

Proceso de Coagulación - Floculación a Presión

Deyson Arley Acosta Rosero

Edison Yonathan López Miramag

Diplomado En Ingeniería Ambiental Y Herramientas Aplicadas En Recursos Hídricos

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento de Ingeniería Civil
Pamplona Norte de Santander

2022

Proceso de Coagulación - Floculación a Presión

Deyson Arley Acosta Rosero

Edison Yonathan López Miramag

Monografía De Grado Para Optar Al Título De Ingeniero Civil

Director

Julio Isacc Maldonado Maldonado

Ingeniero Civil

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil

Pamplona Norte de Santander

2022

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
CAPITULO 2. COAGULACIÓN	14
2.1 ¿Qué es la Coagulación?	14
2.2 ¿Qué son los Coloides?	15
2.3 Mecanismos de la Coagulación.	16
2.3.1 Compresión de la doble capa.	17
2.3.2 Adsorción y neutralización de cargas.	18
2.3.3 Atrapamiento de partículas en un precipitado.	19
2.3.4 Adsorción y puente.	20
2.4 Coagulantes empleados en el tratamiento de agua.	21
2.4.1 Sulfato de Aluminato.	22
2.4.2 Aluminato de Sodio.	23
2.4.3 Cloruro de Aluminio.	23
2.4.4 Cloruro Férrico.....	23
2.4.5 Sulfato Férrico.	24
2.4.6 Sulfato Ferroso (FeSO_4).....	25
2.5. Factor que influye en la coagulación.	25

2.5.1 pH del agua.	26
2.5.2 Turbiedad.	27
2.5.3 Sales disueltas.	27
2.5.4 Temperatura.	28
2.5.5 Tipo y dosis de coagulante utilizado.....	29
2.5.6 Condiciones de mezcla.	29
2.5.7 Sistema de aplicación de los coagulantes.	30
2.5.8 Color.	30
2.6 Tipo de Coagulación.	31
2.6.1 Coagulación por Adsorción.	31
2.6.2 Coagulación por Barrido.....	32
2.7 Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en el agua.	33

CAPITULO 3. IMPLEMENTACIÓN DE NUEVOS COAGULANTES NATURALES EN TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	35
3.1 Coagulantes naturales.	35
3.1.1 Tuna (<i>Cactus lefaria</i>).	36
3.1.2 Yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	37
3.1.3 Moringa oleífera.....	37
3.1.4 Semillas de Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i>).	38
3.1.5 Semilla de durazno (<i>Prunus pérsica</i>) S “Salcajá”	40
3.1.6 Retamo Espinoso (<i>Ulex Europaeus</i>).....	42
3.1.7 Plátano (<i>Musa paradisiaca</i>).	44
3.1.8 Pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	45

CAPITULO 4. MEZCLADORES DE COAGULANTES	46
4.1 Difusores en línea	46
4.1.1. Difusores en tubería.	47
4.2 Mezcladores estáticos en línea.....	48
4.3 Inyector: tubo Venturi.....	49
 CAPITULO 5. FLOCULACIÓN.....	50
5.1 Que es la floculación.....	50
5.2 Tipos de floculacion.....	52
5.3 Factores que afectan la floculación.....	54
5.4 Tipo de floculadores	56
5.5 Consideraciones generales para el diseño de los floculadores.....	57
5.6 Floculadores hidráulicos	59
5.6.1 Floculadores hidráulicos de pantalla o de tabique	60
5.6.2 Floculadores hidráulicos helicoidal	63
5.6.3 Floculadores hidráulicos de medio poroso	64
5.6.4 Floculadores hidráulicos tipo Alabama	65
5.6.5 Floculadores hidráulicos de mallas o telas.....	66
5.7 Floculadores mecánicos	67
5.7.1 Floculadores mecánicos de eje horizontal	69
5.7.2 Floculadores mecánicos de eje vertical.....	70
 6. NUEVOS DISEÑOS DE FLOCULADORES EN LA INDUSTRIA	70
6.1 Sistema de floculador tubular a presion.....	71

6.2 Implementación de energía fotovoltaica laboratorio	73
6.3 Implementación de energía fotovoltaica en una PTAP.....	74
6. CONCLUSIONES	75
7. REFERENCIAS.....	77

Lista de Tablas

Tabla 1. Principales sustancias presentes en el agua y porcentaje de reducción por medio de la coagulación.	34
Tabla 2. Coagulantes naturales.	35
Tabla 3. Análisis de resultados.	40
Tabla 4. Remoción de la turbidez.	46
Tabla 5. Clasificación de floculadores.....	57
Tabla 6. Criterios generales de diseño de floculadores.	59
Tabla 7. Criterios de diseño de floculadores mecánicos.....	68
Tabla 8. Fórmulas de floculadores tubulares.	72

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Remoción de la materia orgánica por coagulación-floculación.....	15
Ilustración 2. Distribución de tamaños de las partículas en el agua.	16
Ilustración 3. Fuerza de Atracción de Van der Walls.	17
Ilustración 4. Reestabilización de Partículas.....	19
Ilustración 5. Atrapamiento de las Partículas en un Floc.....	20
Ilustración 6. Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión.	21
Ilustración 7. Condiciones de Mezcla.	30
Ilustración 8. Coagulación Por Adsorción.	32
Ilustración 9. Coagulación por Barrido.....	33
Ilustración 10. Tuna (Cactus lefaria).....	37
Ilustración 11. Planta de Moringa oleífera.....	38
Ilustración 12. Semilla de tamarindo.	39
Ilustración 13. Semilla de durazno (Prunus pérsica).....	41
Ilustración 14. Retamo Espinoso (Ulex Europaeus).	42
Ilustración 15. Plátano (Musa paradisiaca).	44
Ilustración 16. Pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus).....	45
Ilustración 17 Difusor en tubería.	47
Ilustración 18. Difusor en tubería.	48
Ilustración 19 Mezclador estático en línea.....	49
Ilustración 20 Tubo Venturi.....	49
Ilustración 21. Floc.	50

Ilustración 23. Floculación pericinéctica y ortocinéctica.	53
Ilustración 24. Ensayo de jarras.	54
Ilustración 25. Turbiedad del agua.	55
Ilustración 27. Floculador de eje horizontal.	62
Ilustración 28. Floculador de eje vertical.	63
Ilustración 29. Floculador helicoidal.	64
Ilustración 30. Floculador poroso granular.	65
Ilustración 31. Floculador de Alabama.	66
Ilustración 32. Floculador tipo malla.	67
Ilustración 33. Floculador de eje horizontal.	69
Ilustración 34. Floculador mecánico de eje vertical.	70
Ilustración 35. Floculador Tubular.	72
Ilustración 36. PTAP, con energía fotovoltaica.	73
Ilustración 37. Ahorro eléctrico potencial.	74

Resumen

Desde tiempos antiguos, el hombre siempre se ha encontrado en la necesidad de potabilizar el agua que consume por razones de salud, ya que el agua en su estado natural posee: bacterias, microorganismos, sustancias orgánicas e inorgánicas, que pueden afectar el bienestar de la población causando enfermedades gastrointestinales que puede llevar a la muerte sino se trata a tiempo. Por ello, el ser humano se ha visto en la necesidad de mejorar las condiciones del agua que consume. A través de la historia se han implementado métodos que se han ido perfeccionando para brindar a su comunidad calidad de agua potable, los métodos empleados son los siguientes: coagulación, floculación, decantación y filtración.

El principal objetivo de la potabilización del agua es la eliminación de los sólidos suspendidos, agentes patógenos y la corrección de las características fisicoquímicas del agua que no la hacen apta para el consumo. En este tema de investigación se va a profundizar los diferentes tipos coagulantes tanto naturales como sintéticos y los distintos sistemas de floculadores que permitan analizar sus tiempos óptimos de trabajo en el momento de aglomerar los flóculos o flocs, obteniendo un costo beneficio a la hora de implementarlos. Cabe mencionar que estos dos pasos son fundamentales en la potabilización del agua debido a que después de ello no se puede hacer nada para corregir la calidad del agua. También, esta investigación está enfocada en buscar la implementación de nuevas fuentes de energías renovables que permitan disminuir la contaminación ambiental.

Palabras claves: Potabilización, sistemas, costo - beneficio, tiempo, métodos.

Abstract

Since ancient times, man has always seen the need to make the water he consumes drinkable for health reasons, since water in its natural state has: bacteria, microorganisms, organic and inorganic substances, which can affect the well-being of the population. causing gastrointestinal diseases that can lead to death if not treated in time. For this reason, human beings have seen the need to improve the conditions of the water they consume. Throughout history, methods have been implemented that have been perfected to provide your community with quality drinking water, the methods used are the following: coagulation, flocculation, decantation and filtration.

The main objective of purifying water is the elimination of suspended solids, pathogens and the correction of the physicochemical characteristics of the water that make it unfit for consumption. In this research topic, the different types of coagulants, both natural and synthetic, and the different systems of flocculators that allow analyzing their optimal working times at the time of agglomerating the flocs or flocs, obtaining a cost-benefit when implementing them, will be deepened. It is worth mentioning that these two steps are the most important in the purification of water because after that nothing can be done to correct the quality of the water. Also, this research is focused on seeking the implementation of new renewable energy sources that allow reducing environmental pollution.

Keywords: Purification, systems, cost - benefit, time, methods.

Introducción

El planteamiento de esta monografía busca dar a conocer como es el proceso de coagulación y floculación a presión en PTAP, de manera física y química conociendo todos los aspectos naturales del agua al momento de potabilizar cualquier recurso hídrico, para ello debemos empezar por la primera etapa que es la coagulación que principalmente se encarga de eliminar partículas coloidales o microorganismos presentes en el agua agregando coagulantes naturales o sintéticos que se encargan de la formación de floc, mediante la unión de moléculas, esto se debe a procesos de ionización mediante la neutralización de las cargas eléctricas presentes en el agua mediante la implementación de distintas dosis que se determinan en el ensayo de jarras. Después de ello se procede a la floculación que consiste en la formación del floc mediante la suave agitación del agua para que el floc se una y logre obtener el peso suficiente para sedimentarse en el fondo del tanque por el cual se investigaron parámetros de trabajo de caudales tanto en floculadores mecánicos e hidráulicos conociendo sus ventajas y desventajas al momento de implementarlos y saber a qué tipo de población se debe usar el floculador. Cabe resaltar que esta monografía va a enfocada a la investigación de nuevas técnicas de coagulación y floculación existentes en el campo de la PTAP, como por ejemplo, implementar coagulantes naturales como: la pitahaya, la semilla de tamarindo, la pulpa de plátano, etc., conociendo sus resultados efectivos y eficaces al momento de aplicarlos dejando a un lado los coagulantes sintéticos que son costosos, por lo contrario de los coagulantes naturales el procesamiento son más económicos y se obtienen resultados satisfactorios al momento de elaborarlos. En los floculadores se busca la implementación de energías renovables que permita reducir el impacto ambiental además de ello esto genera menos costos en el consumo de energía eléctrica y se nombrara en que parte del país se está implementando esta técnica.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Determinar los tipos de coagulantes y sistemas de floculadores a presión a implementar en una PTAP, dependiendo las características físico – química del agua, cumpliendo lo establecido en la normativa RAS 2000.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar los mecanismos de coagulación teniendo en cuenta los organismos coloidales y microorganismo que se encuentran en el agua.
- Explicar las diferentes causas que influye en el desarrollo de la coagulación teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas presentes en aguas turbias.
- Establecer los diferentes coagulantes utilizados en la purificación del agua tanto sintéticos como naturales.
- Determinar las características de diseño de los floculadores a implementar dependiendo de la zona y la densidad de la población que va a suplir la demanda.
- Identificar las ventajas y desventajas, de la aplicación de floculadores hidráulicos o mecánicos.
- Buscar nuevas fuentes de energía renovable que permita reducir costos de energía eléctrica y minimizar el impacto ambiental.

CAPITULO 2. COAGULACIÓN

2.1 ¿Qué es la Coagulación?

La captación de las aguas superficiales para la utilización casera o industrial en donde, debe pasar por una variedad de mediciones, los cuales, aseguren la calidad necesaria para el abastecimiento y consumo de la población. La desestabilización eléctrica de moléculas coloidales es etapa fundamental en cualquier fase de adecuación. Esta particularidad, conocida como coagulación, deja que estos solidos pequeños diluidos en el fluido, se acerquen unos con otros para acumularse y así generara partículas más grandes que se precipiten por gravedad.(Carril et al., 2020)

La interacción depende del debilitamiento de las moleculas y los coloides mediante la aplicacion de coagulantes, creando agreados mas grandes conocidos como floculos, para así lofrar la eliminacion y separacion de los mismos. Es así, que se logra eliminar la turbidez y ayuda a suprimir los microorganismos y la materia organica, así como de los componentes que aportan sabor y olor.(Cárdenas, 2000)

La implementación de sustancias quimicas como los coagulantes y el mezclado de los mismos permite que las partículas coloidales se separen por la inestabilidad que genran estos quimicos y así neutralicen las fuerzas que los concervan. En la ilustracion 1, se identifica la formacion de flóculos debido a las anulacion de las cargas electricas que se encuentras en la parte superior de los coloides esto mediante la aplicación de sustancias quimicas.

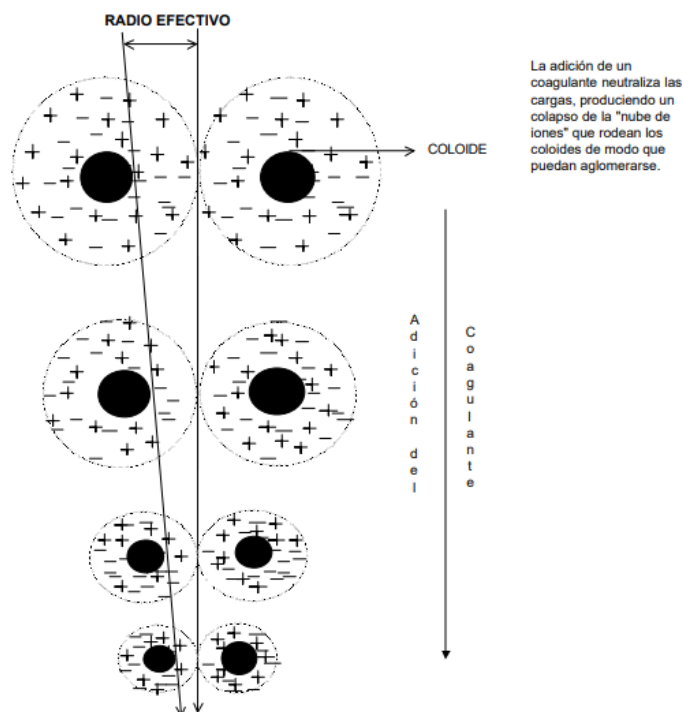


Ilustración 1. Remoción de la materia orgánica por coagulación-floculación.

Fuente: Tomado de, (Cárdenas, 2000).

2.2 ¿Qué son los Coloides?

Según Digital SA (Como se sito en (Lozano & Lozano, 2015)), “Un coloide puede ser definido como una micropartícula en sus-pensión formada por un sistema de fases heterogéneas que no se separan. Los coloides se mueven constantemente describiendo trayectorias zigzagueantes debido a los choques con las moléculas del agua”.

Los coloides son partículas sólidas muy pequeñas las cuales no sedimentan por acto de gravedad, pero si pueden ser removidas mediate la utilización de técnicas como coagulación, filtración o acción biótica. Su tamaño varía entre 1 a 100 mm. (Rodríguez, 2008). Las particulas coloidales encontradas en el agual, cuentan con cargas negativas y positivas, generando asi una repulcion de cargas electricas dificultando su remoción debido a que se encuentran aisladas.

En la ilustración 2, se puede observar como están distribuidas las partículas coloidales de acuerdo a su tamaño.

