



**Tratamiento alternativo a afluente de la PTAR con presencia del colorante tipo Turquesa
Remazol de la empresa Tincol S.A.S**

Diana Alzate Reina

Informe de práctica para optar al título de Ingeniera Sanitaria

Asesores

Alejandro de Jesús González Molina, Especialista (Esp)

Ricardo Antonio Mazo Restrepo, Magíster (MSc)

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Sanitaria
Medellín, Antioquia, Colombia
2021

Cita	(Alzate Reina, 2021)
Referencia	Alzate Reina, D. (2021). <i>Tratamiento alternativo a afluente de la PTAR con presencia del colorante tipo Turquesa Remazol de la empresa Tincol S.A.S</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Julio César Saldarriaga Molina.

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

TRATAMIENTO ALTERNATIVO A AFLUENTE DE LA PTAR CON PRESENCIA DEL COLORANTE TIPO TURQUESA REMAZOL DE LA EMPRESA TINCOL S.A.S.

Resumen

La industria textil es uno de los sectores con mayor impacto en el recurso hídrico. En los procesos de teñido y acabado de tela se ven afectadas las propiedades químicas del agua, dado a la adición de colorantes y auxiliares de tintura que acompañan los procesos que, a su vez, requieren de grandes volúmenes de agua, lo que implica la necesidad de la implementación de tratamientos que reviertan en mayor medida las afectaciones producidas por la presencia de estos químicos en el agua. TINCOL. S.A.S es una empresa textil en la cual se llevó a cabo un acompañamiento en la planta de tratamiento de agua residual no doméstica, a fin de plantear un tratamiento alternativo para el agua residual con presencia del colorante Turquesa Remazol, dado a que el tratamiento empleado actualmente no es suficientemente efectivo para el agua residual con presencia de este colorante, pues este en el proceso de coagulación presenta buenos porcentajes de remoción de turbiedad y de color pero al ser vertida a la fuente receptora se torna de un color oscuro, por tal motivo se realizaron una serie de ensayos con el fin de identificar los factores que influyen en este fenómeno y de esta manera determinar un coagulante que se ajuste a estos. Se realizó un análisis a escala del comportamiento del agua residual con presencia de este colorante al adicionarle los coagulantes Sulfato de Aluminio y Sulfato Ferroso, siendo este último el más efectivo, lo cual se determinó a partir de los resultados obtenidos en el análisis de porcentajes de remoción, coloración tardía del agua ya clarificada y descenso en el pH, además de ser comparado el consumo de polímero de color y polímero aniónico, los cuales son químicos que complementan el proceso de coagulación del agua residual. En los ensayos se obtuvo una dosis óptima de 0.012 ppm y unos muy buenos porcentajes de remoción de turbiedad (de hasta 95%) para ambos coagulantes, sin embargo, mediante un análisis de observación del agua ya clarificada se observó que al cabo de aproximadamente cinco minutos el agua se tornaba turbia al emplear el Sulfato de Aluminio como coagulante, mientras que con el Sulfato Ferroso no se presentó este fenómeno. El pH del agua residual tuvo un descenso significativo posteriormente al proceso de coagulación empleando ambos coagulantes, sin embargo, a diferencia del Sulfato Ferroso y debido al rango de pH óptimo, el Sulfato de Aluminio presentó valores de pH finales que estaban por fuera de lo permitido por la normatividad ambiental, lo que hace necesario un ajuste final, implicando con esto un mayor costo de operación, además de tener en cuenta que el pH con el que el agua residual ingresa a la planta de tratamiento se encuentra normalmente por encima de 9, lo que también conllevaría a un ajuste de este, previo al proceso de coagulación. Se determinó que la coloración tardía del clarificado se da debido a que el componente principal del cromóforo del colorante Turquesa Remazol es el cobre el cual se libera en presencia de procesos reductivos.

Introducción

Las aguas residuales provenientes de la industria textil se caracterizan por ser altamente contaminadas debido a que esta actividad implica altos consumos de agua y productos químicos. Cada planta lleva un proceso de producción diferente, por lo que se involucran distintos productos químicos y a su vez distintos volúmenes de agua. En el año 2015, la población alcanzó los 7400 miles de millones de personas y un consumo textil per cápita de 13.1 kg/hab/año. Es importante resaltar que en un año se consumen aproximadamente 54 millones de toneladas de fibras naturales y 7 millones de químicos en el procesamiento textil, por lo que el impacto de esta industria es muy significativo en los cuerpos de agua, teniendo en cuenta que solo en los procesos de tintura del algodón se consumen entre 30 y 150 L/Kg de material textil, convirtiendo esta fibra en la mayor consumidora de agua en la industria. Por tal motivo se ha dado lugar a una creciente necesidad de reducir la cantidad de aguas residuales y

de someter estas a un tren de tratamiento en donde se garantice la adecuada disminución de contaminantes y demás características presentes en estas, minimizando así el impacto ambiental (Sánchez, Gutiérrez, Pérez, Uribe, & Valle, 2018).

Un reto para la industria textil es la disminución de los colorantes, ya que estos son altamente visibles aún en pequeñas cantidades además de disminuir el oxígeno disuelto en el agua, dificultando de esta manera la fotosíntesis de las plantas en las fuentes receptoras. Por tal motivo el tratamiento del agua residual en el sector industrial atraviesa por: cribado, homogenización, neutralización y tratamiento fisicoquímico para posteriormente ser vertida a un cuerpo de agua, garantizando que esta agua cuente con los límites permitidos por la autoridad ambiental vigente. Dentro de los métodos primarios de tratamiento de aguas a partir de procesos fisicoquímicos, se destaca la tecnología convencional; esta incluye los procesos de coagulación, floculación, decantación y filtración, siendo la coagulación química el proceso más ampliamente utilizado en la remoción de sustancias que producen turbiedad en el agua, este consiste en la adición de sustancias químicas al agua residual, de manera que se dé una distribución de forma uniforme y se produzca la formación de floc fácilmente sedimentable; durante el proceso de preparación para la sedimentación se remueven otros factores tales como la turbiedad, color, fosfatos y sustancias productoras de olores y sabores, entre otros (Lopez, 2019).

TINCOL S.A.S. es una empresa colombiana dedicada a prestar servicios de teñido y acabado textil, proceso por medio del cual brinda a sus clientes color y texturas en sus telas. Fue fundada en el año 1977 en la ciudad de Medellín a raíz de la alianza y cooperación de un grupo de empresarios del sector textil; actualmente cuenta con más de 43 años de trayectoria en el mercado, dedicando cada uno de sus días a producir teñido y acabado de telas de excelente calidad; en la actualidad se encuentra ubicada en el municipio de La Estrella en el departamento de Antioquía.

El agua residual generada en la empresa se encuentra separada (doméstica y no doméstica). El agua residual no doméstica, proviene de las actividades asociadas al proceso de tintorería, principalmente. Actualmente se cuenta con un sistema de tratamiento para las aguas residuales no domésticas antes del vertimiento, el cual consta de un cribado, un tanque de homogenización, una torre de enfriamiento, un sistema DAF, seguido de filtros de arena y de carbón activado, posteriormente la descarga es realizada en un cuerpo de agua superficial denominado Quebrada La Tablacita situada al oeste de La Quebrada, alrededor del Alto El Salto en el municipio de la Estrella. Las sustancias utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales son Policloruro de Aluminio (PAC), Polímero de color, Polímero aniónico y Ácido Nítrico. Cuando el afluente llega a la PTAR con presencia del colorante azul turquesa, el tratamiento actual no funciona. Como medida provisional el proceso de teñido con este colorante se realiza únicamente en una máquina tintorera de las trece disponibles, la descarga de esta máquina llega directamente a un tanque de 5000 L donde se realiza el proceso de coagulación y floculación del agua residual con presencia de este colorante, utilizando como coagulante el Sulfato Ferroso; durante el proceso de teñido la máquina realiza ocho vaciados de 1200 L de agua cada uno, estos deben hacerse por baches dado a que el tanque usado no cuenta con la capacidad de almacenamiento para el volumen total descargado por la máquina tintorera (9600 L), lo que afecta directamente a la planta de producción en cuanto a los tiempos

de operación.

