas contenidas en el agua se junten con estos flocs y así obtengan el peso y tamaño suficiente para lograr su sedimentación. (Gonzalías, 2019)

### **7.1. Tipos de Floculadores**

La clasificación general de los floculadores, se realiza según la energía de agitación y el sentido de flujo, y estos son hidráulicos y mecánicos, sin embargo, en este trabajo se tendrán en cuenta los tipos relacionados con los materiales utilizados en la floculación en medio poroso.

**Tabla 4.** Análisis comparativo floculadores convencionales Vs floculadores de medio poroso

TIPO DE FLOCULADOR	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Medio Poroso	Nº casi infinito de cámaras, pueden utilizarse elementos como material granular, piedras, material plástico. El gradiente de velocidad es mayor y su tiempo de retención es menor.	Requieren de un menor espacio y menor costo de operación e instalación, El rango del gradiente de velocidad es más corto por lo que el tiempo de retención es reducido. Estos floculadores pueden variar su configuración según el tipo de material y sus características, manteniendo rangos óptimos de eficiencia.	Se debe escoger muy bien la forma del medio poroso, porque esta afecta la retención. La pérdida de carga es menor pero más rápida. Su operación se recomienda para caudales menores de entre 10 y 20 l/s
Convencionales	Los floculadores hidráulicos más utilizados son los de pantallas, de flujo horizontal o de flujo vertical. En los primeros, el agua circula con un movimiento de vaivén, y en los segundos, la corriente sube y baja sucesivamente, contorneando las diversas pantallas. Los floculadores convencionales son estructuras de diseño fijo que se establecen según el estudio inicial del agua a tratar.	Operan a capacidades superiores a los 40 litros por segundo. Se pueden utilizar pantallas removibles de concreto prefabricadas, fibra de vidrio, madera, plástico, asbesto cemento u otro material de bajo costo, disponible en el medio y que no constituya un riesgo de contaminación. Son útiles para tratar aguas con alto contenido de contaminantes.	El diseño de estas unidades debe efectuarse muy cuidadosamente para evitar la formación de cortocircuitos y espacios muertos. Producen mayores pérdidas de carga. Los costos de instalación y materiales son mucho más elevados. La acumulación de lodos es mayor y la adherencia de material a las paredes es constante. Requieren una revisión constante de la pendiente en el fondo de la unidad para que no haya sobresaltos

**Fuente:** Los autores

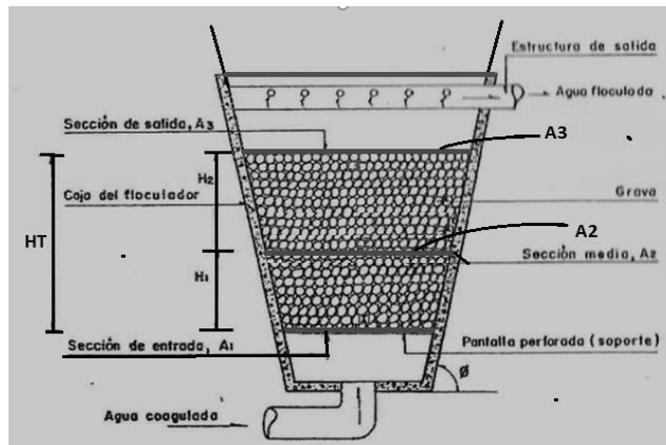
Al considerar la existencia de varios tipos de partículas en diferentes concentraciones se hace necesario considerar tipos desiguales de sedimentación, que son: Sedimentación tipo 1: Se refiere

a la eliminación de partículas discretas no floculantes en una suspensión diluida. Es el tipo de sedimentación que ocurre con partículas con características floculantes mínimas en suspensiones diluidas, como sería el caso de la sedimentación de materiales pesados inertes (Canepa Vargas, 1977). , en el que es necesario considerar las propiedades floculantes de la suspensión junto con las características del asentamiento de las partículas. Generalmente ocurre en el tratamiento de aguas residuales, dada la naturaleza de los sólidos presentes en ellas, y en la potabilización de agua potable cuando los sedimentadores son precedidos por floculadores y coagulación (Canepa Vargas, 1977).