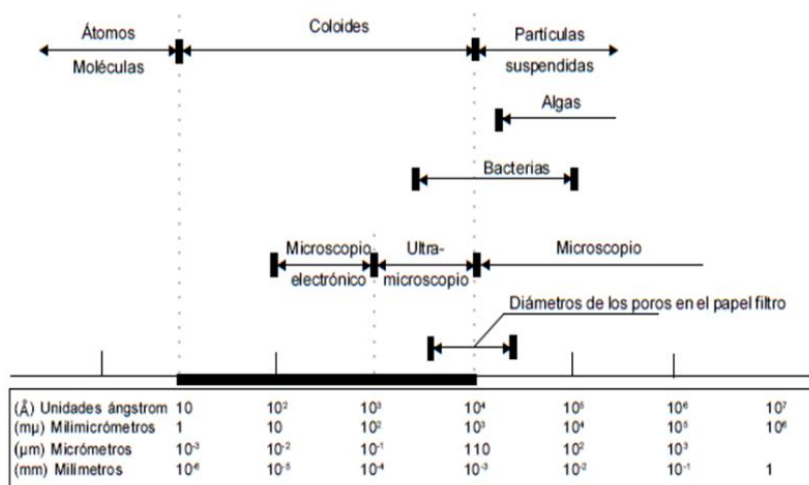


Ilustración 2 Distribución de tamaños de las partículas en el agua.

Fuente: Tomado de, (RODRIGUEZ, 2008).

2.3 Mecanismos de la Coagulación.

Teniendo en cuenta que los coloides y los microorganismos presentes en los fluidos, los cuales, generan cargas negativas impidiendo su unión. Es por ello, que se busca afectar químicamente el agua mediante la aplicación de productos industriales tal como las sales de hierro, sales de aluminio o polímeros sintéticos que genere la coagulación. Existen cuatro mecanismos fisicoquímicos que ayudan a la desestabilización.

- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

2.3.1 Compresión de la doble capa.

Las partículas que se encuentran en el agua la mayoría cuentan con cargas netas negativas, en donde la doble capa eléctrica funciona con cargas negativas y positivas que encontramos en la sustancia. Es así, que se encoge la doble capa eléctrica y alza la fuerza iónica (en otras palabras, reduce las fuerzas de repulsión).(Spinelli & Spinelli, 2001)

Al aproximarse dos partículas similares, estas generan las fuerzas de repulsión, el cual, las separa en función de la distancia, al agregar cargas de iones opuestas la fuerza disminuye, debido a la adición de los iones del coagulantes generando una atracción (“ E_a ” Fuerzas de atracción de Van der Walls), además, estas dependen de las partículas, la densidad y los átomos que lo componen. (Cárdenas, 2000).

La curva de atracción de Van der Walls permite explicar el fenómeno de desestabilización que se encuentra en los coloides como se puede observar en la ilustración 3, en donde la distancia, que las aleja de las partículas es mayor a “ L ”, generando que estas no se atraigan. Donde “ E ” se conoce como la energía que las conserva separadas.

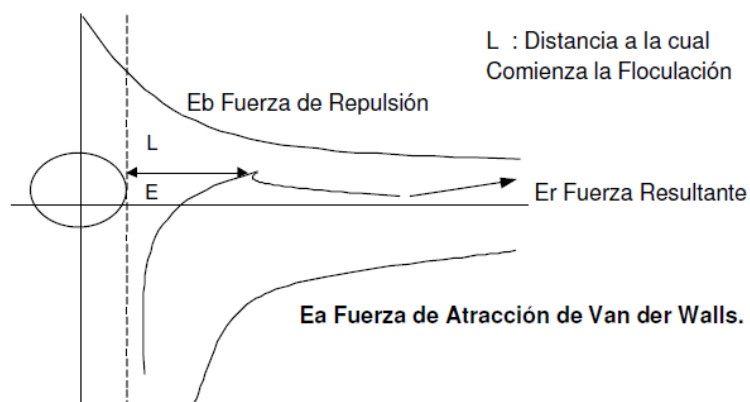


Ilustración 3. Fuerza de Atracción de Van der Walls.

Fuente: Tomado de, (Cárdenas, 2000).

Aunque, el desequilibrio por comprensión de doble capa no es un procedimiento empírico para el tratamiento de agua, porque la aglutinación de sal necesaria para la desestabilización, puede acercarse llegar a unos valores presentes en el agua de mar. (Calle & Zambrano, 2015)

2.3.2 Adsorción y neutralización de cargas.

Dado que en el agua se encuentran una gran parte de las partículas, estas cuentan con cargas negativas con pH imparciales, logrando ser debilitadas por adsorción o por la hidrolización de las sales metálicas o cationes cargados enfáticamente o por las sustancias naturales catiónicos. La porción (en mg/L) el resultante en un proceso de floculación es pequeño en cuanto a la dosificación de sales o los polímeros. Con la medición adecuada, se eliminará la carga y las partículas se unirán. No obstante, si en caso de que la porción sea demasiado grande, las moléculas, no serán eliminadas, a cambio de ello, serán estables y obtendrán cargas positivas en el futuro. (Maldonado, 2018)

Tras la hipótesis de la doble capa, se considera como la coagulación la abrogación de la probable retracción potencial obtenida por la expansión de los elementos de coagulación y floculación, en donde los movimientos brownianos serán causados por las fuerzas de mezclado, este método no es adecuada y requiere una energía correspondiente esencial, por ejemplo, la desestabilización mecánica o accionada por presión. En el momento en que se añade demasiado coagulante en el agua, reduciendo las cargas de las moléculas; esto puede tener sentido por la forma en que el coagulante se retiene sobre la capa externa de la molécula, entregando cargas reordenada, como se observa en la ilustración 4. (Cárdenas, 2000).

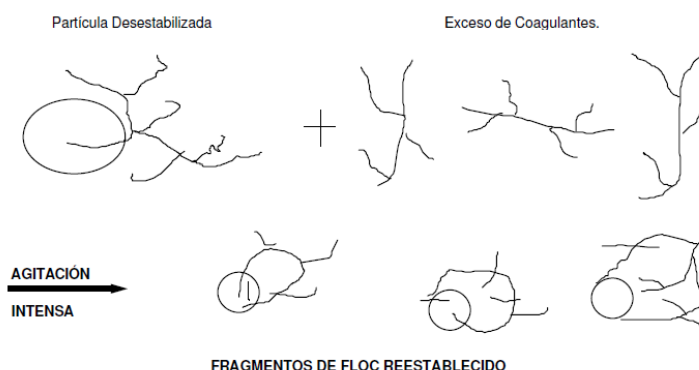


Ilustración 4. Reestabilización de Partículas.

Fuente: Tomado de, (Cárdenas, 2000).

2.3.3 Atrapamiento de partículas en un precipitado.

Mediante el proceso de coagulación las moléculas que se debilitan quedan sujetas en el interior del flóculo, una combinación de partículas fuertes, cuando se añade una cantidad adecuada de coagulante sintético; el aceleramiento en la producción del precipitado se debe a la presencia de sustancias específicas como el amonio y las partículas coloidales. Estas últimas producen, durante el desarrollo del flóculo, una peculiaridad conocida como trabajo en anillo, que tiene un proceso opuesto entre el nivel del coagulante a emplear y la turbidez del activo, es decir que, el activo tenga una centralización crítica en cuanto a las moléculas que se pueden hallar en el agua, para así, requerir la menor cantidad de coagulantes en cada ciclo de coagulación. (Solórzano, 2010).

Agregando un coagulante a pequeñas dosis de agua con baja turbidez es como se maneja este caso. La formación de flóculos y creación de la red tridimensional se realiza debido a que los agentes de coagulación detienen los coloides. (Bravo, 2017). En su mayoría, las sales trivalentes, por ejemplo, el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (sulfato de aluminio), o el FeCl_3 (cloruro férrico) se

utilizan como coagulante, donde, los flóculos se encuentran enmarcado de átomos de Al o Fe, (Cárdenas, 2000), creando hidróxidos de sales que ayuden a la elaboración de precipitados. Además, se comprobó que una alta turbidez requiere una mayor agrupación de coagulantes, como se observa en la ilustración 5. Creando hidróxidos de sales que ayuden a la elaboración de precipitados. Además, se comprobó que una alta turbidez requiere una mayor agrupación de coagulantes.

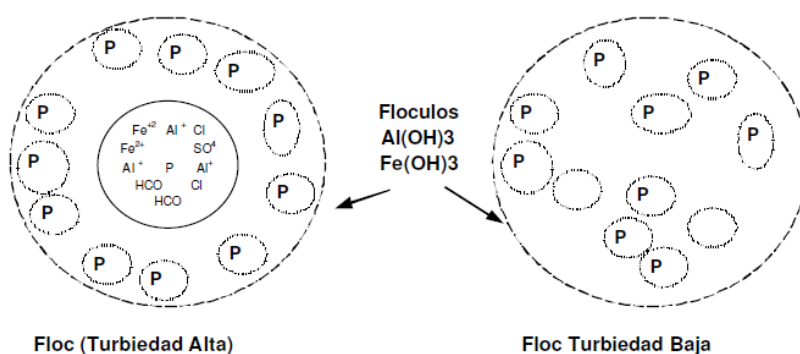


Ilustración 5. Atrapamiento de las Partículas en un Floc.

Fuente: Tomado de, (Cárdenas, 2000).

2.3.4 Adsorción y puente.

Para este tratamiento se utilizan partículas poliméricas de enorme peso subatómico como especialista en coagulación, que se comunican con la capa exterior del coloide también conocido como adsorción. Este proceso crea una extensión con los coloides, debido a su tamaño, lo que le permite absorber unas cuantas partículas. (Avila & Rodriguez, 2020)

El uso de polímeros aniónicos tiene más sentido económico porque cierran la brecha entre las cargas negativas de las partículas pequeñas y las más grandes. Esta teoría también es llamada

“teoría del puente” y se explica por las propiedades químicas de cadena larga de los polímeros aniónicos. Cuando se usa polímero para cerrar la brecha entre las partículas, sus extremos pueden absorber partículas coloidales. Esto permite que otras áreas del polímero absorban libremente otras partículas. En consecuencia, el uso de polímero ayuda a estabilizar una mezcla inestable al absorber el exceso de material. (Cárdenas, 2000).

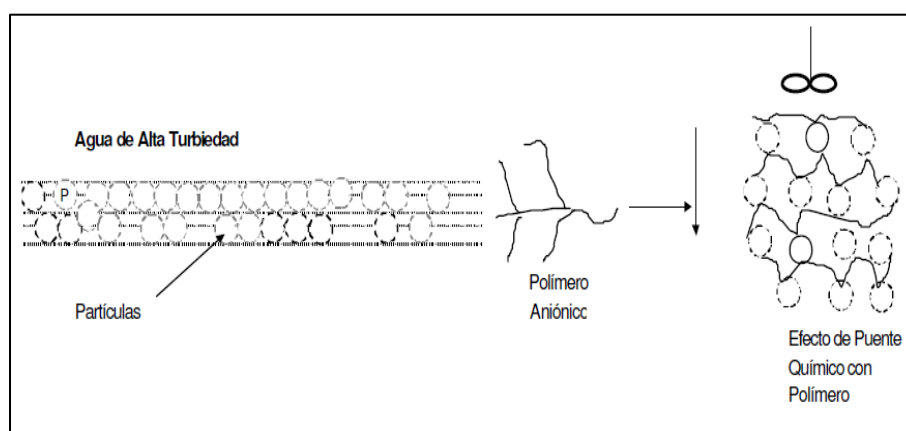


Ilustración 6. Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión.

Fuente: Tomado de, (Cárdenas, 2000).

2.4 Coagulantes empleados en el tratamiento de agua.

Generalmente los compuestos que se emplean en el tratamiento del agua en su mayor parte son sales de hierro y de aluminio; rara vez se emplean elementos de ingeniería, siendo algunos los polielectrolitos catiónicos, en donde los coagulantes siguen a los coloides presentes en el fluido a través iones positivos, que elimina los aniones.

Los coagulantes más utilizados dependen los productos sintéticos, es decir, sulfato de aluminio y cloruro de hierro. En un principio, se consideraba que su actividad era el resultado de la idea trivalente de los metales, que se presenta en forma de cationes Al^{3+} y Fe^{3+} , que son

excepcionalmente eficaces para debilitar los coloides cargados negativamente. Posteriormente, las partículas metálicas trivalentes se hidrolizan rápidamente en el agua, lo que afecta enormemente a su forma de comportarse como coagulantes. (Solórzano, 2010).

Los coagulantes que más se utilizan para desestabilizar las moléculas coloidales y formar los flóculos en el ciclo de coagulación son:

- Sulfato de Aluminio.
- Aluminato de sodio.
- Cloruro de Aluminio.
- Cloruro Férrico.
- Sulfato Férrico.
- Sulfato Ferroso.

2.4.1 Sulfato de Aluminato.

También conocido químicamente $Al_2(SO_4)_3 + 14H_2O$, es uno de los coagulantes que más se ha utilizado en el manejo de aguas turbulentas. Comercialmente este coagulante se presenta en estado sólido en forma de polvo o granos también, se lo puede encontrar en forma soluble. En el momento en que el compuesto se añade en el agua, estas partículas al separarse se consolidan con los coloides, los cuales, cuentan con iones negativos, para solventar este problema se disminuye el potencial “z” hasta el punto en que pueda producirse una restricción en las moléculas. El aluminio puede igualmente combinarse con el hidróxido del agua (OH^-), generando así el hidróxido de aluminio, este producto adsorbe partículas positivas y elimina las negativas de los coloides, ayudando a terminar su acumulación. (Castrillón & Giraldo, 2012).

2.4.2 Aluminato de Sodio.

Esta sustancia se encuentra regularmente en el agua, principalmente porque es un compuesto que se encuentra en la estructura de la arcilla, este material se puede encontrar de forma soluble, es el causante que el agua sea turbia. La alta alcalinidad del Aluminato de Sodio lo hace excepcionalmente útil como coagulante en el tratamiento del agua, ya sea para ser utilizado solo o en mezcla con Sulfato Férrico o Sulfato de Aluminio, disminuyendo al máximo la utilización de correctores de pH, siendo así, cal, soda cáustica o carbonato de sodio.

2.4.3 Cloruro de Aluminio.

Otro tipo de coagulante que también se pueden utilizar como coagulante es el cloruro de aluminio o también llamado aluminato de sodio. Esta sustancia química se encuentra en estado sólido y líquido, la última opción es la más utilizada debido a su masa volumétrica el cual es igual al Oxido de aluminio. (Barrenechea, n.d.).

2.4.4 Cloruro Férrico.

Funciona admirablemente con unidades de pH tan altas como 11 y tan bajas como 4. No obstante, para los valores entre 6 y 8 la mejor opción es el sulfato de aluminio. Es muy apreciado en aguas ácidas y blandas muy coloridas. En el mercado se encuentra de dos formas líquida o en cristales, este último es de color pardo, se licua eficazmente en agua a una temperatura de 34 °C, por lo que hay que estar pendiente y cuidar del calor a que se expone. Tiene entre sus desventajas la disposición de un limo excepcionalmente destructivo, que mancha las superficies y las corrientes de agua, lo que hace que este compuesto sea difícil de tratar. Es más eficiente para aguas residuales que para agua potable; sea como sea, crea grandes resultados en las aguas subterráneas

con alta sustancia de hierro. Las dosis más utilizadas para la explicación van de 5 a 150 mg/L, dependiendo de la naturaleza del agua cruda. Se prescribe disolverlo y aplicarlo en una solución entre el 3 y 4%. Suponiendo que esté en forma líquida, se sugiere aplicarlo sin dilución. (Lozano & Lozano, 2015)

2.4.5 Sulfato Férrico.

Esta sustancia puede ser dosificado en forma solida o liquida, generalmente es cristalino y de color verdoso, extremadamente soluble. Ya que al diluirlo se hidroliza y forma corrosivo sulfúrico. No es tan destructivo como otros coagulantes, aunque, debe ser tratado empleando equipos seguros ante la corrosión, el pH ideal está en el rango de 3,5 y 11 unidades, como el cloruro férrico y se utiliza generalmente en aguas que contengan cantidades altas de manganeso, debido a que mejora la expulsión de pH superior a 9. (Rodríguez, 2008).