Con base a esta problemática, este trabajo busca plantear un tratamiento alternativo en el que se tenga la capacidad y la efectividad necesaria para el tratamiento del volumen de agua producido por la planta de tintorería (22702.5 L/h), teniendo como objetivo la aplicabilidad de los conocimientos adquiridos en la academia, aportándole así a la industria textil, además de soluciones, alternativas más transparentes y amigables con el medio ambiente. Para dicho fin se evaluará mediante pruebas de Jarras, la factibilidad de reemplazar el coagulante utilizado actualmente en el sistema de tratamiento de la planta de agua, de manera que este se pueda realizar en línea; se evaluará la posibilidad de utilizar el Sulfato Ferroso como coagulante para la totalidad del agua residual producida en tintorería, dado a que como se mencionó anteriormente, este es utilizado únicamente para el agua residual con presencia del colorante Turquesa Remazol, presentando muy buenos resultados de clarificación. A su vez se evaluará la implementación del Sulfato de Aluminio como coagulante para este mismo fin.

Objetivo general:

Evaluar la posibilidad de reemplazar el coagulante actual por otro de mayor eficiencia de clarificación el sistema DAF empleado en el tratamiento del agua residual de la empresa Tincol SAS

Objetivos específicos:

- Identificar los factores que inciden en la alteración de la remoción del colorante Turquesa Remazol.
- Analizar mediante test de Jarras el porcentaje de remoción a partir de la utilización de uncoagulante más efectivo.
- Proponer un sistema alternativo para el tratamiento del colorante tipo Turquesa Remazol.

Marco teórico

➤ **Fibra textil**

Las fibras pueden considerarse como una materia prima textil, la cual es caracterizada por su flexibilidad y finura, además de su baja relación sección transversal-longitud, estas tienen como objetivo principal la creación de los tejidos, siendo así el elemento fundamental de los textiles; y es a partir de ella que se elaboran los hilos, con los cuales se fabrican los tejidos y con ellos las telas. Las fibras textiles se clasifican según su procedencia en: naturales, artificiales y sintéticas. Las naturales se encuentran en estado natural y requieren una ligera adecuación para su utilización como material textil, y pueden ser de origen vegetal como el lino y el algodón, animal como la seda y la lana o mineral como el asbesto o amianto. Por otro lado, las fibras sintéticas son aquellas que no existen en la naturaleza, pero se construye manufacturando la materia prima proveniente de polímeros sintéticos, como por ejemplo el poliéster, elastano y la poliamida. Por último, las fibras artificiales se construyen a partir de polímeros, pero de origen natural como por ejemplo la viscosa, triacetato y acetato (Burkinshaw, 2016). En la *imagen 1* se diferencian los seis grupos de fibra textil, distribuidos en dos clases principales de

derivación, las fibras naturales y las sintéticas, en esta se muestran tanto sus nombres genéricos (viscosa, poliéster, entre otros) como sus abreviaturas correspondientes (CV, PES, etc.) utilizados para fibras sintéticas o artificiales.

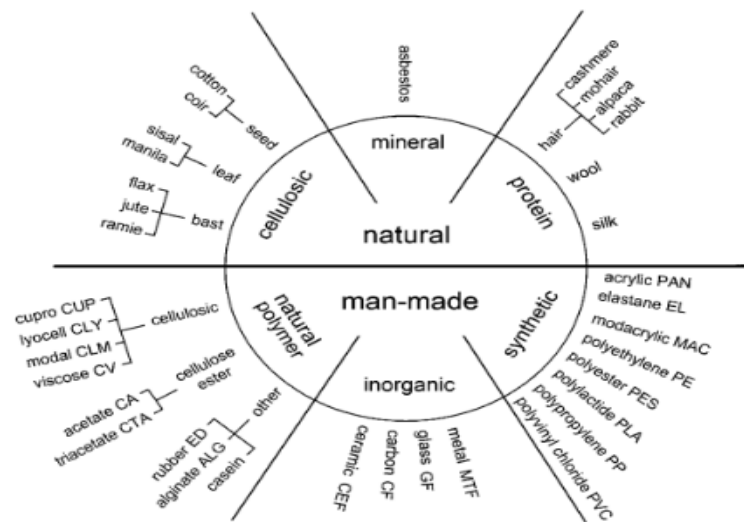


Imagen 1. Clasificación de fibras textiles (Burkinshaw, 2016).

➤ **Colorante**

En la industria se utilizan una gran variedad de tintes, los cuales se clasifican en dos grandes grupos: los colorantes y los pigmentos; caracterizándose los colorantes por ser solubles en agua, estos son definidos como compuestos capaces de impartir color a una fibra, sin verse afectados por factores como la luz, temperatura. Actualmente existe una gran cantidad de colorantes comerciales disponibles en el mercado, estos pueden ser clasificados por su estructura química y por sus métodos de aplicación (Arias, Proal Nájera, Chaires Hernández, & Salas Ayala, 2018). En las **tablas 1 y 2** se muestra a detalle la agrupación de los colorantes de mayor a menor importancia de uso en la industria textil, además de su respectivo grupo cromóforo el cual es el grupo de átomos encargados de dar el color.

Familia	Grupo Cromóforo	Descripción
Azoicos		Este grupo de colorantes es el más importante dentro de la industria textil con una elaboración aproximada del 70% de los colorantes orgánicos del mercado.
Antraquinonas		Son quinonas tricíclicas derivadas del antraceno que a menudo contienen uno o más grupos hidroxilo
Ftalocianina		Éstos colorantes están formados por la unión de cuatro grupos isoindol (dos anillos fusionados, uno bencénico y el otro; una piridina) mediante cuatro átomos de nitrógeno, dando lugar a un anillo de 16 átomos: ocho de nitrógeno y ocho de carbono, alternados con dobles enlaces coniugados [9].

Tabla 1. Clasificación de colorantes por estructura química (Arias, Proal Nájera, Chaires Hernández, & Salas Ayala, 2018).

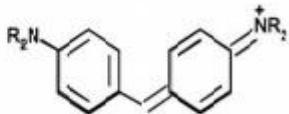
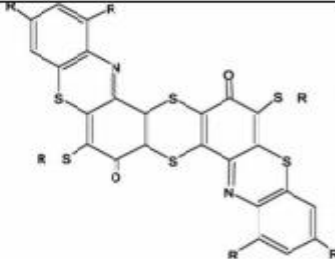
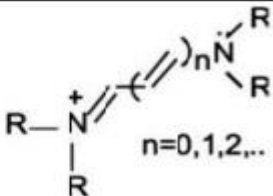
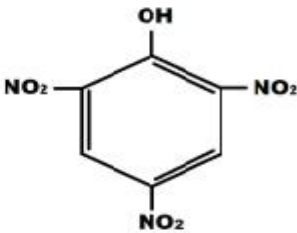
Ion arilcarbonio		Su estructura química esta conformada por un átomo carbonilo unido a dos o tres anillos aromáticos.
Sulfuro		Grupo de colorantes totalmente insolubles en agua pero solubilizable por reducción. Proporciona una gama de colores bajos y apagados.
Polimetino		Se clasifican en tintes neutros, catiónicos y aniónicos. En los extremos de su cadena poseen un grupo donador y un sustractor de densidad electrónica.
Nitro		Son un grupo de colorantes incoloros cuando se encuentran aislados. Su absorción se encuentra muy cerca del campo visible por combinación de grupos auxocromos débiles, adquiriendo una tonalidad amarillenta.

Tabla 2. Clasificación de colorantes por estructura química (Continuación) (Arias, Proal Nájera, Chaires Hernández, & Salas Ayala, 2018).