### 7.2. Floculadores de medio poroso

La floculación en medios porosos se aplica principalmente en pequeñas instalaciones, debido a su alta eficiencia y bajo costo. Se distinguen dos tipos básicos: floculación en un medio poroso fijo (o floculación en un medio granular) y floculación en un medio poroso expandido (floculación en lechos de arena expandida). La floculación en medio se ha venido estudiando con cierta profundidad en América Latina, en colaboración con CEPIS / OPS (23,27) y ya se está aplicando con éxito en algunas instalaciones.

**Figura X.** Floculador de medio poroso



Fuente: (Maldonado, 2021)

El proceso consiste en hacer pasar el agua, después de haberle aplicado los coagulantes, a través de un medio granular contenido en un tanque generalmente de flujo vertical o canal (flujo horizontal). El flujo es normalmente laminar y la eficiencia es extraordinaria. Puede flocular satisfactoriamente en pocos minutos.

La tecnología de medios porosos se validó aplicando el modelo físico-matemático y la eficiencia del proceso se evidenció en una sola unidad de equipo mínimo de fácil construcción, mantenimiento, gestión operativa, versátil y de bajo costo, menor al 30% en comparación con el convencional.

El 100% de los lodos se elimina fácilmente y el problema de la eliminación de los lodos se resuelve en decantadores de alto caudal que requieren el vaciado total de la estructura y la eliminación manual de los lodos.

El tiempo de retención, para este experimento, oscila entre los 300 y los 600 segundos. (5.0 a 10 minutos), esto representa con respecto a los floculadores convencionales una reducción hasta del 87.5% (Mark Hammer recomienda para floculadores convencionales tiempos de retención no menores de 40 minutos).

### ***7.2.2. Floculación en medio poroso con lecho de grava***

Un lecho de grava con tipologías determinadas en contextos de laboratorio, se logra manejar como floculante en una planta de tratamiento, esto dependiendo de las peculiaridades del agua a tratar. Se pueden obtener altas eficiencias en la eliminación de la turbidez y el color, presentando, por otra parte, algunas ventajas frente a los floculadores convencionales -mecánicos o hidráulicos dado que en un sistema de floculación de esta naturaleza. Se consigue una formidable deflación del tiempo de conservación y caída de presión. La grava es un componente de fácil obtención y

menores precios de cimentación y manutención. hacen que este sistema preste ventajas financieras; cometiendo con la premisa de aumentar la cobertura y optimizar la calidad de los servicios de agua potable al menor coste viable. (Ortiz, 1985)

Si se consigue la adecuación inmediata con este procedimiento, encontramos una atrayente elección para alcanzar una meta esencial de los países en vías de desarrollo que afrontan el reto de suministrar agua potable a su localidad. (Ortiz, 1985) En un floculador de lecho poroso. el gradiente de velocidad estriba del tamaño de la grava. del caudal. caída de presión y área de la unidad transversal del lecho. La ecuación procedente de Camp-Stein para el gradiente es:

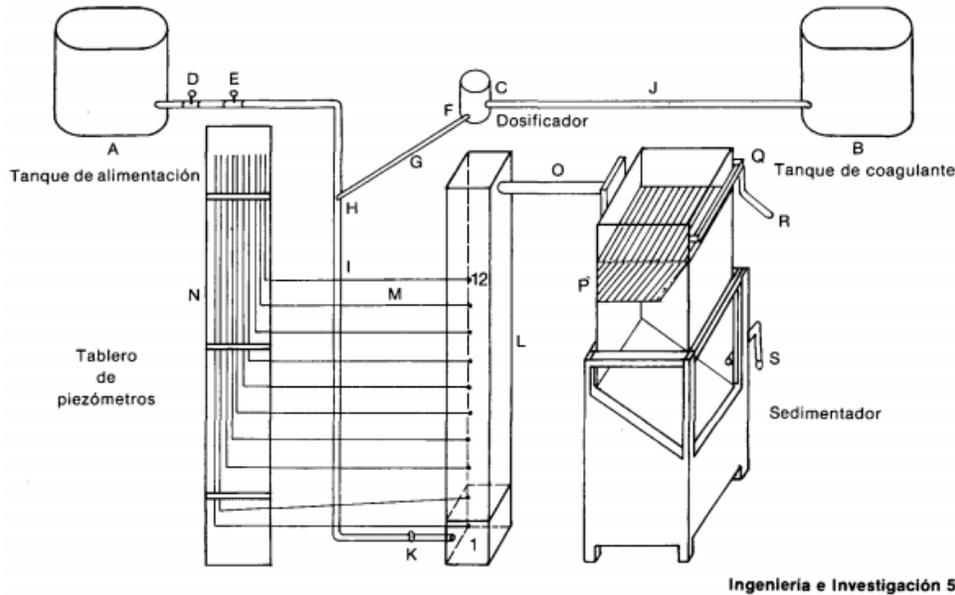
$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

### **Modelo de floculador con grava**

Floculador de sedimentación compacto, es un método de depuración de agua que radica en un floculador en un medio poroso y un sedimentador de contacto con sólidos suspendidos en un solo cuerpo. La floculación en lechos porosos radica en un lecho de grava, mediante el cual se hace circular una cantidad de flujo de agua a tratar, el agua se mezcla profundamente con el coagulante, para conseguir la alineación de flóculos, que, en una ulterior sedimentación del manto de fangos, originan agua. (Piedrahita, 2015)

En este dispositivo, el agua flocula a su camino por las áreas o poros de un material granulado, que efectúan el oficio de diminutos compartimentos (Pérez Parra, 1999). Es una unidad hidráulica con un número casi infinito de cámaras o compartimentos, lo que expone su importante eficiencia, como material granular, pueden manejar piedras, pellets de plástico, residuos de fábricas de plástico, segmentos de tubos u otro espécimen de material análogo, que no se pudra, ni contamine. (Piedrahita, 2015)

A. Tanque de almacenamiento de agua cruda. Este estanque se manipula para regular el flujo de entrada de agua cruda al floculador; y aseverar una carga hidráulica invariable, mediante un agujero. El flujo de agua al modelo se ejecuta por gravedad.



B. Tanque de acopio de coagulante. Desde este aljibe, el coagulante se transporta por entre un vínculo a la línea de agua y luego va al floculado, de modo que en una caída de cerca de 1,50 metros desde el punto de acceso del coagulante, hasta el punto de acceso al floculador se causa una composición lígera.

C. Columna de floculación. La columna de floculación está creada de acrílico cristalino para consentir el examen del grado de dificultad, alineación y peculiaridad de los flóculos a lo extenso del lecho de grava. Esta columna tiene una unidad cuadrada de 0,15 metros de lado y una altura de 2,00 metros. Para nivelar el caudal a través de él se ha advertido un falso fondo de 0,20 metros con nueve (9) agujeros simétricos. Introduciendo por el falso base y acosando la columna tiene una perforación cada 0,15 metros para consentir la unión de piezómetros para calcular el desplome de presión, y con ella, el estado de dificultad de la cama.

D. Colono. En este trabajo se manejó un decantador de placas oblicuas. edificado en acrílico con escapatoria inferior a modo de purga de lodos y desagües en la parte superior para acopiar el agua tratada. Los piezómetros juntos a la columna de floculación se erigen por encima de una placa. para permitir la lectura directa del desplome de presión. La construcción de la Planta Piloto se muestra en la figura número uno (1). (Ortiz, 1985)

Las indagaciones ejecutadas hasta la fecha solo consienten diseñar estos floculadores con piedra de 1/2 "a 2" pulgadas, con piedras de gran volumen indican que no se puede lograr el rango completo de gradientes de velocidad para la floculación variando el diámetro equivalente de las piedras. . u otro material similar (Pérez Parra, 1999). “Desde el estado actual de conocimiento, se recomienda este equipo de flujo ascendente y forma troncocónica para escalonar los gradientes de velocidad, manteniendo constante el tamaño del material para facilitar la limpieza. En este tipo de unidades, el tiempo total de retención es de solo 5 a 10 min (efecto del número infinito de compartimentos de la unidad)”(Vargas, 1977). (Piedrahita, 2015) La información disponible sobre floculadores de piedra solo permite diseñar unidades para caudales de hasta 0.5 a 50 L / s (Romero, 2000) (Piedrahita, 2015)