Produce enormes flóculos que no son difíciles de eliminar, sin embargo, produce unas grandes cantidades de corrosión, es por ello, que este tratamiento no se usa en la potabilización del agua; siendo mayormente empleado en aguas residuales o en aguas de gran contenido de hierro.(Martínez & Gonzáles, 2012). Las porciones comúnmente utilizadas para la explicación van de 10 a 150 mg/L, dependiendo de la naturaleza del agua cruda. Se aplica en disposiciones del 25% y nunca por debajo del 1%.

2.4.6 Sulfato Ferroso (FeSO_4).

Comercialmente se encuentra en forma de granos de color verde con características similares a cristales, estos son solubles. Este coagulante responde a las aguas alcalinas, con las que se mezclan formando el bicarbonato ferroso. Para que este coagulante funcione con eficacia se debe producir una oxidación de partículas ferrosas a partículas férricas insolubles. La oxidación de las partículas férricas se logra empleando cal y la circulación del aire o del oxígeno diluido en agua; posteriormente, en términos generales, para aumentar el pH es necesario agregar cal al sulfato ferroso, la cantidad adecuada debe producir un cambio en las partículas férricas creando el hidróxido férrico. Este sulfato se utiliza para aguas turbias y firmemente solubles con un pH superior a 8 y, por lo tanto, es insatisfactorio para el tratamiento de aguas blandas, sobre todo si varía o se eleva su contenido, debido a que su alcalinidad interrumpe la eliminación del color. (Rodríguez, 2008).

2.5. Factor que influye en la coagulación.

A pesar de que la coagulación pueda parecer una cuestión básica, es el punto principal en la clarificación del agua. Una coagulación deficiente, ya sea por defectos de configuración que influyan en los tiempos y pendientes, o por errores en la medición o utilización del coagulante en un punto inadecuado, perjudicará realmente a todos los ciclos siguientes, provocando un aumento de los gastos de explotación. (Lozano & Lozano, 2015). Es así, que las características fisicoquímicas que se encuentran en el agua, existen otros factores que influyen en la etapa de la coagulación:

- Potencia de hidrogeno (pH)

- La turbiedad.
- Las Sales disueltas.
- La Temperatura del cuerpo hídrico.
- Tipo y dosis de coagulante.
- Condiciones de Mezcla.
- Método de utilización de los coagulantes.
- El color.

2.5.1 pH del agua.

El pH es el principal elemento a tener en cuenta durante la interacción de la coagulación, debido a que el pH cuenta con rangos diferentes en cada agua a tratar, este punto es bastante importante, ya que, puede influir en la purificación del agua. El rango en el cual debe estar el pH depende del compuesto que se utiliza, es decir, el coagulante y el recurso a emplear.

Cuando la coagulación se realiza en un nivel de potencial de hidrogeno adecuado del activo, la numero de este producto deberá ampliarse, esto para que el nivel de pH en el agua sea aceptable; en el caso de emplearse sales metálicas como coagulantes estos contarán con diferentes rangos, es el caso de las sales de aluminio que se encuentra entre 6,5 y 8, por otro lado, las sales de hierro están entre 5,5 y 8,5.

Los coagulantes metálicos son excepcionalmente delicados con el pH y la alcalinidad. En caso de que el pH no esté dentro del alcance legítimo, la explicación es debido a que las sales metálicas pueden solubilizarse, provocando algunos inconvenientes en el tratada de los fluidos.

Entre más bajas sean las medidas del coagulante, más notable serán los flóculos a los diferentes niveles de pH. (Castrillón & Giraldo, 2012)

2.5.2 Turbiedad.

Las concentraciones pequeñas de coloides necesitan grandes cantidades de coagulantes, debido a que no hay suficientes moléculas que permitan golpearse unas con otras y así se aglomeren, por lo que en estos casos se deben añadir partículas de arcilla para aumentar la turbidez antes de la aplicación del coagulante, o se deben utilizar porciones de sobresaturación para avanzar en el método de barrido. (Lozano & Lozano, 2015).

Es un modo de estimar las suspensiones de las moléculas que se encuentran en los fluidos; estimando el impacto de disipación presente en la entrada de luz en las partículas, además, es un componente en el estado de las moléculas. Las aguas superficiales turbias se deben generalmente a las partículas de sílice con medidas que van de 0,2 a 5 μm . Los coagulantes que contienen estas partículas consiguen fácilmente teniendo un pH que se encuentre en los rangos ideales. En general, es más sencillo emplear coagulantes en aguas con baja turbidez y aguas residuales domésticas, es por eso, que se necesita una mayor cantidad de coagulante que en aguas poco contaminadas. (Cárdenas, 2000).

2.5.3 Sales disueltas.

Los diferentes tipos de sales que se encuentran en el líquido, influyen en la coagulación y floculación, (Cárdenas, 2000), las cuales se mencionan a continuación:

- Modificación de un pH optimo.
- Modificación en los tiempos que se requieren en la floculación.
- Identificar la dosis que se requiere de coagulantes.
- Reajustar la dosis de coagulantes que se encuentran en el afluente. Es decir, incrementa la cantidad de coagulante, es así que requiere cantidades altas.

2.5.4 Temperatura.

Este factor puede afectar esencialmente la coagulación y la floculación. Por regla general, el ritmo de desarrollo de los flóculos y la eficacia de la expulsión de las moléculas primarias disminuyen al bajar la temperatura. La consecuencia adversa de la temperatura será en general más evidente en la dilución de las suspensiones. La temperatura influye considerablemente diluyendo los elementos metálicos y en los elementos el ritmo de desarrollo de hidrolisis. Por regla general las sales de hierro y aluminio disminuyen su solubilidad al bajar la temperatura, generando así que el pH que es menos soluble incremente. Cuando existen temperaturas bajas, los microorganismos que poseen varios núcleos generalmente cuentan con un mayor tiempo. Cuando se amplía la temperatura, aumenta el ritmo de los choques entre las partículas, mejorando la expulsión de color o la turbidez del agua tratada. (Calle & Zambrano, 2015).

La dificultad en la sedimentación de los flóculos se encuentra por el incremento de la viscosidad, debido a las bajas temperaturas del agua. (Cárdenas, 2000).

2.5.5 Tipo y dosis de coagulante utilizado.

Los coagulantes que se encuentran en función de la calidad y los atributos de los fluidos, funcionan en formas diferentes. Es así, que los tiempos de elección de los coagulantes debe realizarse en laboratorios que cuenten con los implementos necesarios. Se considera que las sales de hierro son más eficientes que las de aluminio, ya que estructuran flóculos más pesados y su campo de acción es más amplio en comparación con el pH. (Gómez, 2005). Las dosis extremadamente bajas para lograr la desestabilización de las moléculas; sin embargo, un sobre carga de coagulante tampoco puede funcionar, debido a que cambian las cargas moleculares presentes en los coloides (de negativa a positiva) provocando un reajuste de la dispersión de las mismas. Una dosis de sobresaturación produce muchos hidróxidos, por lo que se produce una la condición de barrido. (Lozano & Lozano, 2015).

El tipo y dosis de coagulante a aplicar será establecida mediante el ensayo de tratabilidad como lo es la prueba de jarras. Cuando el agua potable está en activa es necesario una porción de coagulante, es variable y debe establecerse algunas veces cada día, sobre todo en caso de que llueva y cambien las cualidades del agua bruta. (Lozano & Lozano, 2015).

2.5.6 Condiciones de mezcla.

El sistema de mezclado es vital para garantizar el mezclado del coagulante con el agua a tratar; se debe tener presente las respuestas que se generan entre el coagulante y las partículas coloidales, estas se producen muy rápidamente, por lo que el mezclado no debe retrasarse demasiado ya que hace que los flóculos formados durante la reacción se separen y no vuelvan a unirse. (Nieto & Orellana, 2011).

2.5.7 Sistema de aplicación de los coagulantes.

La reacción óptima de coagulante con respecto al agua se genera cuando se tiene en cuenta la respuesta de la mezcla entre el coagulante y el líquido. La medición debe ser uniforme y estable, a tal punto que se disperse el coagulante y se mezcle totalmente con el fluido. De acuerdo a los parámetros de dosificación debe dar una velocidad de flujo consistente y efectivamente móvil; en la ilustración 7 se puede ver como se mezcla el agua con los coagulantes; considerando que la mezcla perfecta es cuando el entra en contacto con la masa del fluido. Esta situación se adquiere a través de los herrajes en la cantidad a usar, por ellos, se tiene en cuenta los coagulantes fuertes, así como para los fluidos, que deben ser ajustados y observados realmente en la práctica a través de pruebas de medición. (Cárdenas, 2000).

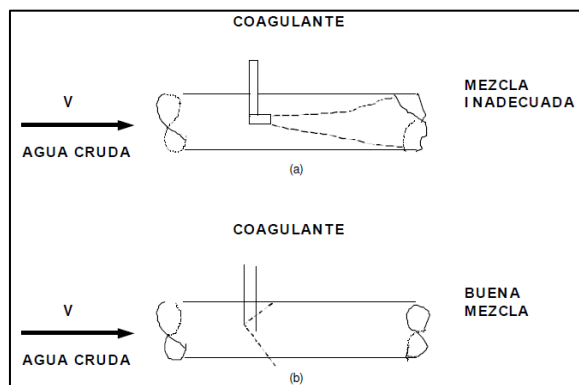


Ilustración 7. Condiciones de Mezcla.

Fuente: Tomado de, (Cárdenas, 2000).

2.5.8 Color.

Para lograr una eliminación ideal del color del agua, el pH debe estar en el rango adecuado para ser empleado en la coagulación o floculación. Cuando el pH baja, el color se reduce, además,

existe una relación inmediata en la eliminación del color y la aplicación del coagulante, siendo así como se logra rastrear los pequeños niveles de color. (Domínguez, 2010)

Este factor a veces se debe al emplear sales como el hierro o el manganeso, generalmente se debe a la mezcla natural que se crea mediante la desintegración de los productos naturales.

2.6 Tipo de Coagulación.

Estos están compuestos principalmente por 2 aspectos: el primero es la coagulación por adsorción, el cual, adsorbe las especies hidrolíticas de los coloides, generando equilibrio en las cargas y la segunda es la coagulación por barrido, este produce una cooperación del hidróxido saturado y los coloides. (Vargas, 2004).

2.6.1 Coagulación por Adsorción.

En el momento en que se añade sales metálicas en agua bajo estados especiales como la cantidad de coagulante y nivel de pH, creando un tipo de hidrolisis progresivo por el disolvente. Denominado como neutralización de carga (también llamado desestabilización por adsorción). Llegado el momento en que el agua presenta niveles de coloides es alta, su distancia será pequeña. Por ende, la atracción será más grande y la energía esperada será más pequeña provocando así su desestabilización, esto se puede observar en la ilustración 8. (Vargas, 2004). Este tipo de coagulante ocurre cuando el recurso hídrico muestra grandes agrupación cantidades de moléculas coloidales, cuando se adiciona un coagulante a las aguas turbias, este es adsorbido por los coloides generando así los flóculos en el momento. (Cárdenas, 2000).

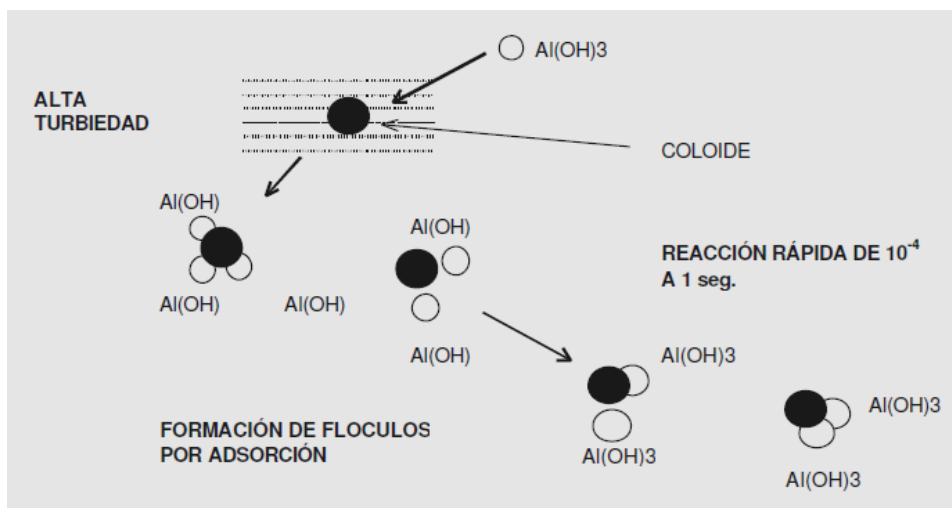


Ilustración 8. Coagulación Por Adsorción.

Fuente: Tomado de, (Cárdenas, 2000).

2.6.2 Coagulación por Barrido.

El hidróxido de aluminio se crea debido a la utilización de niveles altos de alúmina, el cual, atrae las partículas coloidales fuera de la suspensión, es por ello que se conoce como coagulación de barrido. Este sistema se observa en la ilustración 9, donde el hidróxido de aluminio es quien controla y ayuda en el tratamiento del agua y su especie precursora hidrolítica. (Vargas, 2004).

Generalmente este tipo de coagulante, se produce en aguas turbias, se caracterizan principalmente por ser claras o con poca turbidez y presenta bajas concentraciones de partículas coloidales, para esta situación las partículas son atrapadas por sobresaturación de los químicos de coagulación. (Cárdenas, 2000).

Teniendo en cuenta la separación que hay entre las partículas es más notable a diferencia de la fuerza de atracción las cuales son pequeñas, es así que se requiere de un aumento en la dosificación del coagulante, incrementando el potencial “Z” y el tiempo de respuesta.

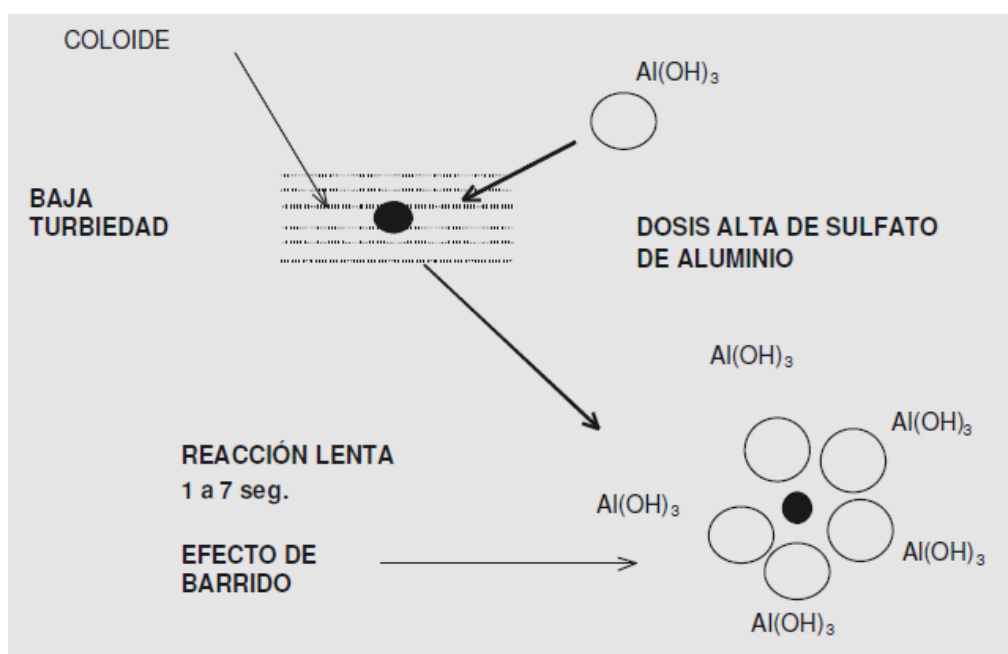


Ilustración 9. Coagulación por Barrido.

Fuente: Tomado de, (Cárdenas, 2000).

2.7 Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en el agua.

En la tabla 2 se logrará evidenciar como se reducen las sustancias contenidas en el agua, identificando el porcentaje de reducción de acuerdo a los parámetros que se encuentran en el fluido, teniendo en cuenta el desarrollo de coagulación.