➤ Colorantes reactivos

Son compuestos que reaccionan con la celulosa formando un enlace covalente entre la fibra celulósica y el colorante. Son sustancias de estructuras no saturadas, orgánicas solubles en agua, estas se preparan comercialmente para tener entre unos o dos átomos de cloro los cuales reaccionan con la celulosa formando enlaces covalentes con los grupos nucleófilos de las fibras. Están formados por una parte cromófora la cual es la encargada de dar color denominado MonoCloroTriazina (MCT) y una parte auxócroma la cual es responsable del tipo y velocidad de reacción entre la fibra celulósica y el colorante (Colorantes reactivos, S,f)

➤ Ftalocianina de cobre

Nombre químico del colorante Turquesa Remazol. La Ftalocianina es un compuesto de color verde azulado, el cual está formado por la unión de cuatro grupos isoindol mediante cuatro átomos de nitrógeno, formando así un anillo de dieciséis átomos, donde ocho son de nitrógeno y los otros ocho de carbono, que se alternan con dobles enlaces conjugados. Mediante un átomo metálico es posible coordinarse la parte central de la molécula dándose así lugar a la formación de sus diversos derivados, los cuales son empleados como colorantes y pigmentos, dentro de los cuales la ftalocianina de cobre se caracteriza por ser el más importante, utilizándose como pigmento cian, el cual se obtiene a partir de la condensación de cuatro moléculas de ftalonitrilo

con cobre a una temperatura de reacción de 200°C. La formación de estos átomos de hidrógeno puede verse sustituido por cloro o grupos sinfónicos para obtener derivados de color verde o azul, los cuales son muy estables a la luz, al calor y a las agresiones químicas (Ohno-Okumura, 2009). En la *Imagen 2*, se muestra la formación de los derivados a partir de la unión de sus átomos.

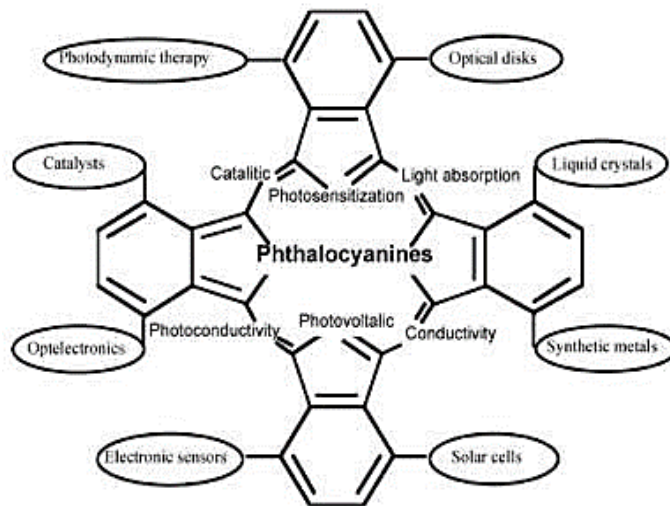


Imagen 2. Función típica de los derivados de Ftalocianina. Ficha técnica, colorante Turquesa Remazol (DYSTAR).

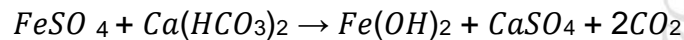
La ftalocianina ha tenido un gran impacto comercial y tecnológico en el ámbito textil gracias a que presenta una gran variedad de tonalidades e intensos tonos en tintorería, además de tener una muy buena estabilidad química y excelente solidez a la luz, propiedades que no poseen otros colorantes que son altamente sensibles y fácilmente destruidos por la luz, el calor y algunos reactivos, lo que ha inducido a que se realicen numerosos estudios en donde se ha modificado su estructura, con el objetivo de moderar sus propiedades y optimizar su rendimiento. Este creciente interés por la ftalocianina ha permitido identificar sus características y excepcionales propiedades. Su estructura macrocíclica química y térmicamente estable, fue descubierta accidentalmente en 1907 por Braun y Tcherniak, quienes fueron los primeros químicos en observar un sólido oscuro como subproducto durante la síntesis de o-cianobenzamida a partir de ftalimida y anhídrido acético, sin embargo, este descubrimiento tomó interés más tarde, cuando accidentalmente Diesbach y Von der Weid, observaron en 1927 pequeñas cantidades de un producto residual de coloración azul, durante la reacción entre o-dibromobenceno con cianuro de cobre a reflujo en piridina, el cual fue el primer indicio de una metaloftalcianina (MPc). Este complejo nombrado inicialmente como Montreal Blue, correspondería posteriormente a la ftalocianina de cobre (CuPc), un compuesto insoluble con alta estabilidad ante ácidos, álcalis y calor; lo que contribuyó a que fuera inicialmente utilizada como pigmento en el sector textil, por sus intensas tonalidades (Suárez, 2016)

➤ **Coagulante Sulfato Ferroso**

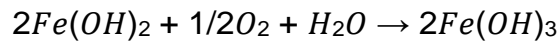
Coagulante utilizado en el tratamiento de agua, su presentación es en polvo de color verde, el cual es muy soluble, con una masa volumétrica aparente de aproximadamente 900 kg/m³. Su contenido en hierro es de aproximadamente 19%. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2,8 aproximadamente, motivo por el cual, para su preparación y almacenamiento,

debe utilizarse un material plástico (Barrenechea, n.d)

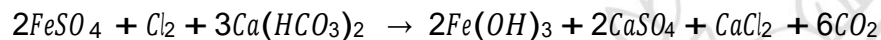
Reacción con la alcalinidad del agua:



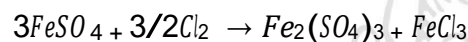
En aguas aireadas, el hidróxido ferroso formado se oxida a hidróxido férrico:



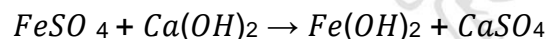
Reacción con el cloro:



Si se usan sulfato ferroso y cloro para el tratamiento del agua, pueden dosificarse por separado o ser oxidadas previamente la solución de sulfato ferroso con cloro, obteniéndose así una mezcla de sulfato y cloruro férrico, conocida comercialmente con el nombre de cloro-sulfato férrico.

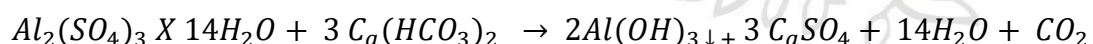


Reacción con cal:

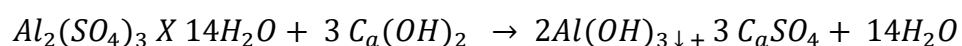


➤ **Coagulante Sulfato de Aluminio**

Es utilizado normalmente en el tratamiento de plantas de agua potable debido a su bajo costo ya la simplicidad en su uso. Su propiedad como catión metálico está asociada con el agua en solución, en donde actúa como ácido y con las bases de la misma, incurriendo así en un consumo y un descenso del pH dado a que también actúa con las bases que constituyen la alcalinidad. Su dosis varía normalmente entre 5 a 50 mg/L para aguas naturales a un pH efectivo entre 5.5 y 8. Al añadirse soluciones de Sulfato de Aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+3} y SO^{-2} . El Al^{+3} puede combinarse con coloides cargados negativamente neutralizando así parte de la carga de la partícula coloidal, y a su vez con los OH del agua, formando hidróxido de aluminio de carácter coloidal, absorbiendo así los iones positivos en solución, neutralizando la carga de los coloides negativos lo que permite la coagulación. Además de disociarse, el coagulante reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar floc de hidróxido de aluminio (Beltrán, 2017).



Si el agua contiene poca o nula cantidad de alcalinidad natural para reaccionar, debe añadirse la alcalinidad necesaria, mediante cal o soda.



➤ **Test de Jarras**

El ensayo de jarras es utilizado en las plantas de tratamiento de agua, con el fin de hallar la dosificación del agente coagulante a emplear. Con este ensayo se verifica la variación del pH y se relaciona este con la formación del floc, debido a que en el proceso de coagulación influyen muchas variables el proceso no se ha podido estandarizar; en este también influye el tipo de floculado y las características propias de cada uno de los mezcladores, pero para efectos prácticos el ensayo es realizado en un número determinado de revoluciones por minuto, en donde se asumen los valores más óptimos de floculante en la jarra en donde se note una formación más rápida y en donde las partículas de floc presenten un mayor tamaño (Ovalle Celis & Moreno Ripe, 2014).