### ***7.2.3. Floculador en medio poroso con rellenos de Plástico***

Las metas importantes de la floculación son recoger microflocúculas para constituir partículas con un peso determinado superior al del agua y petrificar el flóculo, comprimiendo su grado de hidratación para causar una disminución de la concentración volumétrica, lo que causa alta validez en métodos ulteriores como sedimentación y filtración. La floculación es mejorada por el combinado lento que consiente reunir poco a poco los flóculos; un misceláneo excesivamente agudo los rompe y extraordinariamente se tornan a constituir en su tamaño y fuerza inmejorables.

La floculación no solo acrecienta el volumen de las partículas de flóculo, asimismo desarrolla su peso. La floculación se logra perfeccionar por medio de la suma de un reactivo de floculación o un colaborador de floculación.

Los rellenos son partículas que se añaden a un material (plástico, material compuesto, hormigón) para reducir el consumo de un material más caro o para optimar algunas propiedades del material mezclado. Se esgrimen más de 53 millones de toneladas de masillas en todo el mundo, con una suma total aproximada de 16.000 millones de euros, en diferentes áreas de aplicación como papel, plásticos, cauchos, pinturas, revestimientos, adhesivos y selladores. Como tal, los rellenos, derivados por más de 700 empresas, se hallan entre las materias primas más grandes del mundo y concurren en una complejidad de efectos para las insuficiencias del usuario. Tiempo atrás, los saturados se utilizaban para servicios finales más económicos, donde se les llama extensores. Entre las 21 cargas más significativos, el carbonato de calcio tiene la mayor cuota de mercado y se maneja primariamente en la parte de los plásticos que viene de minerales naturales. La harina de madera y el aserrín se manipulan como cargas en plásticos termoendurecibles. En ciertas ocasiones, los rellenos asimismo vuelven más óptimas las propiedades de los productos, por ejemplo, en compuestos. De esta manera, se despliega una interacción química provechosa entre el material acogido y el relleno. Como consecuencia, se ha perfeccionado un grupo de tipos mejorados de cargas, nanocargas o productos con procedimiento superficial.

Los cuerpos de empaque de plástico esféricos se elaboran para filtros biológicos y goteadores, así como materiales plásticos de máximo beneficio y una superficie extensa para lechos móviles fluidizados y material de empaque para tratamientos de aire.

Los módulos lamelares están contruidos por láminas de PVC termoformado de gran calidad, encajadas con perfil invertido, cada dos láminas. La utilización como filtros coalescentes para

separadores de hidrocarburos, logra una alta adhesión de las más pequeñas partículas de aceite e hidrocarburos, proporcionando así su posterior separación del agua y su exclusión. De esta manera, se usan, con apreciables efectos, para aplicaciones en filtros biológicos y percoladores de baja carga, tanto aeróbicos como anaeróbicos, acrecentando elocuentemente su beneficio frente a los materiales convencionales. Además, su baja densidad y peso permiten aligerar notablemente la estructura de contención de los filtros, con el uso de materiales que no se podrían esgrimir con otro tipo de relleno (vitroresina o laminados ligeros). También, gracias a su pequeño peso, el fondo de drenaje de los filtros se logra ejecutar con una simple malla metálica o plástica. El material de relleno de plástico tiene el nombre de panel laminar y la sedimentación y la floculación se manejan en incontables cuantías en plantas de tratamiento de aguas residuales y potables municipales, domésticas y a base de aceite. De esta manera el panel crea una vertiginosa precipitación y floculación porque comprime la velocidad de las partículas ya que estas se acumulan (chocan); como hay una superficie en el panel lameral, se decantan ya que la corriente de agua lleva una dirección o un flujo y se contiene cabalmente de un flujo horizontal a un flujo vertical que provoca una alta eficiencia y esa es el uso de ese material.