Tabla 1. Principales sustancias presentes en el agua y porcentaje de reducción por medio de la coagulación.

EFFECTO DE LA COAGULACIÓN SOBRE LAS SUSTANCIAS CONTENIDAS EN EL AGUA	
Parámetro presente en el Agua	Reducción Máxima que se obtiene mediante la coagulación:
Turbidez	> 60% de Reducción
Materias en suspensión	> 60% de Reducción
Fosfatos	> 60% de Reducción
Nitratos	No hay reducción
Amonio	No hay reducción
Cloruros	0 a 20% de Reducción
Sulfatos	0 a 20% de Reducción
Fluoruros	20 a 60% de Reducción
Hierro	> 60% de Reducción
Aluminio	> 60% de Reducción
Manganeso	0 a 20% de Reducción
Cobre	> 60% de Reducción
Zinc	20 a 60% de Reducción
Cobalto	No hay reducción
Níquel	No hay reducción
Arsénico	> 60% de Reducción
Cadmio	20 a 60% de Reducción
Cromo	20 a 60% de Reducción
Plomo	> 60% de Reducción
Mercurio	20 a 60% de Reducción
Cianuro	No hay reducción
Compuestos Orgánicos	
Color	> 60% de Reducción
Olor	0 a 20% de Reducción
DQR	> 60% de Reducción
Carbon Total	> 60% de Reducción
DBO	> 60% de Reducción
Nitrógeno	> 60% de Reducción
Fenoles	No hay reducción
Hidrocarburos Aromáticos	20 a 60% de Reducción
Pesticida	> 60% de Reducción

Fuente: Tomado de, (Google Imágenes).

CAPITULO 3. IMPLEMENTACIÓN DE NUEVOS COAGULANTES NATURALES EN TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

3.1 Coagulantes naturales.

Los coagulantes normales o naturales son una opción adicional para aclarar el agua, siendo empleados en los países en vía de desarrollo. Estos coagulantes se encuentran principalmente en plantas específicas de origen orgánico. Se pueden encontrar en presentaciones como semillas, en polvo como es el caso del árbol de Moringa olifeira, otros tipos utilizados son: la semilla de durazno, penca de tuna, la bentonita, habas, frijol, maíz, yuca o mandioca, la cual es una de las más utilizadas no olvidar uno de los más tradicionales, en el que se obtiene la fariña (Okuda et al., n.d.). Estos tipos de plantas son muy viables para el tratamiento de aguas que cuentan con turbiedades altas, si se le aplica polímeros naturales se logra tratar aguas de baja turbidez. Los coagulantes normales son una opción adicional. (Rodríguez, 2008).

Tabla 2. Coagulantes naturales.

Nombre Común	Se extrae de	Parte de donde se obtiene
Alginato de sodio	Algas oarte marinas (<i>Phaeophiceae</i>)	Toda la planta
Tuna	<i>Opuntia ficus indica</i>	
Almidones	Maiz - Papa - Yuca - Trigo	El grano o el tubérculo
Semilla de nirmali	<i>Opuntia ficus indica</i>	Las semillas
Algobora	Quebracho, acacia o algaborro <i>Sinopsis lorentzii</i>	Corteza de árbol
Gelatina común	Animales	Residuos de animales - Huesos
Carboximetil celulosa	Arboles	Corteza de árbol
Goma de agua	<i>Cyanopsis psoraloides</i>	Semilla

Fuente: Tomado de, (Ojeda, 2012).

Son una fuente electiva con un potencial extraordinario que aún no se ha aprovechado en su totalidad. Estos tipos de coagulantes no presentan toxicidad ya que es muy mínima, por regla general son alimentos, que tienen un gran contenido de almidón. Estas sustancias naturales, se suministran de manera precipitada, siendo la respuesta bio-química la cual, se genera en los animales y en plantas. Cuenta con partículas químicas complicada, compuesta generalmente por diferentes tipos de proteínas y polisacáridos. En ocasiones estos cuentan con propiedades de coagulación y de floculación, en otros lugares se emplean lugareños para aclarar el agua turbia obteniendo grandes resultados. (Vásquez, 1994).

Este tipo de coagulante natural es un método alternativo el cual, posee un extraordinario potencial que actualmente no se ha aprovechado adecuadamente; se suministran de manera precipitada, de acuerdo a las respuestas bio-químicas que se generan en animales como en las plantas. (Romero, 2002).

3.1.1 Tuna (*Cactus lefaria*).

Esta planta también se la conoce como penca o tuna la cual, alcanza una altura de hasta 12 metros. Este tipo de coagulante identifica porque contiene productos orgánicos ovoides y lisos de color verdoso. Sus flores son de color rosa verdoso y no superan los 10 cm de longitud. *Cactus lefaria* es un coagulante natural que se encuentra en el estado de Lara y Falcon en Venezuela, es uno de los más utilizado en la clarificación del líquido, además, sustituye el sulfato de aluminio. En un proyecto liderado por la universidad de Zulia a cargo de sus estudiantes, realizaron una serie de exámenes en el cual, buscaron la efectividad de esta planta *Cactus lefaria* como coagulante natural, dado que no contaban con los equipos necesarios se transfirió a una institución de

investigación, preparando agua turbia sintéticas, esta evaluación indico que la planta arrojo un 80 y 90% de efectividad en la eliminación de la turbidez. Esta penca se utilizó para aclarar el agua en zonas rurales o alejadas a las grandes ciudades.(Vásquez, 1994).



Ilustración 10. Tuna (*Cactus lefaria*).

Fuente: Tomado de, Google.

3.1.2 Yuca (*Manihot esculenta*).

Yuca o *Manihot esculenta* pertenece a la familia Euphorbiaceae. Es un arbusto el cual alcanza una altura de hasta 5 m, pero generalmente la mayoría no sobre pasan los 3 metros. Estudios realizados demuestra que la planta cuenta con almidón en grandes, siendo un excelente coagulante natural para el desarrollo de floculación y coagulación en lixiviados. (Vásquez, 1994).

3.1.3 Moringa oleífera.

Esta planta es una de las más mencionadas como coagulante natural y con la cual se han realizado inmensidad de estudios. Esta semilla ha generado excelentes resultados en países tanto africanos como asiáticos, en donde, a ayudado a clarificar el agua y eliminar los microorganismos que se encuentran en ella. La moringa molida cuenta con un químico que atrapa las partículas

suspendidas en los fluidos a tratar, además, de servir como coagulante y floculante. En el Perú es donde se emplea como un material natural, arrojando cualidades que permiten su implementación ya sea como coagulante o floculante esencial en el tratamiento del agua. Sea como fuera, no se puede negar que es uno de los mayores coagulantes naturales que han arrojado resultados excelentes, por ello es imperativo seguir empleando este producto para identificar y alcanzar su eficiencia al máximo. (Vásquez, 1994).



Ilustración 11. Planta de *Moringa oleífera*.

Fuente: Tomado de, Google.

3.1.4 Semillas de Tamarindo (*Tamarindus indica*).

En una investigación en Sincelejo – Colombia, la universidad del Sucre aprovecho sus laboratorios para realizar una investigación sobre el tratamiento físico-químico de aguas turbias, implementando las semillas de Tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante natural, el cual, es una fruta producida por un árbol grande, en un clima cálido. Se decidió la implementación de esta semilla debido a que cuenta con aminoácidos, proteínas y es fácil de disolver. (Altamiranda et al., 2020)



Ilustración 12. Semilla de tamarindo.

Fuente: Tomado de, (Google Imágenes).

Se realizó el ensayo empleando en tres tipos de turbiedades: agua destilada, solución salina y agua de mar. Para las dos primeras muestras se tomó agua del grifo, posteriormente se enturbio aplicando caolinita gris, la tercera muestra fue tomada en el golfo de Morrosquillo, obteniendo los tres tipos de agua anteriormente mencionado en el diseño experimental, donde se analizó diferentes parámetros como: turbiedad del agua, solución disolvente y dosis de coagulante. Implementando el Software Statgraphics Centurion XVI para obtener los resultados más exactos. (Altamiranda et al., 2020)

Este ensayo fue realizado mediante la prueba de jarra, a cada muestra con agua de le aplico 3 dosis de caolinita. A mezcla rápida de 200 rpm por 1 minuto, luego se pasó a la mezcla lenta a 40 rpm, por 20 minutos y se finalizó con la sedimentación con tiempo de 30 minutos. Empleando turbiedades iniciales a diferentes dosis y así obteniendo la turbiedad final. (Altamiranda et al., 2020), así como se evidencia en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis de resultados.

Agua destilada			Agua de mar			Solución salina		
Turbidad inicial Agua Cruda	Dosis	Turbiedad final	Turbidad inicial Agua Cruda	Dosis	Turbiedad final	Turbidad inicial Agua Cruda	Dosis	Turbiedad final
50,36	10 mg/L	47,53	53,63	10 mg/L	43,23	50,20	10 mg/L	41,13
	20 mg/L	46,33		20 mg/L	42,33		20 mg/L	40,60
	30 mg/L	48,37		30 mg/L	42,93		30 mg/L	41,10
148,66	10 mg/L	110,67	147,00	10 mg/L	114,00	150	10 mg/L	115,00
	20 mg/L	115,67		20 mg/L	112,33		20 mg/L	118,33
	30 mg/L	108,67		30 mg/L	110,00		30 mg/L	123,00
300	10 mg/L	125,67	307,33	10 mg/L	234,67	307,66	10 mg/L	235,33
	20 mg/L	85,07		20 mg/L	239,00		20 mg/L	244,00
	30 mg/L	66,70		30 mg/L	236,33		30 mg/L	242,00

Fuente: Tomado de, (Altamiranda et al., 2020).

Los resultados de estos ensayos demostraron que para bajas turbiedades de agua hay poca efectividad a la remoción de turbidez, se aplicaron diferentes niveles de coagulante y solución solvente, pero el resultado fue el mismo. Aunque, la implementación de la semilla de tamarindo se en los tres tipos de turbiedades el que mejor mostro desempeño es el medio salino logrando disminuir en un 78% la turbidez del agua a diferencia de los otros dos, pero esto no indica que sea un coagulante apto para el uso, ya que, otro coagulante de origen natural es Moringa oleífera la cual ha presentado eficiencia hasta del 98% en la eliminación de turbiedad del agua. (Altamiranda et al., 2020)

3.1.5 Semilla de durazno (*Prunus pérsica*) S “Salcajá”

En Guatemala, la universidad de San Carlos, ubicada en el municipio de Salcajá utilizo la semilla de durazno (*Prunus pérsica*) como coagulante natural para el manejo de turbiedad y color

en aguas crudas. En esta zona del país es común encontrar estos frutos en el piso debido se ha visto la oportunidad de emplear este recurso agroindustrial, por ende, se buscó aprovechar estos frutos para realizar el estudio. Para ello, se emplearon 3 muestras de agua extraídas de los ríos que hay en esa zona y 3 muestras de agua tomada de los grifos, para ese último caso se adiciono arcilla para proveerla de la turbiedad a trabajar. Además, se implementó la prueba de Tukey para determinar que tratamiento es el mejor y remueve la turbiedad y el color. (Racancoj, 2022).



Ilustración 13. Semilla de durazno (*Prunus pérsica*).

Fuente: Tomado de, (Google Imágenes).

Los resultados arrojaron que la semilla de durazno, si funciona como coagulante natural en la eliminación de turbiedad siempre y cuando este se encuentre por encima de 125 UNT, a diferencia de la prueba de Tukey evidencio una eficacia de 71,92%. Por otro lado, en cuanto a la remoción del color, este presento un tono blanquecino al aplicar el coagulante alcanzando una eficiencia del 53,60%, mientras que en la prueba de Tukey muestra un valor de 2,250 inicial. (Racancoj, 2022).

Teniendo en cuenta las pruebas mediante la aplicación de Tukey se logró obtener una eficiencia de 64,99% en la eliminación de la turbiedad, mientras que en la remoción del color presento un valor de 43.30% mediante la utilización de la *Prunus pérsica* como coagulante natural, utilizando una dosis de concentración de 30 mg/l. (Racancoj, 2022). Es así, que la semilla de durazno si funciona como coagulante, pero en promedio con otros coagulantes vegetales que tienen mayor eficacia este sería uno de los poco utilizados para el tratamiento de agua.

3.1.6 Retamo Espinoso (*Ulex Europaeus*)

Esta investigación se llevó a cabo en el laboratorio de análisis ambiental del Centro de Gestión Industrial CGI del SENA – Colombia, empleando el retamo espinoso (*Ulex europaeus*) como un posible elemento para el tratamiento del agua, el cual, es un arbusto el cual crece en cualquier ecosistema debido a su gran adaptabilidad. En la actualidad se puede encontrar en el Humedal Juan Amarillo en la ciudad de Bogotá D.C. (Santana et al., 2021).



Ilustración 14. Retamo Espinoso (*Ulex Europaeus*).

Fuente: Tomado de, (Google Imágenes)

Ulex Europaeus, cuenta con grandes cantidades de lignina celulosa y hemicelulosa, estas son características que logran detener los metales pesados. En algunos países esta planta es considerada maleza debido a su crecimiento volumétrico además de contar con espinas lo que las hace más desagradables. A diferencia de Colombia, en otros países africanos la semilla que produce esta planta, la utilizan como coagulante en el tratamiento de aguas crudas, dado no cuentan con servicio básicos para el consumo humano. Cabe resaltar que retamo espinoso produce anualmente 20.000 semillas. (Santana et al., 2021).

Al iniciar el estudio se abordó la idea que esta planta como coagulante estaría en solución al 1% permitiendo la eliminación de partículas y turbiedad del agua, es de aquí que inician los laboratorios teniendo en cuenta la dosis y el rango del pH a emplear. Los resultados de este ensayo indicaron que el retamo espinoso al 1 por ciento cuenta con grandes características coagulantes, sobre todo en aguas turbias sean menores a 140 NTU, logrando eliminar entre 34,5% a 40% de la turbidez del agua. En cuanto al pH, se identificó que, a un nivel de 5, posee una leve condición de ácido, formando iones que presentes en el agua se unen con las partículas coloidales, formando los flóculos, siendo así, que mejoran la turbiedad del agua. (Santana et al., 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior se puede evidenciar que el retamo espinoso es un potencial coagulante natural debido a que presento buenos resultados en la remoción de la turbiedad, ya que, al contar con una concentración al 1% tiene una eficacia mayor al 32%, es decir, a mayor dosis su eficiencia sería mayor.

3.1.7 Plátano (*Musa paradisiaca*).

El coagulante natural derivado del plátano a partir de la pulpa del plátano y la cascara del plátano produciendo harina de estos elementos han implementado resultados eficaces al momento de remover minerales del agua como lo son: el plomo (Pb), hierro (Fe) y manganeso (Mn). Encontrando un intercambio iónico, logrando reducciones en la turbidez del 89% trabajando con la pulpa del plátano tomando muestras del río de Bogotá y el río de Magdalena (Ortiz, 2020)

Para la ejecución de este ensayo se tomó muestras de agua del lago de la escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, tomando la cascara de plátano y realizando el procedimiento de secado y triturado para obtener la harina y proceder a realizar la prueba de laboratorio obteniendo resultados iniciales de una turbiedad de 18.6 UTN y el resultado luego de varios ensayos se obtuvieron resultados finales de una turbiedad de 2.42 UTN, con una solución de 30 a 180 mg/L. Logrando una efectividad del 87% (Ortiz, 2020)



Ilustración 15. Plátano (*Musa paradisiaca*).

Fuente: Tomado de, (Google Imágenes)

3.1.8 Pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)

El *Selenicereus megalanthus* se obtiene de un cactus, generalmente se encuentra en Centro-América, y en algunos países de Sur-América. La presentación de la pitahaya cuenta con pigmentaciones diferentes, para este laboratorio se decidió trabajar con la pitahaya de tonalidad amarilla. Estimando la utilidad de la cascara como coagulante, para ello, se retiró esta última cuidadosamente evitando que parte de la pulpa y sus pepas quedaran en la misma cascara. Se deshidrato llevándola al horno durante 30 horas a una temperatura de 53 °C, para finalizar el procedimiento se trituró.(Huertas, 2022)



Ilustración 16. Pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*).