➤ **Coagulación**

Es un proceso de alteración química que se presenta mediante la adición de coagulantes dado a la necesidad de remover impurezas insolubles entre las cuales se destacan las partículas coloidales, las cuales presentan una carga superficial negativa, lo que impide que las partículas se aproximen unas a otras, favoreciendo de esta manera su estabilidad por lo que se hace necesario alterar algunas características del agua (Martel, s.f).

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

- **Químico:** consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva, este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH de la mezcla.
- **Físico:** consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua. Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, y se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida.

➤ **Coagulantes**

Los coagulantes se pueden clasificar en polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los metálicos. Un coagulante metálico es aquel compuesto de hierro, aluminio u otros elementos con la capacidad de formar un floc, de esta manera pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua. Los coagulantes de origen metálico pueden clasificarse en dos subgrupos los cuales se resumen en la **Tabla 3**. Este tipo de coagulantes es muy utilizado dado a que se encuentra en el mercado a muy bajos costos y debido a la efectividad de estos para formar complejos con diferentes cargas. La naturaleza de formación de estos complejos puede ser controlada por el pH del sistema (Lopez, 2019).

Coagulante metálico	Tipo
Aluminio	Sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, aluminato de sodio, clorhidrato de aluminio, policloruro de aluminio, sulfato de cloruro de polialuminio, silicato de cloruro de polialuminio, y formas de cloruro de polialuminio con polímeros inorgánicos.
Hierro	Sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico, sulfato de cloruro férrico, sulfato poliférrico, y sales de hierro con polímeros orgánicos.

Tabla 3. Tipos de coagulantes metálicos. Tomado de *Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada por Murillo Diana*, 2011.

➤ Floculación

La floculación es un proceso químico a través del cual se aglutinan las partículas coloidales presentes en el agua, facilitando su precipitación, esto se da a partir de la adición de sustancias denominadas floculantes. Este proceso es precedido por la coagulación, por tal motivo al proceso en conjunto se le llama coagulación-floculación (ninhonkasetu, 2017). La coagulación es el proceso más ampliamente usado para remover las sustancias que producen turbiedad en el agua; las sustancias que producen turbiedad son normalmente inorgánicas mientras que las que causan olor, sabor y otros, son generalmente orgánicos. En la **Imagen 3**, se muestra el proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales (Lopez, 2019).

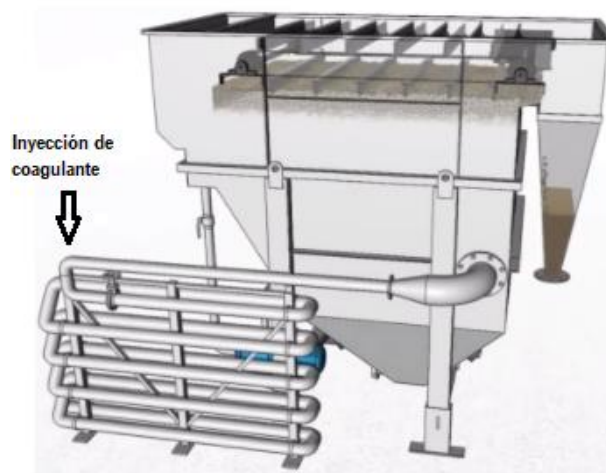


Imagen 3. Proceso de coagulación química, adaptado de Syner Tech S.A.S.

➤ Coloide

Son sólidos que no sedimentan por simple acción de la gravedad dado a que son suspensiones estables, lo que hace imposible su sedimentación natural, al estar presentes en el agua producen turbiedad y color. La estabilidad de los coloides se da gracias a las cargas electrostáticas que posee su superficie, estas son generalmente negativas lo que involucra la aparición de una fuerza repulsiva cuando las partículas se acercan entre sí, por tanto, se impide la aglomeración de estas. Existen dos propiedades ligadas a los coloides, el movimiento browniano y área

superficial extremadamente grande, las cuales hacen que estos no puedan ser removidos por una sedimentación simple. Debido a su gran área superficial, los coloides absorben iones en cantidades desiguales, dando lugar a la formación de una carga eléctrica que contribuyen a su estabilidad (Calienes & de Celis Gomez, 2019).

Dependiendo de su afinidad con el agua, los coloides se dividen en hidrofóbicos e hidrofílicos, en la coagulación los coloides hidrofílicos reaccionan químicamente con el agua y con los coagulantes; los hidrofóbicos no reaccionan con el agua y su coagulación se logra predominantemente por reacciones físicas, por otro lado, los coloides hidrofóbicos mantienen su estabilidad a partir de la hidratación, pues las moléculas de agua son atraídas a la superficie de las partículas y actúan como una barrera para el contacto entre ellas, en los hidrofóbicos la estabilidad es principalmente un efecto eléctrico, que se da mediante la teoría de la doble capa, la cual establece que las partículas hidrofóbicas suspendidas en el agua transportan cargas eléctricas en su superficie. El grado de estabilidad de una partícula es determinado por un valor llamado potencial zeta, el cual está relacionado con la carga de la partícula y la distancia a través de la cual la carga es efectiva. Las partículas coloidales se caracterizan por poseer dos capas eléctricas alrededor de ellas, de las cuales derivan su estabilidad; la capa interna consiste tanto en cationes como aniones, pero en general retiene una carga neta negativa mientras que la capa externa comprende cationes intercambiables tales como Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , H^+ (Calienes & de Celis Gomez, 2019). En la **Imagen 4** se muestra este fenómeno.

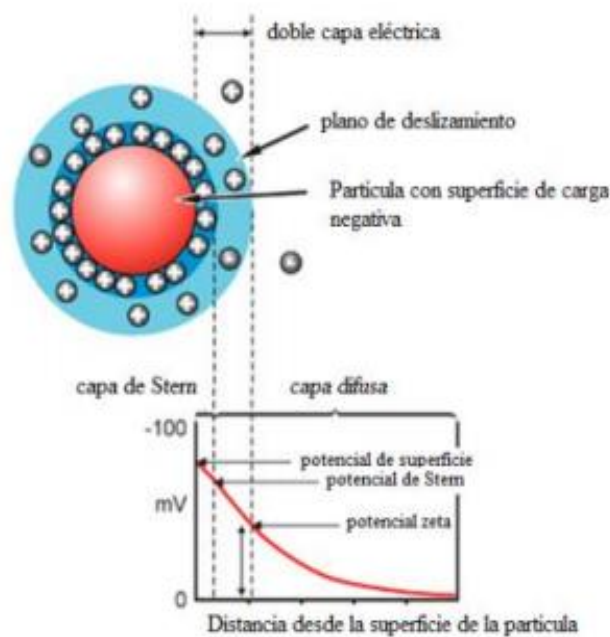


Imagen 4. Potencial Zeta, comprensión de la teoría de la doble capa. Tomado de Cyril Gomella, Henri Guerrée, *Tratamiento de aguas para abastecimiento público*, (Lopez, 2019).

El potencial zeta es la medida en mili voltios de potencial eléctrico entre la carga fija y la capa de iones de carga contraria que rodean al coloide. La ecuación de Helmholtz define el potencial zeta como:

$$L = (4\pi S q) / D$$

Donde

L: Potencial zeta

q: carga sobre la partícula

D: constante dieléctrica del líquido

S: espesor de la zona de influencia de la carga sobre la partícula

La estabilidad de los coloides depende de la resultante de las fuerzas de atracción y repulsión que actúan sobre ellos; las fuerzas de atracción llamadas fuerzas de Van der Waals son causadas por la interacción de dipolos de las partículas, ya sean permanentes o inducidas mientras que las fuerzas de repulsión son aquellas que mantienen la estabilidad del coloide en sistemas coloidales hidrofóbicos. La disminución de la estabilidad de las partículas, o sea la reducción de las fuerzas de repulsión o del potencial zeta, se logra a partir de los siguientes mecanismos (Lopez, 2019):

- Ajustando el pH al punto isoeléctrico, esto es al pH para el cual la carga neta de la partícula se anula y el potencial zeta se hace cero.
- Añadiendo iones de carga eléctrica contraria a la de los coloides que se quiere remover, por lo cual produce un doble efecto, inicialmente se da una disminución de la carga eléctrica neta del coloide con respecto al resto de la solución y después se da un aumento de la concentración de iones en la solución, reduciendo así la distancia a través de la cual la carga es más efectiva.
- Mientras mayor sea la valencia del ion que se añade, mayor será su poder de coagulación.