### ***Proceso del Floculador con material de relleno plástico a escala***

Se llena un tanque de almacenamiento con agua cruda, esta pasa por un tubo que conduce a las torres de aireación, aplicándole sosa líquida, en estas torres se encuentra el carbón de coque, en la última bandeja se almacena el agua donde se agrega el floculante (corneta ), luego continúa su recorrido hasta llegar al tanque de floculación donde realiza un proceso de mezcla entre el agua y el floculante; En este tanque se encuentra el panel laminar por donde sube el agua y sale clarificada dejando atrás los sólidos en suspensión, siguiendo el proceso de purificación sale por un tubo

donde se dosifica el hipoclorito, llegando al último tanque llamado filtro de sílice donde pasa por una sección de grava. y arena de sílice que retiene los sólidos acumulados en el proceso de floculación. (Gómez y Jiménez, 2017)

Las ventajas de usar el panel lameral para la floculación son la reducción de costos, se requiere menos mano de obra, tiene mayor eficiencia y produce claridad en el agua filtrada, es el medio más duradero, solo requiere una pequeña planta de tratamiento para mantener una mejor capacidad y lograr agua adecuada para el consumo humano evitando enfermedades y tasas de morbilidad. Su diseño es innovador ayudando a implementar en diferentes zonas rurales para su bienestar. (Gómez y Jiménez, 2017)

## Capítulo VIII. Discusión

La Floculación reside en la conmovición de la masa solidificada que se utiliza para acceder al desarrollo y afluencia de los flóculos recientemente desarrollados, con el propósito de acrecentar el tamaño y darles el peso necesario para sedimentar con facilidad, así que los objetivos básicos de la floculación es reunir los microflóculos para formar partículas con gran peso específico, superior al del agua, que decantarlos eliminen la turbiedad y el color y se compacten los flóculos para ir disminuyendo el valor de absorción, para causar disminución de la concentración volumétrica, lo cual origina una alta validez en las técnicas ulteriores como la sedimentación y filtración.

Según los autores revisados, la floculación es favorecida por el mezclado lento que permite aglutinar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y adherir con la fuerza óptima. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta el peso. Así que la floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación.

Existen los floculadores mecánicos que realizan el funcionamiento por medio de equipo, motores reductores mecánicos; paletas, turbinas, entre otros, y los floculadores hidráulicos que funciona teniendo en cuenta la disipación de la energía hidráulica, discrepancia de nivel o pérdida de cargas hidráulicas.

En las subestructuras de filtración de las divisiones de tratamiento de agua, el medio poroso suele ser universalmente arena, arena + antracita o bien carbón activo en grano, y la materia en suspensión está compuesta por flóculos o microflóculos procedentes de la etapa anterior (decantación) de otra manera desarrollados explícitamente en el momento en que se sigue el proceso acreditado como "microfloculación sobre filtro" o filtración directa".

Los coladores de las infraestructuras, ordinariamente son abiertos, con velocidades de filtración entre 6 y 15 m/h, aprovechándose los filtros sellados a presión en infraestructuras chicas (menores de 50 m<sup>3</sup> /h). El material filtrante generalmente es arena. Se utiliza de la misma manera, otra materia prima como carbón activado en grano, por lo contrario, se fructifica la cabida de adsorción del carbón activado para estancar sustancias e impurezas orgánicas por la acción de la adhesión.

La incursión de la tecnología hoy en día es una ventaja y más cuando se habla de diseños y procesos extensos en el cual se abarca la “floculación de medios porosos” y sedimentador de contacto en un solo cuerpo que puede llegar a diferenciar cualquier punto de vista con los métodos físicos y de ensayos tradicionales. Ya que este incorpora instrumentos de alta tecnología; programa de computador entorno Visual Basic 6.0 con el cual se puede llegar a buenos resultados, disminuyendo al mínimo el de tiempo de residencia y por ende el volumen a ocupar del medio poroso. Además, no se dispondrá el uso de dispositivos electromecánicos, ni consumo de energía eléctrica y otros diferentes factores que disminuirán el impacto ambiental.