Fuente: Tomado de, (Google Imágenes).

Para logra este estudio, se empleó el test de jarra, en donde, se tomaron 6 jarras de 500 ml, al cual se le adiciono las muestras de agua y posteriormente el coagulante a diferentes dosis 20, 40, 60, 80,100 y 120 mg/L. Para lograr la turbidez se le añadió 40g de tierra natural generando así una turbiedad inicial de 93,7 UNT. En este laboratorio se empleó una mezcla rápida de 100 rpm durante 1 minuto y una mezcla lenta de 40 rpm por 15 minutos. Los resultados se pueden observar en la siguiente ilustración.(Huertas, 2022).

Tabla 4. Remoción de la turbidez.

Remoción de la turbidez		
Dosis mg/L	Remoción %	Turbidez
20	85,379	13,7
40	87,407	11,8
60	86,553	12,6
80	83,351	13,4
100	82,497	16,4
120	83,351	18,1

Fuente: Tomado de, (Huertas, 2022).

De acuerdo a los resultados, se obtuvo que la dosis más optima es la de 40 mg/L de *Selenicereus megalanthus* con una eficiencia del 87,407%, y una turbiedad final de 11,8 UNT.(Huertas, 2022)

CAPITULO 4. MEZCLADORES DE COAGULANTES

Los mezcladores son dispositivos que me permiten una óptima mezcla del coagulante con el cuerpo hídrico lo que me proporciona una uniformidad del sintético en toda la masa del agua por ello vamos a hablar a continuación de algunos mezcladores presentes en la industria y sus características principales de estos sistemas.

4.1 Difusores en línea

Según Stenguist y Kaufman, en estos tipos de floculadores se busca encontrar la mayor dispersión y mezclas de coagulante, implementado una variedad de puntos de descarga que se encuentras por toda la sección de la tubería.

4.1.1. Difusores en tubería.

Se examinó una pequeña parte de la tubería de conducción del agua, en donde se implementó una malla de tubos, por donde, pasa el coagulante distribuyéndose en la sección de la tubería. ilustración 16.

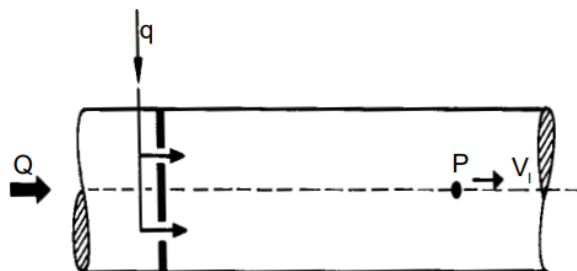


Ilustración 17 Difusor en tubería.

Fuente: Tomado de, (Vargas, n.d.).

En cualquier punto de la tubería se midió la velocidad de escurrimiento, un ejemplo puede ser aguas debajo de la rejilla, donde la velocidad se encuentra formada por un valor medio y un componente fluctuante.

4.1.1.1 Segregación e intensidad de segregación

Los elementos de flujo que no obtienen coagulantes se les denomina criterio de segregación, generalmente esto sucede en cualquier tipo de mezclador, de acuerdo a sus mismas propiedades, escala de turbulencia y disipación de energía introducida. Siendo así, que la adición de agua por medio de la malla cambia de forma parecida a la fluctuación de la concentración.

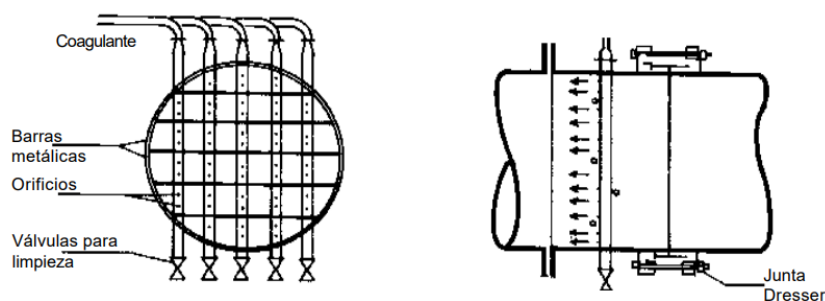


Ilustración 18. Difusor en tubería.

Fuente: Tomado de, (Vargas, n.d.).

4.2 Mezcladores estáticos en línea

Es bastante utilizado en las fábricas en el mezclado debido a que dichos implementos resultan bastante utilizables sin la necesidad de implementar energías externas, e funcionamiento se fundamenta en el aprovechamiento de la energía cinética, a primera vista dichos mecanismos se asemejan a porciones de tuberías o mangueras, estos se conforman por recursos helicoidales fijos, comúnmente cuando se cuentan con sistemas de compuestos de tubería lisa en donde la viscosidad del elemento es mínimo, no es necesario en el diseño del mezclador, es así, que la mejor forma es implementar pruebas piloto con las cuales se recojan datos específicos como es el caso de la longitud del mezclador, la cantidad de elementos o el coeficiente de variación, estos datos con el tiempo la cantidad de materiales que se encuentran al interior del mezclador estático, estos cuentan con propiedades comunes, en donde, se puede determinar como mínimo 2 elementos en un mezclador colocándose en una fila, generando un trenzado en el mezclador provocando así un giro axial en el flujo. (Obando & Uribe, 2021).

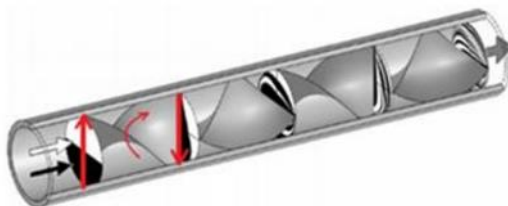


Ilustración 19 Mezclador estático en línea

Fuente: tomado de, (Obando & Uribe, 2021)

4.3 Inyector: tubo Venturi

Es un mecanismo en el cual la circulación es mínimo, debido a que el diámetro es más reducido a diferencia de cuando está en los extremos del tubo, generando en uno de los lados una forma cónica, provocando que se unan con la sección más angosta como se puede evidenciar en la ilustración correspondiente, la forma de operar de este sistema se basa principalmente en el aumento de velocidad del fluido mediante su paso por el orificio angosto por lo tanto, genera una presión negativa en el sistema esto a su vez se aprovecha en suministrar los productos sintéticos en solución en el punto. Las características de estos tipos de sistemas es que poseen diferentes rangos de presiones, donde solamente se necesita una mínima presión diferencial en los extremos. Debe tenerse mayor cuidado con respecto a las pérdidas de cargas debido a que se puede presentar sobrepresiones o presión nula en el sistema.(Obando & Uribe, 2021).



Ilustración 20 Tubo Venturi

Fuente: Tomado de, (Obando & Uribe, 2021)

CAPITULO 5. FLOCULACIÓN

5.1 Que es la floculación

La floculación es el mecanismo que se ejecuta a priori de la coagulación este proceso consiste en la unión de moléculas desestabilizadas en microflóculos y después en flóculos más voluminosos que tiende a reposar en el fondo mediante la suave agitación del agua, la floculación genera una aceleración en la sedimentación provocando que los flóculos se unan en sí, formando cadenas por lo tanto su densidad aumenta y mediante la gravedad hace que se sedimente en el fondo de los tanques.(Lozano & Lozano, 2015), en la floculación se presentan tres procesos diferentes consecutivos que son:

- El factor químico, donde se aplica el coagulante al agua cruda.
- La interacción que presentan las partículas y las colisiones mutuas entre ellas.
- El factor mecánico que se relaciona con el flujo presente en la planta de tratamiento lo que adiciona o sustrae la probabilidad de choque de partículas.

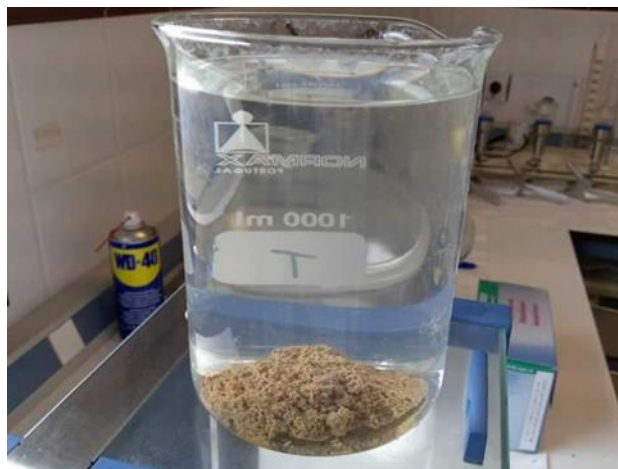


Ilustración 21. Floc.

Fuente: Tomada de, (Google Imágenes).

Para realizar una floculación correcta primeramente se debe hacer un mezclado suave debido a que el uso de floculante polimérico de alto peso molecular, llamado comúnmente polielectrolitos, que estos pueden ser naturales como: almidones (derivados de la papa, yuca, trigo y maíz) y compuestos alginos (hojas de tuna o nopal), y por ultimo los sintéticos que pueden presentar tres casos diferentes como lo son: polímeros de carga positiva (catiónicos), negativa (aniónicos) y neutros (no iónicos). Algunos coadyuvantes de floculación que existe en el mercado son: ácido poliacrílico ($C_3H_4O_2$), poliacrilamida hidrolizada o sulfonato de poliestireno ($C_8H_8O_3S$) y óxido de polietileno o poliacrilamida (C_3H_5NO).

Cabe mencionar que la utilización de estos productos químicos tiene su desventaja debidamente a sus costos altos y se preparan en soluciones de 0.1%, además de ello estos químicos se adhieren a los equipos, las tuberías y los filtros. Por ello se recomienda la implantación de los polímeros naturales por lo tanto, la aplicación de estos coadyuvantes debe aplicarse entre 15 a 60 segundos después de aplicar el coagulante esto genera que las partículas se atraigan causando las fuerzas de atracción de Van Der Waals, se denominan fuerzas de atracción molecular que se producen mediante un enlace químico no covalente en donde interactúan dos fuerzas como lo son la fuerza de dispersión y la de repulsión, por lo tanto, se genera una unión intermolecular donde las moléculas polares se unen mediante dipolos. De alguna manera la coagulación y la floculación son similares entre sí, por ser ambas de ejecución de mezcla en donde intervienen reacciones químicas y físicas como, por ejemplo: la carga eléctrica de las moléculas, la capacidad de intercambio, el volumen, la conglomeración del floc, el pH, la temperatura del cuerpo hídrico y la conglomeración de electrolitos. Lo único que difiere el primer método del otro es la intensidad de

mezclado y también por la potencia disipada por unidad de volumen en la mezcla lenta que realiza la floculación generalmente es menor al 25% de la potencia disipada en un mezclador rápido. (Romero, 2002)

5.2 Tipos de floculación

En el momento que a las suspensiones coloidales se les aplica el coagulante, Comienza la reacción hidrolítica, la cual, se une a los iones de la superficie de las moléculas que se encuentran en los coloides los cuales tienen la congruencia de unirse mediante frecuentes choques generando flóculos, la rapidez con que esto ocurre depende del volumen de las moléculas con relación al estado de agitación del líquido, la aglomeración de las mismas y de su grado de desestabilización.(Restrepo, 2009), por lo tanto tenemos dos tipos de floculación que son:

- Floculación pericinética: se presenta el movimiento browniano que hace alusión al movimiento de moléculas microscópicas que experimentan una oscilación aleatoria debido a las variaciones térmicas, por lo tanto, este tipo de floculación se presenta en las partículas pequeñas de tamaño menores a $1\ \mu$.(Pérez, 1981)
- Floculación ortocinética: este tipo de floculación se presenta en moléculas de gran tamaño y el movimiento browniano es muy suave y se requiere de un sistema de transporte que induzca la colisión de moléculas de tamaños mayores a $1\ \mu$ (Pérez, 1981), además de ello es impulsado energía externa a la masa de agua y tiene la posibilidad de ser de procedencia mecánica o hidráulica. El choque de moléculas debido al movimiento de agua posee correlación con el gradiente de velocidad del fluido, el cual

se da entre moléculas separadas las cuales coinciden en el dentro del cuerpo hidrico (OJEDA BÁEZ, 2012). Pero para llegar a este tipo de floculación primeramente se necesita de la floculación pericínética por lo tanto una depende de la otra, para ello estas dos fases que se experimentan deben estar en estrictamente en flujo laminar y unicamente por extensión se han venido implementando a flujo turbulento.

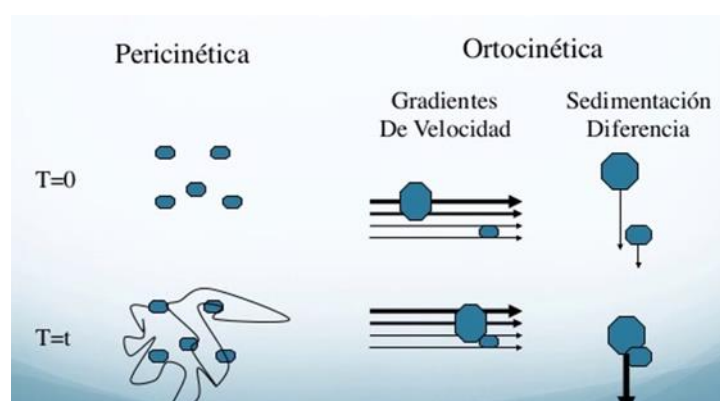


Ilustración 22. Floculación pericínética y ortocínética.

Fuente: Tomada de, (Google Imágenes).

En el tratamiento de un cuerpo hidrico, cabe resaltar que la floculación ortocínética es la que mas se utiliza debidamente a que la floculación pericínética, es demasiado lenta para el tratamiento de grandes cuerpos de agua que se debe entregar a la comunidad, por lo tanto es de vital importancia reconocer el comportamiento de la autofloculación que contribuye a pequeña escala, considerando los efectos que se presenta en el tratamiento hidrico de agua cruda se recurre a los ensayos de jarras.

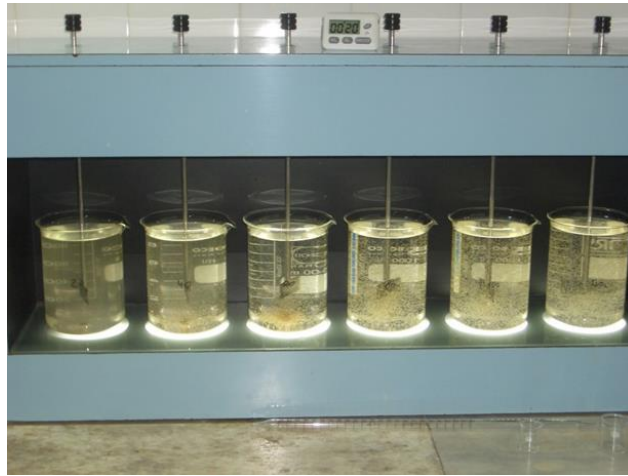


Ilustración 23. Ensayo de jarras.

Fuente: Tomada de, (Google Imágenes).

5.3 Factores que afectan la floculación

La causa que pueden intervenir en la acción de los floculantes son los siguientes:

- **Naturaleza del agua:** en este apartado tenemos las características físico – químicas del agua que están presentes, por ejemplo: el pH, la alcalinidad y la turbiedad. Por lo tanto, esto genera problema en el tiempo óptimo de trabajo del floculante, a su vez esto produce que el gradiente de velocidad se vea perjudicado debido al volumen y aglomeración de las moléculas presentes en el agua lo que causa la turbiedad. Cabe recalcar que es más factible flocular aguas con una alta turbiedad y que presenten grandes propiedades de tamaños de moléculas, por lo contrario, moléculas de gran tamaño como la arena fina que es acarreada y genera picos elevados de turbiedad que arrojan valores elevados de 1000 UTN (unidad de medida de turbiedad), por lo cual en estos casos se debe utilizar tanques de presedimentación.