➤ **Sistema de flotación por aire disuelto (DAF)**

En un sistema en el que se da la separación de partículas en suspensión mediante microburbujas de aire en las que se adhieren los sólidos, este es uno de los procesos más empleados en los tratamientos de aguas residuales industriales. Las burbujas flotantes hacen que las partículas asciendan a la superficie, y una vez estando ahí, los sólidos son arrastrados mecánicamente hasta una tolva. La mezcla de agua y burbujas de aire se distribuye homogéneamente dentro del compartimento de entrada donde se adhieren a las partículas (NETJET, 2020). Como se muestra en la *imagen 5*, la flotación por aire disuelto se da una vez adicionado el coagulante al agua residual, el floc ya formado ingresa al tanque y posteriormente flota a la superficie donde es barrido a una tolva de lodos como se mencionó anteriormente.

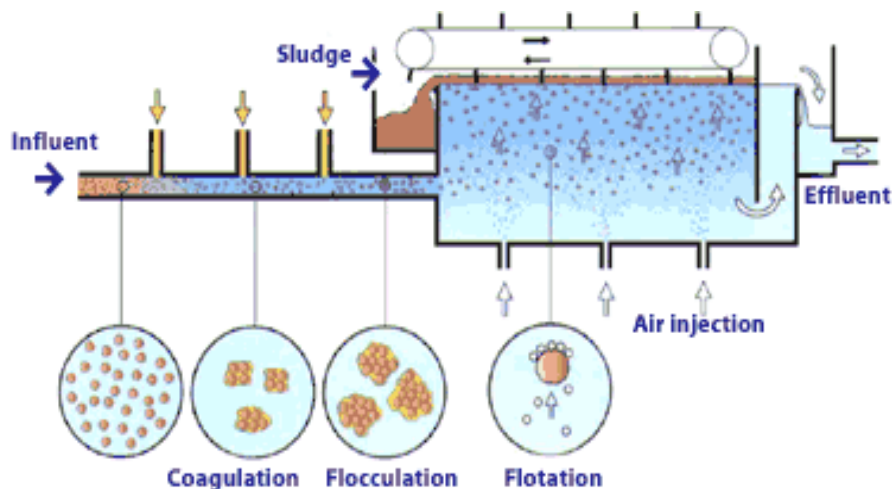


Imagen 5. Flotación por aire disuelto DAF (Ramirez, 2021).

➤ pH óptimo de coagulación

El pH es uno de los factores con mayor importancia dentro del proceso de coagulación, dado a que este afecta directamente la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, además de interferir en el tiempo requerido para la formación de floc. El pH óptimo para la remoción de coloides negativos varía según la naturaleza del agua. Los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio causando problemas en el tratamiento (Pérez, 2016). Para facilitar los procesos de coagulación se han estandarizado los valores óptimos de pH para los coagulantes metálicos, estos se muestran en la siguiente tabla.

Coagulante	pH óptimo de coagulación
Sulfato de aluminio	Entre 5 y 7.4
Cloruro Férrico	Entre 4 y 6, y mayor a 8
Sulfato ferroso	Alrededor de 9.5 a 12
Sulfato férrico	Entre 4 y 7, y mayor a 9

Tabla 4. pH óptimo para algunos coagulantes (Lopez, 2019).

Metodología

El estudio de los procesos de coagulación se realizó inicialmente al agua con presencia del colorante Turquesa Remazol, a fin de determinar las condiciones aptas para su tratamiento, esto con el propósito de estandarizar el proceso al que se le somete actualmente, dado a que no se cuenta con unos valores definidos. Los ensayos se realizaron mediante un test de Jarras en donde se analizó el efecto de las variables que influyen en el proceso de coagulación.

Posteriormente se hizo un análisis del proceso de coagulación del agua con presencia del colorante Turquesa Remazol mezclada con el agua que ingresa diariamente a la planta de tratamiento, esto a partir de los datos obtenidos en el análisis inicial, del mismo modo se realizó

el análisis del agua que ingresa normalmente a la planta sin mezclarse con el colorante problema, esto con el fin de establecer las condiciones óptimas de tratamiento de manera que el proceso se pueda realizar en línea.

➤ **Descripción de los ensayos de coagulación**

La selección de los coagulantes y las condiciones de operación se realizaron a partir de la experimentación con datos referentes al tratamiento químico de aguas residuales industriales extraídos de la bibliografía.

Los coagulantes estudiados fueron el Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y el Sulfato ferroso $FeSO_4$. Con el fin de obtener mejores resultados en el proceso de coagulación se emplearon como estabilizadores de pH Soda caustica y Ácido nítrico.

Las condiciones de operación fueron las siguientes:

pH: 5 – 7.4 para el Sulfato de Aluminio y 8.5 – 11 para el Sulfato ferroso

Tiempo de sedimentación: 30 minutos

Temperatura: Alrededor de 30°C

Los métodos empleados han sido extraídos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition.

➤ **Determinación del pH:**

La medición del pH se realiza haciendo uso de un pH metro portátil HI9811-5 de Hanna. Se tomó el agua residual y se estabilizó el pH dentro de un rango, de acuerdo al coagulante utilizado en cada ensayo.

➤ **Turbiedad del agua residual**

Para el análisis de la turbiedad se utilizó un colorímetro DR900 de la marca HACH, en este se midieron las muestras de agua tomadas. Cabe resaltar que tanto para el análisis del agua con presencia del colorante Turquesa Remazol mezclado con el agua que ingresa normalmente a la planta como para esta última sola, se tomaron varias mediciones, esto teniendo en cuenta que las características del agua que ingresa a la planta de tratamiento son muy cambiantes, dado a que esta no cuenta con tamizado ni con una buena homogenización, los cuales son factores de suma importancia, teniendo en cuenta que en la tintorería se llevan a cabo procesos distintos para cada tela en los que se involucran diferentes tipos de químicos para la tinte y acabado de poliéster 100%, poliéster lycra, viscosa lycra, nylon/lycra, algodón, poli/algodón y otras combinaciones, por lo cual se afectado en proceso de coagulación.

➤ **Evaluación de la dosis óptima en el proceso de coagulación por ensayo de Jarras**

La simulación de la coagulación se realizó mediante el ensayo de prueba de Jarras para los dos coagulantes analizados. Para iniciar el proceso de coagulación se inició con la medición del pH, la turbiedad y la temperatura del agua residual a tratar. Cada muestra se tomó en un beaker de 400 mL y en una tabla se registró la cantidad de coagulante añadida al agua residual, el cambio en el pH y el porcentaje de remoción para cada muestra. Se debe tener en cuenta que

el ensayo de jarras fue realizado manualmente debido a que no se contaba con el equipo, por tal motivo, los resultados obtenidos son una aproximación.

Resultados y análisis

Para los ensayos de coagulación se establecieron diferentes dosis de coagulantes; comenzando con 1000 ppm hasta 5000 ppm, esto en cuanto a la dosis con respecto al agua de preparación, con el propósito de tener una uniformidad entre esta para posteriores comparaciones. Se debe tener en cuenta que en la coagulación también fueron analizadas las dosis de polímero aniónico y polímero de color necesarias una vez adicionados los coagulantes, esto se hace dado a que estos productos se utilizan en el tratamiento actual de la planta como complementos al coagulante utilizado actualmente.

- **Comportamiento de la turbiedad con respecto a la dosis de Sulfato ferroso para el agua con presencia del colorante Turquesa Remazol**

El agua residual que se utilizó para este ensayo presentaba un pH de 9.3 y una turbiedad inicial de 2734 NTU. En la **Tabla 5** se muestra el comportamiento que tuvo la turbiedad a partir de diferentes dosis de coagulante, además se muestra el gasto que se tuvo de polímero aniónico y de polímero de color para cada una de estas dosis.