La implementación de estas recién optimizadas tecnologías, ya puestas en práctica no están formalizados en el reglamento técnico del sector RAS-2000 en Colombia y las variantes en las investigaciones indican que el tamaño del material poroso el cual se debe emplear con piedras de ½” a 2”, porque con pedruscos mas grandes no se logra todo el rango de gradientes de velocidad para floculación.

La floculación en medios porosos se emplea máxime en plantas chicas, puesto que su eminente eficacia y poco costo. Se diferencian dos tipos primordiales: floculación en un medio poroso fijo (o floculación en medio granular) y floculación en un medio poroso dilatado (floculación en lechos de arena expandida). Las dos se utilizaron primero en la India.

La floculación en medio granular se ha investigado con importancia en América Latina, en asistencia con el CEPIS/OPS (23,27) y ya es laboriosa con triunfo en ciertas subestructuras, reside en hacer desfilas el agua, posteriormente a haberle puesto los coagulantes, por medio granular comprendido en un tanque de forma de pirámide cortada y de flujo vertical (o canal de flujo horizontal). El flujo regularmente es laminar y la eficiencia es asombrosa. Puede flocular satisfactoriamente en pocos minutos.

Se diferencian dos tipos primordiales de floculación en medios porosos: floculación en un medio poroso fijo (o floculación en medio granular) y floculación en un medio poroso expandido (floculación en lechos de arena expandida).

El floculador de lecho de arena expandido consiste en una columna a través de la cual el agua cruda pasa en sentido ascendente, después de haber admitido el coagulante. Un material que se hasta ahora se está desarrollando y que logra suplantar u ocuparse colectivamente con la arena es la arcilla dilatada, o una especie de adherido de partículas de cerámica muy livianas, como mínimas piezas persistentes de esponjas con poros internos de diferentes tamaños, lo que hace a este material sea competente como medio filtrante en las técnicas de tratamiento del agua.

En oposición con la arena clásica y utilizando la estructura porosa este volumen de poros muestra una gran superficie interna, es un medio de filtración más abierto ya que esta, acrecienta a la capacidad convencional de conservación de los granos de arena, la capacidad de inmovilizar partículas en el interior de los poros, suministrando así un gran espacio para acumular partículas, de la misma manera, y como los poros son mínimos que los espacios entre los granos de arena, estos granos de arcilla expandida consiguen coger partículas más pequeñas que pueden dispersarse por entre los resquicios entre los granos de arena.

Para los autores revisados, la floculación en lechos porosos es una opción ante las metodologías de tratamiento tradicionales, sino que suministra para esta maniobra un desconocido procedimiento económico, cómodo, manejable y que es eficaz, además puede llegar a ser una solución factible al querer extender la cobertura de la provisión de agua específicamente para aquellas áreas territoriales vulnerables, en donde por las condiciones propias del ambiente, no se cuenta con los recursos tecnológicos y financieros que se demandan para maniobrar de manera eficiente una planta de tratamiento con alto grado de complejidad y elegancia.

## Conclusiones

La floculación es un procedimiento de movimiento suave e incesante de agua solidificada con la intención de constituir flóculos por medio del adherido de las partículas pequeñas concurrentes en el agua. Reside en una preparación del agua para constituir flóculos que puedan ser agitados de manera cómoda a través de la sedimentación o filtración. La eficacia del procedimiento de floculación es explícita, por el número de encuentros por unidad de tiempo entre las partículas coaguladas más microscópicas. Pueden darse floculadores mecánicos e hidráulicos. En los floculadores automáticos se consigue la agitación del agua con conectores tales como paletas, conjuntos de paletas o rastrillos

Con respecto a las distintas tipos de floculadores en lecho poroso se tiene especialmente la variación en los materiales, unos que son con medio plástico y otros con lecho de grava.