Ilustración 24. Turbiedad del agua.

Fuente: Tomada de, (Google Imágenes).

- Tiempo de mezcla lenta: la rapidez de concentración de las moléculas coloidales es proporcional al tiempo de mezcla, por lo tanto, para mantener la suspensión de las moléculas floculadas, debe aplicarse más tiempo de mezcla, debido a que el floculo es muy duro y la aglomeración de solidos es alta.(Domínguez, 2010), varios estudios han demostrado que los tiempos y los gradientes de concentracion de floculacion estan comprendidos en tiempos de 10 y 100 minutos bajo ciertos tipos de circunstancias que pueda afectar este proceso por el contrario en condiciones optimas de trabajo se determino un tiempo efectivo de 20 y 40 minutos.
- Gradiente de velocidad: este factor es equivalente a la velocidad de concentración de las moléculas, es decir debe haber un equilibrio en estas dos partes debido a que la velocidad de mezcla aumenta tiende a romper los flóculos y la desventaja es que unir estos flocs nuevamente puede perder la fuerza inicial optima. Estudios han demostrado que los

gradientes de velocidad óptimos comprenden rangos de 100 a 10 s^{-1} , los cuales deben escalonar de forma decreciente.

- Variación del caudal: cabe resaltar, que en una empresa de tratamiento de agua potable puede presentarse la variación de caudal ya este aumento de volumen se debe a las precipitaciones frecuente en la región o también por la sequía que pueda estar atravesando la zona por lo tanto hay modificaciones en los tiempos de residencia y gradientes de velocidad de los reactores, por lo tanto se recomienda la implementación de floculadores hidráulicos ya que estos tipo de sistema es flexible con las variaciones que se puedan presentar.

5.4 Tipo de floculadores

Actualmente existen distintos tipos de floculadores como lo son: los de contacto sólido y los de potencia, el uso de estos floculadores depende principalmente de qué manera se ejecuta la concentración de las partículas que son arrastradas con el agua, en el flujo a través del tanque de floculación, en donde los gradientes de velocidad son elegidos en el diseño, permitiendo que el operador pueda hacer algunos ajustes en caso de ser necesario, cabe aclarar que existen dos tipos de floculadores como lo son: los hidráulicos y los mecánicos que estos a su vez depende de la forma de disipación de energía que lleve a cabo en la empresa de tratamiento de agua potable (PTAP). A continuación, vamos a hablar de cada uno de ellos, sus ventajas y desventajas de su uso en la planta. Los floculadores pueden clasificarse según: su flujo horizontal, flujo vertical y de flujo helicoidal, de modo que presentara una clasificación de los floculadores existentes en la industria.

Tabla 5. Clasificación de floculadores.

Clasificación	Tipos	Descripción
Hidráulicas	Pantallas	De flujo horizontal o vertical
	Helicoidales	Con eje de flujo helicoidal
	Medios porosos	Cuenta con lecho poroso
	Alabama	Con codos en el fondo que proyectan el agua hacia arriba y hacia abajo
Mecánicas	Paletas	De paletas de eje horizontal o vertical
	Turbinas	De turbinas horizontales o verticales

Fuente: Tomado de, (Lozano & Lozano, 2015)

5.5 Consideraciones generales para el diseño de los floculadores

Para hacer un diseño efectivo y eficaz, se debe tener en cuenta todos los factores que puedan presentarse en las PTAP, para ello se hizo una investigación exhaustiva, donde se encontraron resultados que se expondrán a continuación:

- El número de colisiones entre partículas desestabilizadas, dependerá del gradiente de mezcla generado.
- Los tiempos de mezcla no pueden ser ni muy largos ni muy cortos, esto se debe a que un tiempo largo de mezcla el floc tiende a romperse y sedimentarse en el floculador generando un mantenimiento en el sistema, provocando retraso, por lo tanto, se tendrá afectada la calidad del agua que se va a suministrar a la población y por último cuando el tiempo de mezcla es muy lento no alcanzan el tamaño ni el peso adecuado para sedimentarse en el fondo del tanque.

- El método de la floculación, debe aplicarse de forma correcta debido a que es esencial en el tratamiento de cuerpos hídricos con características turbias.
- Las experiencias de trabajo de las empresas PTAP, han demostrado a través del tiempo que la eficiencia de un floculador está relacionada con el gradiente de mezcla el cual debe tener 2 o 3 gradientes decrecientes. Además de ello cabe destacar que los gradientes óptimos de mezcla oscilan entre 20 y 60 s^{-1} .
- Como bien se sabe el agua cruda pose diferentes propiedades físicas – químicas, produciendo que ninguna fuente de abastecimiento hídrica se parezca a otra por lo que hay muchos factores que intervienen como, por ejemplo: el tipo de suelo en que se nace la fuente hídrica, los minerales o metales pesados que puedan tener presente y las partículas orgánicas e inorgánicas presentes en el agua. Esto hace que se presentes dos casos como serian: aguas de difícil tratamiento dando origen a flocs, débiles por lo cual se debe manejar gradientes bajos como 5 s^{-1} , por el contrario, los flocs que son más resistentes podrían manejar gradientes hasta 100 s^{-1} .
- El diseño de los floculadores, deben diseñarse en base a los resultados obtenido en los laboratorios como lo son la prueba de jarras, en donde se utilizan diferentes tipos de gradientes y tiempos de mezcla.

Tabla 6. Criterios generales de diseño de floculadores.

Parámetros	Valor o rango
Número mínimo recomendable de secciones o cámaras en floculadores con gradientes distintos	2 secciones para hidráulicos 3 cámaras para mecánicos
Gradientes óptimos de mezcla (s^{-1})	20 a 60
Tiempo de retención hidráulica (min)	10 a 40
Numero de camp (gradiente*tiempo de retención hidráulico)	20.000 a 150.000
Número mínimo de unidades (recomendable)	2 para potabilizadoras pequeñas y 3 para potabilizadoras grandes

Fuente: Tomado de, (Lozano & Lozano, 2015)

5.6 Floculadores hidráulicos

Se considera cualquier sistema hidráulico aquel que utilice la energía hidráulica disipada por un flujo del agua, donde el principal objetivo de los floculadores es proporcional a la masa hídrica coagulada un movimiento lento aplicando velocidades decrecientes, este proceso se realiza cuando las partículas del líquido y los floc estén fuera de la unidad hasta que la suspensión del agua. (Orellana, n.d.), los gradientes de velocidad en los floculadores oscila normalmente entre 70 y $20 s^{-1}$, decreciendo uniformemente su velocidad desde que el volumen de agua ingresa hasta que sale, se debe tener en cuenta que hay factores que intervienen en la acción de trabajo de los floculadores como por ejemplo: la temperatura del agua puede alterar el tiempo de trabajo según la experiencia de las empresas de tratamiento cuando el cuerpo hídrico se encuentra en zonas tropicales y su temperatura está por encima de los $20^{\circ}C$, y su tiempo de floculación es de 15

minutos, por el contrario en zonas de clima frío el agua posee un rango de temperatura de 10 a 15 °C, y los tiempos de floculación son mayores a los 20 minutos.

Una de las ventajas de la utilización de los floculadores hidráulicos es su fácil adaptación a los cambios bruscos de variación de caudal además de ello, la operación de estos sistemas debido a que pueden trabajar por tiempo indefinidos sin correr riesgos de interrupción, esto se debe a que solo necesita de la energía hidráulica que es proporcionada por el caudal que se capta, además de ello su construcción es de bajo costo permitiendo un mantenimiento y una operación óptima para países subdesarrollados. Por el contrario, una de las mayores desventajas de la implementación de floculadores mecánicos en una empresa de tratamiento de agua potable, se debe a su poca flexibilidad en el control de los gradientes de mezcla para caudales variables que se puedan captar. Por lo tanto, hay valores altos de pérdida de carga que pueda oscilar, dependiendo del diseño entre 20 y 120 cm.

5.6.1 Floculadores hidráulicos de pantalla o de tabique

En estos tipos de sistemas el flujo circula con una velocidad fija, lo cual genera una evidente turbulencia en cada cambio de dirección, las unidades están más cualificadas y asequibles en cuanto a los distintos tipos de floculadores hídricos que se usan en la actualidad, existen en distintos tipos de materiales como, por ejemplo: el plástico, la madera, el asbesto, la fibra de vidrio, el acero inoxidable y el concreto. Existen dos tipos de floculadores de pantalla como lo son: floculadores de flujo horizontal y floculadores de flujo vertical a continuación hablaremos de cada uno de ellos y expondremos las ventajas y desventajas de su uso en la PTAP.

5.6.1.1 Floculadores de pantalla de flujo horizontal

El flujo hidráulico recorre distancias en sentido horizontal, entre dos tabiques consecutivos, haciendo el giro final de cada uno, provocando que la masa de agua tienda a hacer un trayecto de salida y vuelta manejando velocidades que varían entre rangos de 0.15 a 0.60 m/seg, alrededor de los extremos libres de los tabiques, estos logran poseer un fondo útil de 1 a 2 m. dependiendo de las características del elemento que se emplee en el diseño de las pantallas. Una de las recomendaciones según los expertos es que no se utilicen pantallas de concreto o asbesto en regiones de alto riesgo sísmico uno de los casos que se evidencio fue en Perú del 2001, donde las pantallas de la PTAP, colapsaron mediante un terremoto generando así pérdidas económicas y suspensión temporal del servicio de agua potable. (Orellana, n.d.)

La aplicación de nuevos materiales para la construcción en este tipo de sistema a excepción del concreto, permite la disminución de áreas además de ello la durabilidad, una de las desventajas para la cimentación de elementos estructurales en concreto requiere diseños y cálculos estructurales para la obtención de un grosor mínimo.

Para el diseño de estos sistemas se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones: para un solo deposito puede constar con 3 o 4 intervalos con distintos anchos de canales, o 3 o 4 depósitos con anchos de canales distintos de cada uno, la base debe poseer una inclinación o desnivel, concordando con la perdida de la carga en las secciones, para que la elevación del líquido tenga la misma forma, por lo tanto, la velocidad y el gradiente de velocidad será el óptimo. Una de las ventajas de este diseño es una unidad simple de fabricar y efectuar. Manejando un caudal

inferior a los 50 litros por segundo, de lo contrario una de las desventajas de este sistema solamente se implementa para plantas mediana o pequeñas. (Aldapa, 2001).

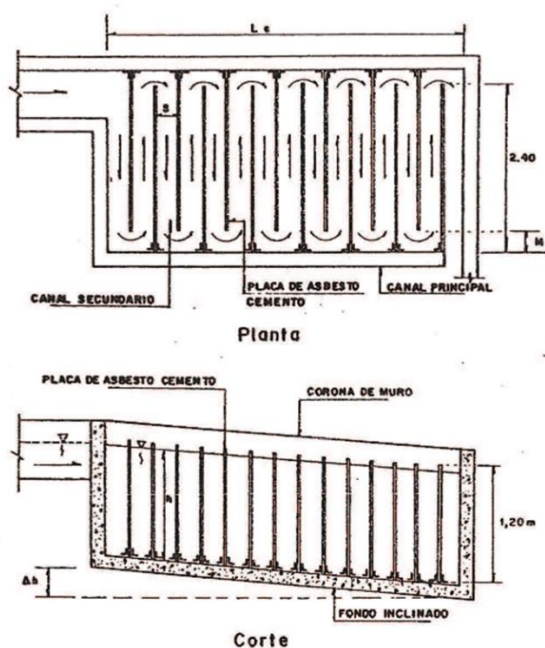


Ilustración 25. Floculador de eje horizontal.

Fuente: Tomado de, (Romero, 2002).

5.6.1.2 Floculadores de pantalla de flujo vertical

En este sistema de floculador, el flujo de agua asciende y desciende por medio de canales verticales moldeados por pantallas, manejando velocidades comprendida entre rangos 0.15 a 0.80 m/seg, en donde el cuerpo hídrico debe circular por arriba y parte inferior de los muros que divide el depósito. Se implementa un orificio en el fondo de cada muro con una superficie correspondiente al 5% de la superficie horizontal de la sección, este tipo de sistemas se implementan en plantas medianas a grandes. Esto se debe a que en las pantallas se necesita una profundidad más grande, disponen áreas más pequeñas de los canales de flujo horizontal, una de las ventajas más sustanciales es que la zona de la unidad cuenta con proporción en cuanto a los

decantadores y filtros, en los cuales, se encuentran sistemas mucho más resistentes y con mayor proporcionalidad, por el contrario, una desventaja que está presente en este tipo de sistema es el depósito de lodos en el fondo de los compartimientos. Este tipo de sistemas maneja un caudal entre 50 a 1000 litros por segundo tiene una profundidad útil de 2 a 4 metros. (Orellana, n.d.).

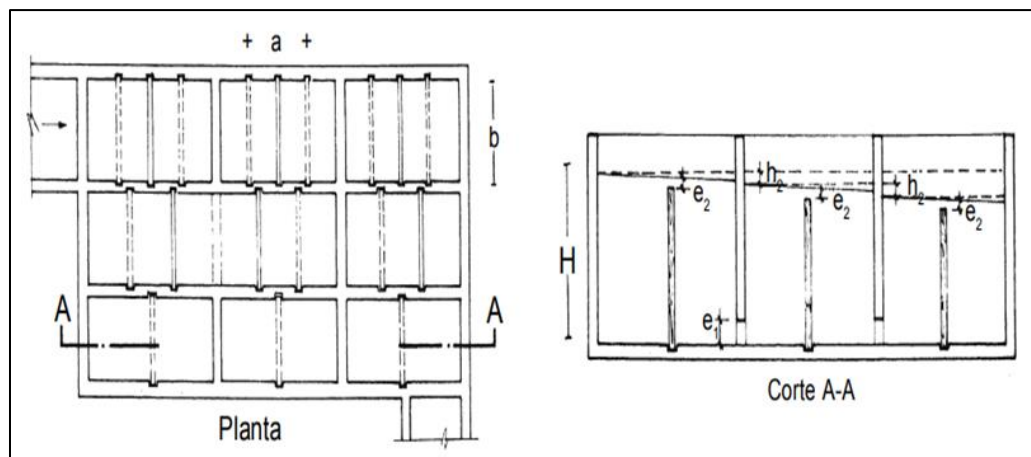


Ilustración 26. Floculador de eje vertical.

Fuente: tomado de, (Orellana, n.d.).

5.6.2 Floculadores hidráulicos helicoidal

Este tipo de floculadores hidráulicos son poco usados en la industria. Para su construcción requiere que su dimensionamiento deben ser cuadrada por el cual cuenta con una proporción pequeña entre el lado y el fondo de 1:2, su funcionamiento consiste en el recorrido del flujo, este ingresa por el asiento, en el extremo de la cámara y surgir por arriba del extremo opuesta además de ello se debe tener en cuenta que debe evitarse la formación de cortos circuitos y el desagüe debe diseñarse por cámara de extracción de los lodos la energía hidráulica se emplea al producir un desplazamiento helicoidal en el líquido, impulsado debido a la entrada tangencial en la cámara de floculación, se debe establecer velocidades de distribución de altas a bajas, esto genera una

desventaja para la formación del floculo, para la implementación de este sistema se recomienda aplicarlo en fuentes hídricas con aguas con baja turbiedad y además no contengan solidos pesados en especial la arena .(Gonzalías, 2019).

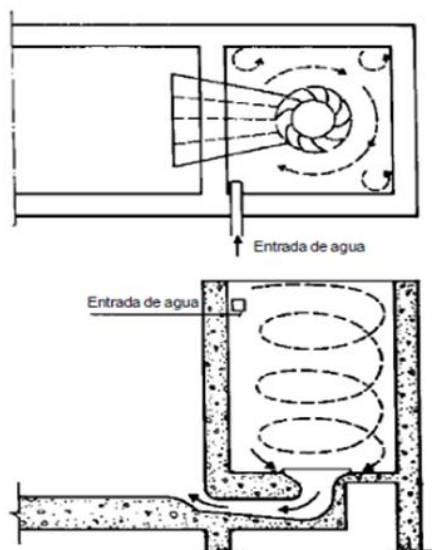


Ilustración 27. Floculador helicoidal.