Sulfato ferroso						
Agua	Coagulante ppm	P. color ppm	P. aniónico ppm	pH	Turbiedad NTU	% Remoción turbiedad
TR	0.005	0.00013	0.001	9	437	84.02
	0.01	0.00016	0.001	9.1	475	82.63
	0.012	0.00018	0.001	8.9	148	94.59
	0.016	0.00048	0.05	8.7	237	91.33
	0.015	0.00065	0.22	8.7	354	87.05
TR + N	0.005	0.00013	0.001	9.1	459	83.21
	0.01	0.00019	0.001	8.8	423	84.53
	0.012	0.0002	0.02	8.7	123	95.50
	0.016	0.00076	0.067	8.6	119	95.65
	0.015	0.00095	0.32	8.4	126	95.39

Tabla 5. Comportamiento de la turbiedad con respecto a la dosis de Sulfato ferroso.
Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla anterior, el mayor porcentaje de remoción se da en la dosis 0.012 ppm, para el caso del agua con presencia del colorante Turquesa Remazol (TR) y de igual forma para esta mezclada con el agua que normalmente sale de la planta de tintorería (N). Se observa que entre mayor es la dosis de coagulante, mayor es el gasto de polímero de color y de polímero aniónico, esto se da debido a que el sulfato es una sal de hierro que al sobre dosificarse en el agua, se libera el hierro por lo que esta se torna amarilla incrementando así el consumo de estos dos productos para su adecuada clarificación, lo que conlleva a un mayor costo de operación.

En la **Imagen 4** se observan dos muestras de agua correspondientes a la dosis de coagulante de 0.012 ppm, en la parte izquierda se muestran 300 mL de agua con presencia del colorante

Turquesa Remazol (TR) y a su vez una muestra de 300 mL de esta agua mezclada con el agua que diariamente ingresa a la planta de tratamiento (N); en la parte derecha se muestra el resultado de la coagulación una vez han pasado los 30 minutos de sedimentación. Cabe resaltar que estas dos muestras fueron tenidas en observación durante un período de 24 horas, esto con el fin de observar algún cambio en la coloración del clarificado, dado a que con el coagulante que se opera actualmente, el agua se clarifica en unas condiciones aptas para su vertimiento, pero al pasar los minutos esta se torna de un color verde oscuro; al pasar las 24 horas no se observó ningún cambio en el agua.

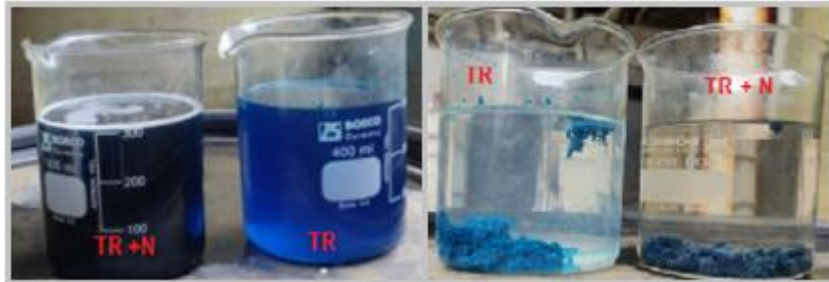
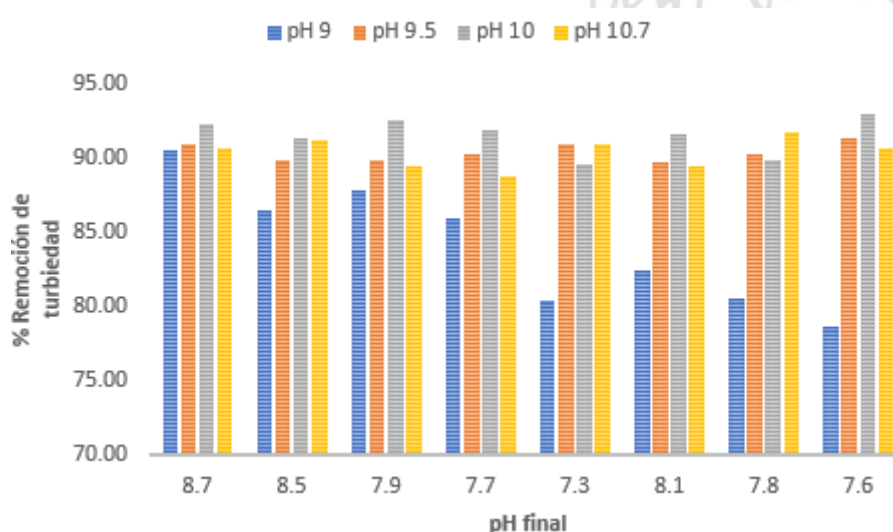


Imagen 4. Muestras de aguas clarificadas con coagulante Sulfato Ferroso. Elaboración propia.

- **Comportamiento de la turbiedad con respecto a la dosis de Sulfato ferroso para el agua que diariamente llega a la planta de tratamiento**

A partir de la determinación de la dosis óptima de coagulante para el tratamiento del agua residual con presencia del colorante Turquesa Remazol y de esta mezclada con el agua que normalmente sale de la planta, se hizo un ensayo con esta última sin mezclar. En la *Gráfica 1* se muestra el comportamiento de la turbiedad a partir de la adición de esta dosis. Para tal fin, se tuvo en cuenta que las condiciones del agua que entra a la PTAR son muy variantes, dado a que esta se compone de los diferentes colorantes y sustancias químicas usadas en tintorería que varía de acuerdo al proceso de tintorería y acabado que se esté realizando; normalmente el pH de esta agua llega a la planta en un intervalo que va de 8 a 10,7 siendo este último el más habitual, por lo que el ensayo se realizó para pH dentro de este rango.



Gráfica 1. Remoción de turbiedad vs pH. Elaboración propia.

Se puede observar que en la valoración de pH ninguno de los valores finales está fuera del rango permitido por la resolución 0631 de 2015 (6.5 – 9.0), lo que evita una estabilización de pH posterior al tratamiento. Como se muestra en la gráfica anterior, todos los valores de pH evaluados muestran buenos porcentajes de remoción, siendo el pH de 10 y el de 10.7 los valores con mejor comportamiento. Esta disminución del pH al adicionar la dosis de Sulfato ferroso se da debido a que este en la reacción de hidrólisis libera H^+ para formar complejos metálicos, provocando de esta manera un descenso en el pH.

- **Comportamiento de la turbiedad con respecto a la dosis de Sulfato de Aluminio para el agua con presencia del colorante Turquesa Remazol**

El agua residual que se utilizó para este ensayo presentaba un pH de 10.4 por lo que se hizo necesario ajustarlo a 7 siendo este un valor que se encuentra dentro del rango óptimo para el coagulante (*Tabla 4*), además presentaba una turbiedad inicial de 1631 NTU. En la *Tabla 6* se muestra el comportamiento que tuvo la turbiedad a partir de diferentes dosis de coagulante y a su vez el gasto que se tuvo de polímero aniónico y de polímero de color para cada una de estas dosis. Las dosis suministradas en este ensayo fueron las mismas que se estudiaron para el Sulfato ferroso.

Sulfato de Aluminio						
Agua	Coagulante ppm	P. color ppm	P. aniónico ppm	pH	Turbiedad NTU	% Remoción turbiedad
TR	0.005	0.0001	0.001	6.6	332	79.64
	0.01	0.0001	0.001	6.4	157	90.37
	0.012	0.00013	0.001	5.9	132	91.91
	0.016	0.00026	0.05	5.7	193	88.17
	0.015	0.00042	0.22	5.6	376	76.95
TR + N	0.005	0.00011	0.001	6.8	351	78.48
	0.01	0.00012	0.001	6.5	168	89.70
	0.012	0.00015	0.02	6	121	92.58
	0.016	0.00053	0.067	5.6	213	86.94
	0.015	0.00079	0.32	5.3	319	80.44

Tabla 6. Comportamiento de la turbiedad con respecto a la dosis de Sulfato de Aluminio. Elaboración propia

Al igual que para el Sulfato Ferroso, la dosis de 0.012 ppm presenta un mayor porcentaje de remoción tanto para el agua residual TR como para esta mezclada con N. En cuanto al gasto de los demás químicos, se tiene que para el polímero aniónico se presentó el mismo gasto que en el ensayo con el coagulante Sulfato Ferroso, pero para el polímero de color si hubo un gasto menor. De igual forma que con el Sulfato Ferroso; al dosificar Sulfato de Aluminio hay una disminución considerable en el pH al hidrolizarse con el agua residual, sin embargo, para este último caso estos valores no se encuentran dentro de los límites establecidos por la normatividad de vertimientos (Resolución 0631, 2015), motivo por el cual este tendría que ser ajustado posteriormente, lo que implica un aumento en los gastos de operación.