Las dos variantes que poseen los floculadores de medio poroso en comparación con los floculadores convencionales permiten dar una visión diferencial sobre las distintas formas de tratar el agua dependiendo de sus características, la geografía del lugar, la población a surtir, los recursos disponibles, los parámetros de diseño y en general, las distintas variables que deben ser tomadas en cuenta para el desarrollo eficiente de un proceso de tratamiento y especialmente teniendo en cuenta el material utilizado (Plástico o Grava)

Dentro de las principales ventajas que poseen los floculadores de medio poroso están la facilidad de instalación, la posibilidad de utilizar (evaluar) distintos materiales granulares para lograr una mejor la eficiencia, el costo de instalación y operación y la facilidad en cuanto a la limpieza del sistema.

La comparación entre floculadores convencionales Vs floculadores de medio poroso ha revelado elementos de interés para ambos que pueden ser considerados como ventajas al momento de tomar la decisión sobre su instalación. Sin embargo, es importante precisar que para el diseño de plantas de tratamiento en donde los recursos son limitados, las poblaciones son pequeñas resultan siendo más útiles y con tecnología apropiada los floculadores de medio poroso.

Gracias al número casi infinito de compartimentos que pueden establecerse en la unidad de floculación de medio poroso y el sentido ascendente con que fluye el agua, es posible que los tiempos de retención del agua en las unidades de floculación estén entre los 5 y 10 minutos y los gradientes oscilen alrededor del medio obtenido a nivel de laboratorio.

Los floculadores de medio poroso son sensibles a altos volúmenes de agua por segundo y a la gran concentración de material y elementos contaminantes en el agua. Esto hace que su eficiencia se reduzca considerablemente, por lo que no son recomendables para su instalación en plantas con caudal de diseño elevado.

Las condiciones para la formación de flócs son cercanas a las ideales (gradiente óptimo, ya que casi no hay zonas muertas ni cortocircuitos en las unidades) debido al tortuoso camino y gran oportunidad de contactos entre partículas preformadas y flócs retenidas en los huecos establecidos. Posibilidad de variación gradual y continua en los valores de gradiente de velocidad impuesta al proceso por el cambio en la sección transversal del reactor y / o cambiando el tamaño de los granos constituyentes del medio, es otra ventaja fundamental.

Se cree que el comportamiento favorable de los reactores de floculación en medio poroso se debe, a la ocurrencia de la pérdida de carga lineal que caracteriza al flujo generado en los huecos entre el medio granular como flujo laminar, combinado con la retención progresiva del flócs en

formación, que proporcionan mayores oportunidades de colisiones entre partículas o sustancias en el proceso de floculación (compuestos floculantes y aglomerados de partículas) (De Lima, 2010).

Luego de realizada la revisión bibliográfica es importante recomendar la proyección de ensayos para una propuesta de diseño. Estos ensayos deben ir más allá de las pruebas de laboratorio y asemejarse a la realidad del agua que pretende tratarse, de tal forma que las diferencias entre lo diseñado y la realidad sean mínimas y se logre garantizar una unidad de floculación que responda a las necesidades de tratamiento para las que fue planificada.