Fuente: Tomado de, (Bonilla et al., 2020).

5.6.3 Floculadores hidráulicos de medio poroso

Los sistemas de floculación en medios porosos, se está empleando a empresas pequeñas esto se debe a que este tipo de sistema es económico y muy eficiente al momento de obtener resultados en la calidad de potabilización del agua, en este tipo de sistema se clasifican en dos tipos : floculador poroso granular y floculador poroso en lechos de arena expandida. Pero en este caso vamos a detallar el floculador granular su trabajo consiste en hacer pasar el flujo laminar a través de un medio granular contenido en un depósito, el tiempo de floculación es de 5 a 10 minutos, la materia prima que se implementa en este sistema son las piedras o cantos rodados, esferas plásticas y segmentos de tubo que posean diámetros que están comprendidos en rangos de

$\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ ". Para el diseño de este sistema lo recomendable es diseñar a flujo ascendente y de forma conica, cabe resaltar que este floculador se diseña para trabajar con caudales comprendidos entre 10 a 15 litros/segundo.

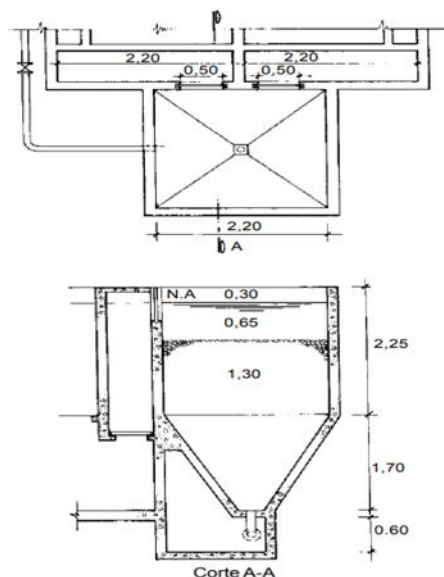


Ilustración 28. Floculador poroso granular.

Fuente: Tomado de, (Orellana, n.d.)

5.6.4 Floculadores hidráulicos tipo Alabama

Las características principales de este floculador radica en la distinción del floculador vertical dándole sentido al flujo del líquido de forma ascendente, volviéndolo a tomar por el asiento y en lados opuestos, en otras palabras, es un floculador de flujo vertical que no contiene muros. Las sugerencias de construcción y ejecución para este tipo de sistema no tienen un cimiento empírico conocido, es así, que se debe indagar la velocidad efectiva teniendo en cuenta las unidades, además de ello las variaciones de caudal pueden afectar a este tipo de sistemas por lo tanto producen espacios muertos y cortos circuitos. En la elaboración de estos sistemas se debe contar con mínimo

9 camaras pero se recomienda 12 camaras y la velocidad que se ha evidenciado que alcanza en un codo esta entre los rangos de 0.4 y 0.2 m/ seg, para evitar la ruptura del floc en el extremo del codo se debe hubicar una platina. (Carreño & Castiblanco, 2016).

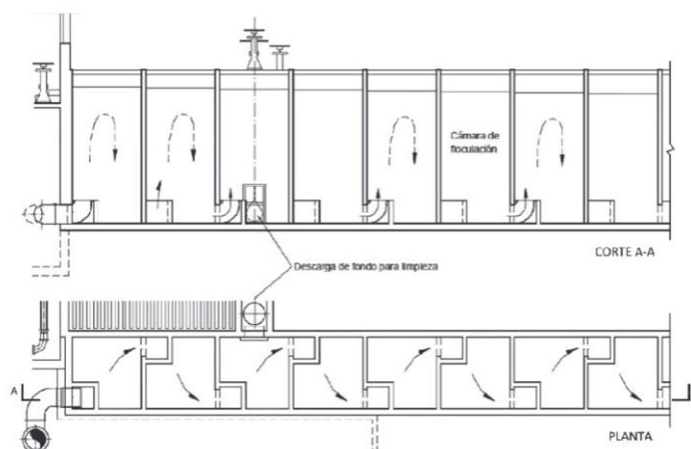


Ilustración 29. Floculador de Alabama.

Fuente: Tomado de, (Lozano & Lozano, 2015).

5.6.5 Floculadores hidráulicos de mallas o telas

La implementación de telas están orientadas principalmente a la ampliación y optimización de unidades de mezcla rápida y floculación en plantas existentes, material en el cual las mallas están fabricadas de nylon además de ello este sistema es económico y eficiente en la floculación además de ello se pueden implementar en todo tipo de PTAP Y PTAR, ya sea a pequeña o gran escala es una ventaja notoria, este material produce un gradiente de velocidad adecuada con respecto a la pérdida de carga. (Orellana, n.d.), Para el diseño de este floculador se debe tener en cuenta algunas recomendaciones según los expertos del tema, como por ejemplo:

- Las velocidades de flujo deben comprender rangos entre 10 a 30 cm/ seg. Para evitar la sedimentación excesiva en el floculador.

- La distancia entre los hilos entre si, es de 5 a 15 cm.
- Grosor del material debe ser de 1.5 a 4 mm.

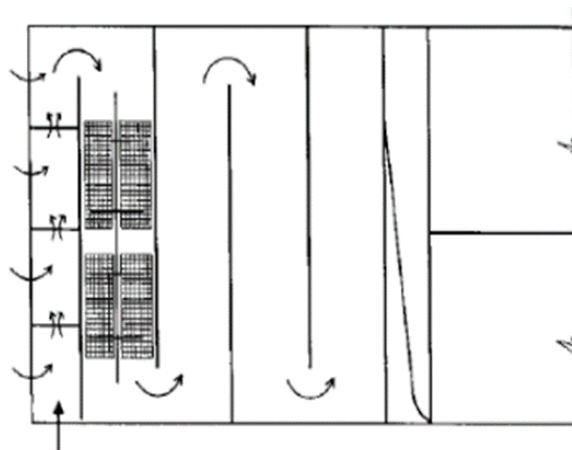


Ilustración 30. Floculador tipo malla.

Fuente: Tomado de, (Bonilla et al., 2020)

5.7 Floculadores mecánicos

Los sistemas de floculadores mecánicos se estimulan, en una mezcla gradual en el fluido mediante la oscilación de unas paletas fijadas al mecanismo motriz, cuyo eje puede ser vertical o horizontal. En estos casos se sugiere que el mecanismo produzca movimiento rotacional en el fluido. Además, tenga control en la velocidad, de manera que puedan hacerse adaptaciones en el gradiente de mezcla, según el caudal de trabajo o cambios ante la exigencia de ajustar la calidad del cuerpo hídrico durante el tiempo de diseño. (Lozano & Lozano, 2015)

La implementación de floculadores mecánicos es buena, debido a que este sistema no depende del caudal que ingrese a la PTAP, en donde, la variación de precipitaciones en la región donde se encuentre ubicada la empresa no se ven afectados. Una de las ventajas notorias es la regulación del gradiente de mezcla y la velocidad del giro de las paletas caso contrario pasa con los floculadores hidráulicos que sí dependen de muchos factores para poder ejecutar su desempeño

optimo. Pero una desventaja notoria en la implementacion de este sistema es el gasto energetico que consume para poder ejecutar la rotacion de las paletas, los cortos circuitos que estos procucen, sus elevados costos de operación y mantenimiento de estos esquipos ya que se requiere de personal cualificado para el uso de estos dispositivos debido a que son sensibles al momento de manipularlos. A continuacion vamos a analizar los criterios generales en floculadores mecanicos para su diseño según expertos en tema de PTAP.

Tabla 7. Criterios de diseño de floculadores mecánicos.

Parametro	Valor o rango
Gradiente de mezcla (s^{-1})	15 a 80
Tiempo de retencion hidraulica (min)	20 a 40
Velocidad periferica de las paletas (cm/s)	20 a 80
Velocidad de las paletas (RPM)	1 a 8
Area de las paletas	10 a 15% del area transversal del tanque de mezcla
Numero de paletas por mezclador	2 a 5
Numero de camaras	3 a 4
Ancho maximo del floculador	Igual ancho del sedimentador
Profundidad maxima del floculador	Igual a la profundidad del sedimentador
Relacion largo: ancho del floculador	1:1
Distancia de los extremos del mezclador al muro, fondo y superficie del agua (m)	0.20 a 0.30
Velocidad de paso entre camara y camara	Igual a la velocidad de flujo en la camara saliente. Generalmente se toman velocidades entre 0.2 y 0.35 m/s. para areas de paso entre el 6 y 10% del area transversal del tanque de mezcla.
Gradiente de paso entre camara y camara	Igual al gradiente de la camara saliente
Consumo energetico (W/h por cada m^3/d)	0.5 a 1.5
Factor de eficiencia	3 a 5 para floculadores mecanicos horizontales y 2 a 4 para floculadores mecanicos verticales

Fuente: Tomado de, (Lozano & Lozano, 2015).

5.7.1 Floculadores mecánicos de eje horizontal

La aplicación de este sistema de floculadores mecánicos presenta algunas desventajas como el peso excesivo de las paletas y del eje ocasionando un prematuro desgaste de las piezas de apoyo que se denominan chumaceras por lo tanto, el elevado precio que implicara revestir la chumaceras con camisas de acero inoxidable estas a su vez tendrían que cambiar 32 piezas y solamente duran un periodo de un año, cuando por lo general estas piezas deberían durar 2 años con un cuidado preventivo de engrasamiento de las piezas.(Aldapa, 2001), este tipo de floculador trabaja de una forma decreciente mediante la agitación de sus paletas.

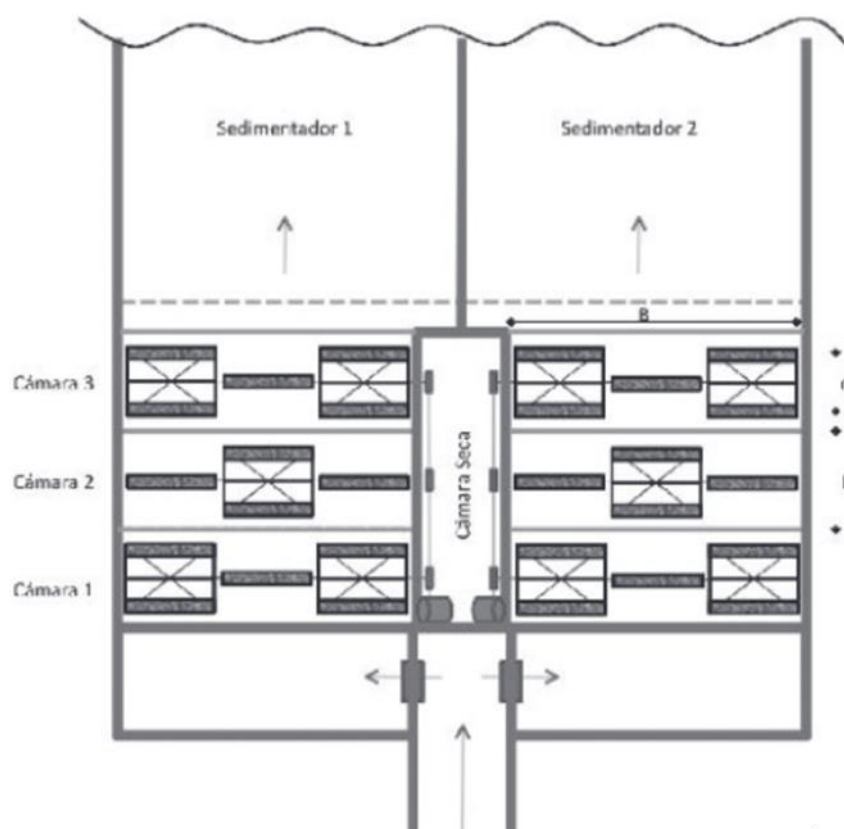


Ilustración 31. Floculador de eje horizontal.

Fuente: Tomado de, (Lozano & Lozano, 2015)

5.7.2 Floculadores mecánicos de eje vertical

la implementación de este sistema es más efectiva que el floculador mecánico de eje horizontal, pero esto no los exime de tener dificultades al momento de operar como gastos energéticos y costos elevados de mantenimiento. La acción de operar de este tipo de sistema es de la disminución del gradiente de velocidad, variando la velocidad en el número de revoluciones (RPM).

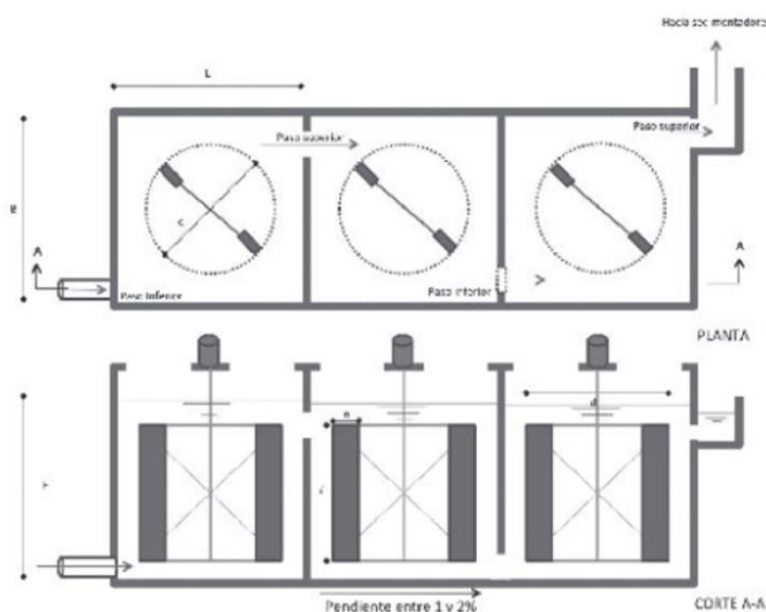


Ilustración 32. Floculador mecánico de eje vertical.

Fuente: Tomado de,(Lozano & Lozano, 2015)

CAPITULO 6. NUEVOS DISEÑOS DE FLOCULADORES EN LA INDUSTRIA

Actualmente con los avances tecnológicos en la industria con el pasar del tiempo se van modificando cada vez más, tanto los floculadores mecánicos o hidráulicos. De tal forma que cada diseño disminuya un gasto energético, mantenimiento y de operación. Para ello en este capítulo se pretende elaborar una investigación a profundidad acerca de los nuevos cambios o avances de

los floculadores. A continuación, hablaremos de algunos floculadores que se encontraron en la investigación exhaustiva por parte del estudiante.

6.1 Sistema de floculador tubular a presión

El floculador Eco Flok SQS, es un sistema tubular de multipaso que garantiza el buen tiempo de mezcla del polímero, este tipo de sistema consiste en la serie de unión de tubos que forman una sección ondulada, para el diseño de este sistema de floculador depende de las características del cuerpo hídrico y tiempo de contención deseado. Una de las ventajas de este tipo de floculador, es que no hay cortos circuitos, además de ello es multiuso como por ejemplo sirve tanto para la coagulación, la floculación y el Ph en la toma de muestras, requieren menos área que los tanques convencionales manejando un caudal de aproximadamente de 10 L/seg, cabe mencionar que este tipo de sistema posee características de un sistema de floculador horizontal teniendo en cuenta los diseños de tiempos de paralización y gradientes demarcados por el CEPIS.(Arévalo et al., 2019).

El uso de los diferentes tipos de floculadores estaban establecidos únicamente a las PTAP, ya que ellas se encargaban de suministrar el agua potable a su población, pero recordemos que un país subdesarrollado es imposible que todas las regiones de Colombia cuenten con calidad de agua en sus hogares, por ello se diseña este tipo de sistema para los hogares con carencia de agua potable ellos mismos puedan potabilizar el agua que consumen, en donde se resume los procedimientos de potabilización en las PTAP. En este sistema se obtiene agua libre de agentes patógenos y de sustancias orgánica e inorgánicas.



Ilustración 33. Floculador Tubular.

Fuente: Tomado de,(Arévalo et al., 2019).