Análogo al ensayo realizado con el Sulfato Ferroso, se realizó un análisis de observación en la coloración del clarificado y se observó un aumento en este luego de pasados cinco minutos

como se muestra en la *Imagen 5*.

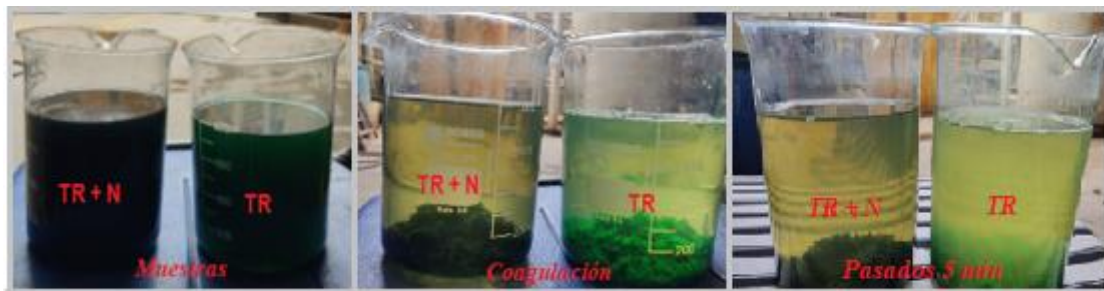


Imagen 5. Muestras de aguas clarificadas con coagulante Sulfato de Aluminio. Elaboración propia.

Al mostrarse la coloración en el clarificado del agua residual con presencia del colorante Turquesa Remazol mezclada con el agua que normalmente sale de la planta se midió su turbiedad nuevamente y se obtuvo un incremento en esta, arrojando un valor de 168 NTU para el agua TR +N y de 143 NTU para el agua N. Esto se explica dado a que el colorante Turquesa Remazol está compuesto por una molécula llamada cromoforo la cual le da el color a la molécula Ftalocianina que a su vez contiene cobre, este en su estado natural es de color azul verdoso, cuando este se mezcla con los baños de tintura que contienen soda, hidrosulfito y peróxido, se generan reacciones de reducción, al reducirse el colorante, la molécula Ftalocianina se rompe y se libera el cobre, por tal motivo el agua ya clarificada se vuelve a colorar. Esto no ocurre con el Sulfato Ferroso gracias a que el rango de su pH óptimo es básico, lo que no favorece a las reacciones de reducción.

Para un mejor análisis del comportamiento del agua con presencia del colorante Turquesa Remazol en niveles de pH bajos, se hizo un nuevo ensayo de Jarras con el Sulfato Ferroso como coagulante en su dosis óptima (*Tabla 5*) a un pH de 6, en este, a pesar de estar por debajo del rango de pH óptimo para el coagulante (*Tabla 4*), se dio una remoción del 69%, sin embargo una vez pasados aproximadamente 3 minutos, el agua ya clarificada se tornó de nuevo oscura, demostrando con esto la estabilidad que tiene este colorante en pH bajos.

➤ **Propuesta de sistema alternativo para el tratamiento del afluente de la PTAR.**

La empresa actualmente cuenta con un sistema de tratamiento para las aguas residuales no domésticas antes del vertimiento, el cual consiste en un cribado, tanque homogeneizador, torre de enfriamiento, sistema DAF, seguido de filtros de arena y de carbón activado, posteriormente la descarga es realizada en un cuerpo de agua superficial denominado Quebrada La Tablacita tal como se muestra en la *Figura 1*.

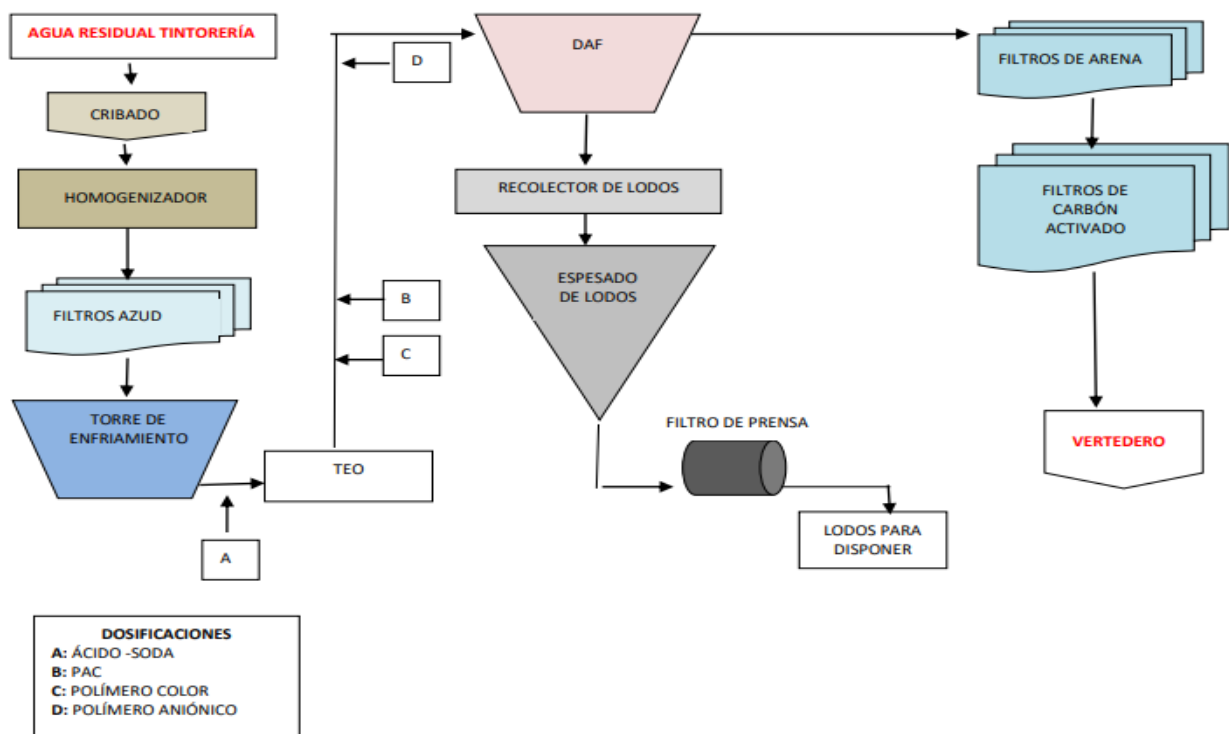


Figura 1. Flujograma del sistema de tratamiento de las aguas residuales no domésticas.

Fuente: TECO S.A.S

Habiendo analizado ambos coagulantes mediante el uso de la simulación del test de Jarras se determinó que el coagulante óptimo para el tratamiento del agua residual con presencia del colorante Turquesa Remazol mezclada con el agua que normalmente sale de la tintorería es el Sulfato Ferroso, ya que aparte de presentar buenos porcentajes de remoción de turbidez, su clarificado no se ve afectado posteriormente, lo cual proporciona las condiciones óptimas para un tratamiento en línea del agua residual que entra a la planta de tratamiento y con esto se hace frente al problema que se tiene por la capacidad de producción de la planta de tintorería ya que se eliminaría la medida que actualmente se tiene adoptada de tratar el agua residual con presencia del colorante Turquesa Remazol de manera independiente y por baches.