## Referencias Bibliográficas

- CEPAL, C. E. para A. L. y el C. (2014). *El gasto en protección ambiental en América Latina y el Caribe Bases conceptuales y experiencia regional*.
- BBC Mundo. (9 de Marzo de 2020). *BBC News Mundo*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-51772409>
- Banco Mundial. (01 de Julio de 2019). *Banco Mundial org*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>
- Barragán, S., & González, H. (2019). *Diseño y construcción de un prototipo de floculador en medio poroso para planta de tratamiento de bajo caudal*. Villavicencio, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia. Recuperado el [Tesis de pregrado], de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/14986>
- Cárdenas, J., & Cuesta, W. (2017). *Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable de la comunidad Nauchun Chunuicari, La Unión de la Parroquia San Bartolomé del cantón Sigsig, provincia del Azuay*. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay. Obtenido de <http://201.159.222.99/bitstream/datos/6664/1/12680.pdf>
- Carreño, E., & Castiblanco, C. (2016). *Optimización del floculador tipo alabama en la planta de tratamiento de acuanamay con la incorporación de mallas en cada una de sus camaras. . Universidad Católica de Colombia*. [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14031/4/documento\\_optimizaci%  
%93n%20del%20floculador%20tipo%20alabama%20en%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20acuanamay%20con%20l.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14031/4/documento_optimizaci%c3%93n%20del%20floculador%20tipo%20alabama%20en%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20acuanamay%20con%20l.pdf).
- Dalsasso, R. L. (2005). *Estudio de diferentes materiales para floculación en medio granular, antes de la filtración rápida descendente en el tratamiento de aguas para suministro*. Florianópolis: Universidades Federal de Santa Catarina. Obtenido de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/101606>
- Dalssaso, R. (2005). *Estudio de diferentes materiales para floculación en medio granular precedido a filtraciónn rápida descendente en tratamiento de agua para bastecimiento*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- De Lima, M. R. (2010). *estudos comparativos de floculação hidráulica para águas de abastecimento em reatores de fluxo ascendente dotados de seixos rolados e de materiais*

- sintéticos*. Campinas, Brasil: Universidad Estadual de Campinas - Unicamp. Obtenido de [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258656/1/Lima\\_MilmaRozade\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258656/1/Lima_MilmaRozade_M.pdf)
- Garzon, F., & Matinez, D. (2018). Prediseño y evaluacion de la planta de tratamiento de agua potable en el rio del municipio de Anapoima. . *Universidad Santo Tomas, Colombia*. .
- Gestión del Riesgo. (2016). *Sistema Nacional de Gestión del riesgo de Desastres*. Obtenido de [http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Plan\\_Pazcifico/ANEXO\\_1-MARCO\\_NORMATIVO.pdf](http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Plan_Pazcifico/ANEXO_1-MARCO_NORMATIVO.pdf)
- Gómez, K., & Jiménez, L. (2017). *floculador de lecho poroso en material de relleno plastico*. Villavicencio, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia. Obtenido de [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4349/1/2017\\_floculador\\_lecho\\_poroso.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4349/1/2017_floculador_lecho_poroso.pdf)
- Hernández, E. (2003). *Análisis por medio de ensayos del tiempo de retención y gradiente hidráulico del proceso de floculación de la planta de tratamiento de agua potable “lo de coy”*. Ciudad de Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2323\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2323_C.pdf)
- Ingeniería Sanitaria. (2016). *IngenieríaSanitaria.com*. Obtenido de [http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual2/ma2\\_cap3.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual2/ma2_cap3.pdf)
- Martín, I., Salcedo, R., & Font, R. (2014). *Mecanica de fluidos*. *Universidad de Alicante España*.
- Ortiz, M. (1985). *Floculacion en lecho poroso*. *Universidad Nacional de Colombia- Unirioja* .
- Parrado, C. (2017). *Implementacion de planta a escala para tratamiento de agua potable* . *Universidad Piloto de Colombia*.
- Pérez, J. A. (1981). *Manual de Potabilización del Agua*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>
- Piedrahita, C. A. (2015). *Software de diseño floculador de medio poroso y sedimentador de manto de lodos en un solo cuerpo*. Medellín: Corporación Universitaria. Obtenido de [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/5604/TEGP\\_PiedrahitaGomezEdgarAugusto\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20floculaci%C3%B3n%20en%20lechos%20porosos,produzca%20la%20clarificaci%C3%B3n%20del%20agua%20\(](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/5604/TEGP_PiedrahitaGomezEdgarAugusto_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20floculaci%C3%B3n%20en%20lechos%20porosos,produzca%20la%20clarificaci%C3%B3n%20del%20agua%20()

Rojas, S., & Torrado, F. (2007). *Implementación de una unidad piloto de floculación lastrada para evaluar su comportamiento en el tratamiento de aguas r o de aguas residuales domésticas*. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle.  
Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1577&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1577&context=ing_ambiental_sanitaria)

Vargas, L. (2014). Floculación . <http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>.