Para el desarrollo de este floculador tenemos las siguientes ecuaciones que nos permite dimensionar el floculador tubular.

Tabla 8. Fórmulas de floculadores tubulares.

Formula		Donde
Área de la sección	$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	A =Área de la sección (m ²) D = diámetro de la tubería (m)
Velocidad de flujo	$A = \frac{Q}{V}$	V =Velocidad de flujo (m/s) Q =Caudal (m ³ /s) A =Área de la sección (m ²)
Longitud	$L = V * t$	L =Longitud de la sección (m) V = Velocidad de flujo (m/s) t = Tiempo de retención hidráulico (s)
Volumen de agua	$V_{agua} = Q * t$	Q =Caudal (m ³ /s) t = Tiempo de retención hidráulico (s)
Longitud de la tubería	$L_t = \frac{V_{(agua)}}{A}$	Vagua = Volumen de agua m ³ A =Área de la sección m ² Lt =Longitud de la tubería (m)
Número de secciones	$N_s = \frac{L_t}{Longitud\ por\ sección}$	Ns = Número de secciones (adimensional) Lt =Longitud total de la zona (m)

Fuente: Tomado de, (Obando & Uribe, 2021).

6.2 Implementación de energía fotovoltaica laboratorio

Como bien se sabe a través de la experiencia de las PTAP, los sistemas eléctricos que se implementan en la empresa, su consumo eléctrico es bastante debido a que requiere de gran cantidad energética para realizar su trabajo correspondiente, pero a medida que la innovación tecnológica avanza también este ligado a resolver este tipo de problema por lo cual se ha evidenciado varios estudios donde se implementan los paneles solares, obteniendo resultados de laboratorio satisfactorios que se presentan a continuación.

Para la realización de este experimento primeramente se realizó la elaboración de la planta de energía solar, en donde se debió generar 30 (W/h), que es la cantidad necesaria para el trabajo óptimo de la planta ubicada en el laboratorio de la Universidad Santo Tomas. Además de ello se evidencio que el rendimiento de la planta solar depende mucho de la zona en donde se encuentre ubicada, en donde se puede captar la irradiación solar, para la elaboración de este experimento se necesitan 1.2 paneles, para procesar un caudal de 0.36 l/min, además de ello se demuestra un rendimiento del 20% en este experimento.(Pinzón, 2020).

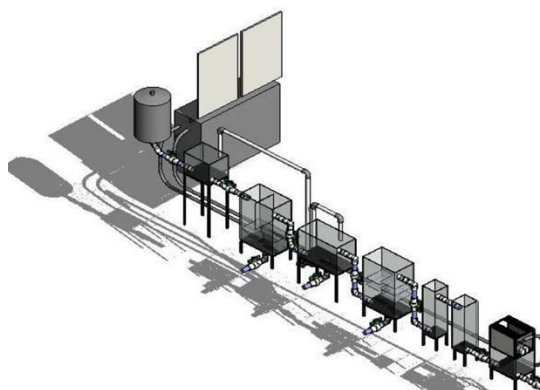


Ilustración 34. PTAP, con energía fotovoltaica.

Fuente: Tomado de,(Pinzón, 2020)

6.3 Implementación de energía fotovoltaica en una PTAP

Ahora vamos a hablar de la implementación de energía solar a escala industrial como lo es en el caso del municipio de Uribia del departamento de la Guajira en donde se encuentran ubicadas comunidades indígenas, donde se pretende construir una planta desalinizadora para poder llevar a sus habitantes agua potable, se pretende utilizar energía eléctrica que oscila en un rango del 10% a 40%, una de las ventajas de este proyecto es la ubicación de la planta debido a que presenta un buen potencial energético promedio de la zona que es de 4.5 kWh/m², en el año. La empresa procesará un caudal de agua salobre de 400 L/h, pero en el proceso de desalinización producirá un caudal de 320 L/h. Por lo tanto, se necesitará una producción de energía eléctrica de 1.314 MWh/día, para ello contará con un total de 1018 paneles.(Torres, 2022).

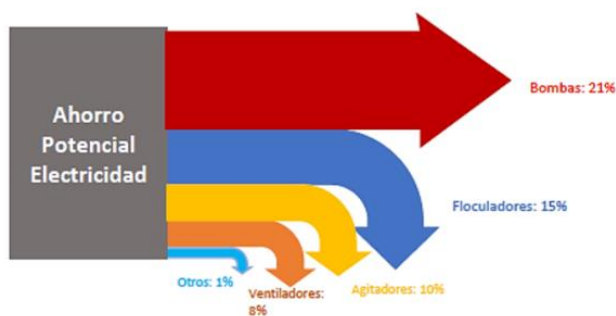


Ilustración 35. Ahorro eléctrico potencial.

Fuente: Tomado de,(Torres, 2022)

6. Conclusiones

De acuerdo a la investigación realizada en este documento existen muchos tipos de coagulante de origen natural los cuales ayudan a la eliminación de partículas suspendidas optimizando el tratamiento de aguas crudas, tal es el caso de la Moringa, el Retamo Espinoso, la pitahaya, el plátano, entre otros, los cuales indican una eficiencia en la remoción de microorganismos generando así que estos coagulantes orgánicos sean tenidos en cuenta para su implementación en el tratamiento del agua potable.

En la actualidad se encuentran diferente tipo de coagulantes para el tratamiento de agua potable, tanto sintéticos y naturales, es así que estos últimos continuamente están en investigación como suplentes de los primeros, debido a que los coagulantes químicos están generando enfermedades como Alzheimer, problemas óseos e incluso cáncer a las personas que consumen esta agua, además, de contaminar el medio ambiente.

De los coagulantes naturales investigados en los últimos años el que mejor remoción de turbiedad en la PTAP, es el de la pitahaya, esto se muestra en los ensayos de jarra que se realizaron, teniendo en cuentas distintas dosis de coagulante siendo la de 40 mg/L la que presenta una eficiencia del 87.407%, con una turbiedad del agua inicial del 93,7 UNT y una turbiedad final de 11,8 UNT, que al terminar el proceso de sedimentación es posible que baje a los 2 UNT establecidos por la norma.

Se logro determinar la eficiencia de cada tipo de floculador de sistema mecánico como hidráulico obteniendo las características principales que posee cada uno, como lo son los caudales, máximos que maneja cada floculador hidráulico debido a que esta es su principal desventaja ante los floculadores mecánicos que no se ven afectados por la variación de caudal debido a las precipitaciones que se puedan presentar en la zona ya que pueden regular las revoluciones por minuto (rpm) de sus paletas.

Se determino nuevas fuentes de energía renovables para una PTAP, como lo es la energía fotovoltaica que es una fuente energía limpia e ilimitada, que permite reducir el impacto ambiental y reducir el gasto eléctrico por parte de los equipos, obteniendo resultados del 10% a 40% del uso de electricidad, cabe resaltar que estos resultados varían dependiendo de la zona donde se encuentre debido a que necesita mayor inducción de energía solar por lo paneles.

Se evaluó la eficiencia de los coagulantes naturales obteniendo resultados satisfactorios al momento de implementarlos, esto nos permite reconocer su importancia en la potabilización del agua y la implantación de estos productos en zonas rurales en donde se dificulta el acceso a productos sintéticos.

7. Referencias

- Aldapa, J. (2001). *MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL FLOCULADOR DE PALETAS DE EJE HORIZONTAL, MEDIANTE CAMBIO A UN SISTEMA HIDRAULICO DE FLUTO VERTICAL, EN LA POTABILIZADORA CENTRO DE LA CIUDAD DE NUEVO LAREDO, TAMAULEPAS* [UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON].
<http://eprints.uanl.mx/6476/1/1080113414.PDF>
- Altamiranda, J., Soto, C., & Feria, J. (2020). Uso de semillas de *Tamarindus indica* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda . *ESPACIOS* , 41, 1–11.
<https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p17.pdf>
- Arévalo, C., Carrillo, J., & Mejía, C. (2019). *ALTERNATIVA PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS POR TUBERÍAS A PRESIÓN* [UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA].
<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5487/ALTERNATIVA%20PARA%20EL%20MEJORAMIENTO%20DE%20LOS%20PROCESOS%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20POTABLE%20EN%20SISTEMAS%20HIDR%C3%81ULICOS%20POR%20TUBER%C3%8DAS%20A%20PRESI%C3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Avila, A., & Rodriguez, A. (2020). *OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE COAGULACION -FLOCULACION EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE A PARTIR DE LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL DE COAGULANTES EN EL PROCESO DE POTABILIZACION*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Barrenechea, A. (n.d.). *CAPÍTULO 4 COAGULACIÓN*.

Bonilla, B., Horqqe, F., Human, R., Mendivil, F., Montaya, M., Rosas, L., & Sanchez, J. (2020).

LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA II. 7–76.

Bravo, M. (2017). *COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES USADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, COLORANTES Y METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES*. [UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS].

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Calle, L., & Zambrano, C. (2015). *FACULTAD DE CIENCIA QUÍMICAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA*. UNIVERSIDAD DE CUENCA.

Cárdenas, A. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN*.

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 CÁMARAS* [UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA].

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14031/4/DOCUMENTO_OPTIMIZACION_DEL_FLOCULADOR_TIPO_ALABAMA_EN_LA_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_ACUANAMAY_CON_LA_INCORPORACION_DE_MALLAS_EN_CADA_UNA_DE_SUS_CAMARAS.pdf

Carril, B., Gómez, Y., & Vasquéz, H. (2020). *EFEECTO COAGULANTE - FLOCULANTE DEL CLADODIO DE TUNA (Opuntia ficus indica) Y DEL ENDOSPERMO DE MORINGA (Moringa oleífera lam) EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA PTAR DEL SECTOR 9, DISTRITO DE MANANTAY, 2018*

[UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI].

http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4605/UNU_AMBIENTAL_2020_T_A

[LANA-CARRIL_YUNG-GOMEZ_HOMER-VASQUEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4605/UNU_AMBIENTAL_2020_T_A_LANA-CARRIL_YUNG-GOMEZ_HOMER-VASQUEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Castrillón, D., & Giraldo, M. (2012). *DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS ÓPTIMAS DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B EN FUNCIÓN DE LA TURBIEDAD Y EL COLOR PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE VILLA SANTANA* [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA].

[https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2b18eb4d-a5ff-45a1-9f33-](https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2b18eb4d-a5ff-45a1-9f33-79beba866dcc/content)

[79beba866dcc/content](https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2b18eb4d-a5ff-45a1-9f33-79beba866dcc/content)

Domínguez, M. (2010). *OPTIMIZACIÓN DE LA COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA SEDE RECREACIONAL CAMPOALEGRE – CAJASAN* [UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA].

https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital_19174.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gómez, N. (2005). *REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

Gonzalías, A. (2019). *MODELO CFD PARA CARACTERIZAR LA HIDRODINÁMICA DE UN FLOCULADOR HIDRÁULICO TIPO ALABAMA EN LA PTAP “EL ARROYO” LOCALIZADA EN SANTANDER DE QUILICHAO* [UNIVERSIDAD DEL VALLE].

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/17779/CB0600371.PDF?sequence=1>

Huertas, J. (2022). *UTILIZACIÓN DE ALOE VERA Y LA CÁSCARA DE LA PITAHAYA AMARILLA COMO COAGULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS PARA*

- CONSUMO HUMANO [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22673/1/CD%2012156.pdf>
- Lozano, W., & Lozano, G. (2015, April 5). *POTABILIZACION DEL AGUA*. UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA. <https://www-digitaliapublishing-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/visor/40803>
- Maldonado, A. (2018). *Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo – La Mina, Moyobamba – San Martín*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO.
- Martínez, J., & Gonzáles, L. (2012). *EVALUACIÓN DEL PODER COAGULANTE DE LA TUNA (Opuntia ficus indica) PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ Y COLOR EN AGUAS CRUDAS*. [UNIVERSIDAD DE CARTAGENA].
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/137/EVALUACI%C3%93N%20DEL%20PODER%20COAGULANTE%20DE%20LA%20TUNA%20%28Opuntia%20ficus%20indica%29%20PARA%20LA%20REMOCI%C3%93N%20DE%20TURBIDEZ%20Y%20COLOR%20EN%20AGUAS%20CRUDAS..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nieto, C., & Orellana, V. (2011). *APLICACIÓN DEL QUITOSANO COMO PROMOTOR DE FLOCULACIÓN PARA DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1510/16/UPS-CT002068.pdf>
- Obando, J., & Uribe, E. (2021). *Diseño constructivo de la planta piloto de potabilización para el Laboratorio de Procesos Fisicoquímicos* [Universidad de Antioquia].
<https://core.ac.uk/download/pdf/397479422.pdf>

- OJEDA BÁEZ, L. F. (2012). *DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS COAGULANTES Y FLOCULANTES DEL TROPAEOLUM TUBEROSUM, EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA CRUDA DE LA PLANTA DE PUENGASÍ DE LA EPMAPS [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA]*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3866/1/UPS-QT03424.pdf>
- Ojeda, L. (2012). *DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE LAS CARACTERISTICAS COAGULANTES Y FLOCULANTES DEL TROPAEOLUM TUBEROSUM, EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA CRUDA DE LA PLANTA DE PUENGASI DE LA EPMAPS. UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE QUITO*.
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W., & Okada, M. (n.d.). *MEJORA DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LOS COMPONENTES ACTIVOS DE LA COAGULACIÓN A PARTIR DE MORINGA OLEIFERA SEMILLA*. www.onlinedoctranslator.com
- Orellana, J. (n.d.). Floculadores. In *Ingenieria Sanitaria* (Vol. 3, pp. 1–42). Retrieved November 19, 2022, from http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual2/ma2_cap3.pdf
- Ortiz, M. (2020). *Evaluación de la cáscara de Plátano (AAB SIMMONDS) como coagulante natural para la clarificación de aguas*. [Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito].
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1276/Ortiz%20Carvajal%20Mario%20Fernando-2020.pdf?sequence=4>
- Pérez, J. (1981). *manual de potabilización del agua*.
- Pinzón, J. (2020). *CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE A NIVEL DE LABORATORIO CON FINES ACADÉMICOS ABASTECIDA CON ENERGÍA SOLAR [UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA]*.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30356/2020josepinzon..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Racancoj, A. (2022). Eficiencia de la semilla de durazno *Prunus pérsica* S “Salcajá” como coagulante natural. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 17(1), 1–12.

<https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1401/877>

Restrepo, H. (2009). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA].

https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2561/15372239_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, C. (2008). *USO Y CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACION EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE*. UNIVERSIDAD DE SUCRE .

Romero, J. (2002). *PURIFICACION DEL AGUA* (M. C. Alfador, Ed.; Segunda). Nomos S.A.

Santana, J., Puerta, A., & Gonzales, V. (2021). Evaluación de *Ulex Europaeus* (FABACEAE) como Coagulante Natural para el Tratamiento del Agua. *Unilasallista*, 16, 1–17.

<http://179.1.108.245/index.php/pl/article/view/2652/210210564>

Solórzano, M. (2010). *USO DE QUITOSANA COMO COAGULANTE ALTERNATIVO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA LA POTABILIZACION DEL RIO FONSECA, BOACO*. Nicaragua.

Spinelli, I., & Spinelli, A. (2001). *Quitosano, polielectrolito natural para el tratamiento de agua potable* [Universidade Federal de Santa Catarina].

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82191/201719.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Torres, J. (2022). *Sistema de generación eléctrica a partir de energía solar para una planta potabilizadora* [UNIVERSIDAD DE LA SALLE].
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/628
- Vargas, L. (n.d.). *CAPÍTULO 5 MEZCLA RÁPIDA*. Retrieved December 4, 2022, from
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/cinco.pdf>
- Vargas, L. (2004). *FLOCULACIÓN*. Capitulo 6.
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>
- Vásquez, O. (1994). *EXTRACCION DE COAGULANTES NATURALES DEL NOPAL Y APLICACION EN LA CLARIFICACION DE AGUAS SUPERFICIALES* [UNIVERSIDAD NUEVO LEON]. <http://eprints.uanl.mx/7207/1/1020091188.PDF>