A partir de la selección del coagulante óptimo para el tratamiento del agua residual se hizo un análisis en el costo que implicaría el tratamiento, esta se hace mediante la comparación entre el tratamiento con el coagulante empleado actualmente y el Sulfato Ferroso. En la **Tabla 7** se muestran estos coagulantes frente a costos y beneficios, estos valores han sido tomados de cotizaciones de proveedores de la empresa.

Coagulante	Químicos a utilizar	Costo \$/kg	\$/m3	Total \$/m3
PAC	Coagulante	1700	1410.32	4243.842
	Polímero de color	4800	2430.48	
	Polímero aniónico	14950	253.552	
	Ácido nítrico	1100	149.49	
Sulfato Ferroso	Coagulante	1655	21.52	2705.552
	Polímero de color	4800	2430.48	
	Polímero aniónico	14950	253.552	

Tabla 7. Costos de operación de coagulante actual vs Sulfato Ferroso. Elaboración propia.

Gracias a que el Sulfato Ferroso opera en un rango de pH alto y que el agua residual que entra a la planta de tratamiento es normalmente de un pH de 9 a 10.7, no es necesario ajustarlo previamente al proceso de coagulación, por tal motivo el costo en su operación es de aproximadamente el 65% del costo que se tiene con el coagulante actual, considerando también que el costo de Sulfato ferroso por m³ es mucho menor que el del coagulante actual.

Cabe resaltar que durante el acompañamiento en la planta de tratamiento se observó que algunas veces el pH del agua residual entra a la planta con valores inferiores a 9, por lo que debe adicionarse Soda caustica para estabilizar el pH al iniciar el proceso, por lo que se tendría un costo adicional de 1250 \$/kg.

Frente al análisis realizado, se propone usar Sulfato ferroso con una dosis de 3000 ppm para el tratamiento, dado a que presenta buenos resultados de remoción de la turbiedad, la caída en el pH no afecta el rango de este en el vertimiento, su clarificado no se ve afectado al pasar los minutos y los costos adicionales de tratamiento son los menores frente al coagulante utilizado actualmente.

Capacitación del personal de planta de tratamiento de aguas residuales.

A partir de los resultados obtenidos mediante la implementación del test de Jarras, se realizó una capacitación al personal que opera en los tres turnos del día, especificando las dosis del coagulante seleccionado que se deben implementar para el tratamiento óptimo en el sistema DAF, además de orientarseles sobre el funcionamiento e importancia que tiene cada uno de los componentes del sistema.

Conclusiones

- Mediante el acompañamiento en la planta de tratamiento de agua residual no doméstica de la industria textil TINCOL S.A.S, se logró no solo determinar el coagulante apropiado para el tratamiento y demás parámetros que su aplicabilidad implica, sino también el planteamiento de posibles mejoras en el sistema, que buscan mejorar la calidad del vertimiento, interviniendo así favorablemente en el medio ambiente, el cual es una de las razones que motivan la práctica de la ingeniería sanitaria.
- Tras el análisis expuesto a partir de la tabulación y gráficas de los resultados obtenidos, se determina la existencia de variaciones en el comportamiento del pH y la turbiedad dependiendo de la dosis y el tipo de coagulante empleado en el ensayo de Jarras.
- Frente a lo analizado en los ensayos realizados, se concluye que la implementación del test de Jarras es muy importante en un estudio de tratabilidad de agua residual, dado a que este permite determinar los parámetros de diseño y las dosis óptimas de insumos, teniendo en cuenta que todas las aguas presentan características diferentes, por lo cual se requieren de diversos planteamientos para su operación.
- Se concluye que, si bien ambos coagulantes presentaron buenos porcentajes de remoción, el Sulfato ferroso es el óptimo para el sistema de tratamiento del agua residual de la empresa TINCOL S.A.S dado a que el clarificado producto de la coagulación no presenta una coloración al pasar el tiempo por lo que es posible realizar un tratamiento en línea de toda el agua proveniente de la planta de tintorería sin verse

afectada por el tipo de colorante utilizado en el proceso.

- Frente al análisis expuesto del sistema de tratamiento óptimo para un agua residual, se concluye que además de optar por el coagulante que presente buenos porcentajes de remoción, es necesario tener en cuenta las características del agua a tratar ya que como es el caso, pueden presentarse factores en su composición química que interfieren en el proceso.
- Frente a la evidencia recaudada del comportamiento del clarificado del agua residual con presencia del colorante Turquesa Remazol a partir de la implementación de los tres coagulantes estudiados, se determinó que el fenómeno de coloración se da debido a que a pH altos se favorecen los procesos de reducción, evitando así la coloración del agua, motivo por el cual el coagulante Sulfato Ferroso es el más adecuado para el tratamiento de esta agua residual no doméstica.

Recomendaciones

Se recomienda realizar mejoras en el sistema de tamizado empleado actualmente, dentro de las cuales está la realización de una limpieza periódica evitando la obstrucción y el mal funcionamiento de este, dado a que el tamizado es un tratamiento preliminar de suma importancia, este evita que las lanas y demás suciedades obstruyan las bombas, además de evitar que lleguen al tratamiento sólidos que no requieren de eliminación química. La celda de flotación donde se lleva el proceso de coagulación y floculación se está viendo afectada por el mal funcionamiento de las bombas, los altibajos en el caudal de entrada al DAF dificultan la correcta operación de esta; al aumentarse repentinamente el caudal, los químicos empleados en el proceso de coagulación no alcanzan a mezclarse correctamente. Por otro lado, al aumentar la velocidad del flujo dentro de la celda, la velocidad del barredor de lodos no es la suficiente para que este haga el barrido de todos los lodos que se encuentran en la superficie, por lo cual, una gran parte de estos se alcanzan a ir al clarificado, disminuyendo así la calidad del vertimiento.

Se recomienda implementar aireadores a partir de un sistema de flautas distribuidas perimetralmente en el fondo del tanque de homogenización, dado a que el que opera actualmente no realiza una mezcla homogénea del agua residual, por lo que las condiciones de operación cambian constantemente dado a que la carga orgánica varía dependiendo de los procesos que se estén llevando a cabo en la planta de tintorería.

Referencias bibliográficas

- Arias, P. E., Proal Nájera, J. B., Chaires Hernández, I., & Salas Ayala, H. I. (2018). *Los Colorantes Textiles Industriales Y Tratamientos Óptimos*. México.
- Burkinshaw, S. M. (2016). *Physico-chemical Aspects of Textile Coloration*. UK: Published in association with the Society of Dyers and Colorists.
- Calienes, L. R., & de Celis Gomez, L. R. (2019). *Tratamiento físico químico y su posible reuso del agua residual proveniente del lavado de fibras proteicas para cumplir con los VMA*.

Arequipa.

Colorantes reactivos. (S,f). En *Capítulo 4* (pág. 23).

Lavado, F. E. (2012). La industria textil y su control de calidad.

Lopez, F. C. (2019). *Proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales de una heladería: eficiencia de diferentes coagulantes de origen inorgánico*. Bogotá.

Martel, A. B. (s.f.). *Coagulación*.

NETJET. (16 de Septiembre de 2020). Obtenido de <https://www.netjet.es/que-es-un-daf-y-para-que-sirve/>

Ninhonkasetu. (20 de Noviembre de 2017). *Nihon Kasetsu*. Obtenido de <https://nihonkasetu.com/es/el-mecanismo-de-coagulacion-y-floculacion/>

Pérez, V. A. (2016). *ESTUDIO PARA LA DETERMINACION Y DOSIFICACION ÓPTIMA DE COAGULANTE*.

Ramirez, F. (3 de Julio de 2021). *Webmaster*. Obtenido de El agua potable: <http://www.elaguapotable.com/index.htm>

Sánchez, M. B., Gutiérrez, R., Pérez, R., Uribe, C., & Valle, P. (2018). *Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil*. Lima.

Sierra, S. H. (2008). *Estudio de biotratibilidad de las aguas residuales de tintorería por medio de un proceso avanzado de oxidación*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Suárez, A. T. (2016). *Síntesis y caracterización de la Ftalocianina de aluminio sulfonada mediante ácido clorosulfónico*. Bogotá.

