



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“Degradación fotocatalítica con TiO_2 del colorante Rojo Congo
utilizado en la industria textil”**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

HEREDIA CAMARGO SILVIA

ASESOR:

Dr. Julio González García

Agradecimientos

A mis padres.

Les agradezco por darme una vida llena de felicidad y amor, por la formación y educación que con mucho esfuerzo lograron, por darme una familia maravillosa. Gracias, mamá, por siempre estar para mí, por darme tu regazo para escucharme y siempre tener algo que decirme para no rendirme y levantarme. Gracias, papá, porque has sido un padre excepcional y consentidor. Gracias por enseñarme a valorar sus esfuerzos y por siempre tener las palabras correctas para no fracasar. Simplemente, gracias por todo el esfuerzo que realizaron para poder cumplir todos esos sueños y objetivos que tengo, con su cariño me han impulsado a salir a delante y no rendirme. Gracias por nunca abandonarme, este logro también es de ustedes, los amo.

A Edgar González, por brindarme su apoyo desde el inicio de la carrera, sus enseñanzas, por nunca dejarme caer, por darme ánimos de seguir y concluir, por tu amor incondicional.

A mi hijo Tadeo que es el amor de mi vida, que este logro se lo dedico a él para que en algún momento de su vida se sienta orgulloso de mí.

A mis hermanas.

A mi hermana Magali que sin su apoyo no podría llegar hasta donde estoy, sus enseñanzas que me brinda y por darme toda esa motivación que en algún momento necesite.

A mi hermana Tania por siempre darme sus consejos de no rendirme y seguir adelante, por su apoyo, amor y ánimos de nunca rendirme.

A mis abuelitos que siempre creyeron en mí y en darme ánimos de los frutos que llegaría a tener si no me rendía.

A mi tía Leticia por apoyarme y creer en mí.

A mi familia en general, gracias por siempre confiar en mí, por enseñarme a no rendirme.

A mis profesores quienes fueron los que forjaron mis conocimientos y quienes fueron los principales partícipes en este proceso, a mi asesor interno que sin su ayuda no lo hubiera hecho posible, a mi alma mater TESCo por permitirme haberme formado en ella y me vio crecer profesionalmente.

A mi Dios le doy gracias por permitirme vivir todos estos logros y bendecirme en todo momento.

Resumen

La principal causa de la contaminación en aguas residuales es el desecho de las descargas en industriales textiles, ya que sus depuraciones no cuentan con un tratamiento antes de llegar al desagüe. Esto tiene un gran impacto en el medio ambiente, en el que puede afectar la calidad del agua, la fauna o la flora de la región. El problema hace referencia a los tipos de colorantes que esta industria ocupa en su proceso de teñido, ya que la mayoría de estos colorantes pueden ser muy tóxicos.

Actualmente, se han desarrollado diversos tratamientos para la degradación del colorante y que no tenga tanto impacto en la contaminación del agua. Uno de estos tratamientos es la degradación por la cual, mediante luz UV, es posible que el colorante se degrade con ayuda de un catalizador que hace que la reacción sea más eficiente y se pueda eliminar el colorante.

A continuación, se muestra una de las técnicas para la degradación por medio del dióxido de titanio que nos ayuda a contrarrestar el colorante por medio de una reacción que el cual al contacto con la luz UV degrada el colorante y hace que desvanezca el color.

Al realizar un prototipo para concentrar la luz dentro de un lugar cerrado, la reacción hará lugar a que degrade el colorante y este no tenga una concentración mayor y se pueda depurar en las aguas residuales, y con ello no se tenga un impacto en el ambiente.

Índice

1 Introducción.....	7
2 Justificación.....	8
3 Planteamiento del Problema.....	10
4 Antecedentes.....	11
5 Objetivo General.....	13
6 Objetivos Particulares.....	13
6.1 Limitaciones.....	13
6.2 Alcances.....	14
7 Marco Teórico.....	14
7.1 Colorantes Azoicos.....	15
7.1.1 Colorantes.....	15
7.1.2 Colorantes azoicos.....	15
7.1.3 Clasificación de los colorantes azo.....	16
7.1.3.1 Colorantes Azoicos Básicos.....	17
7.1.3.2 Colorantes Azoicos Ácidos.....	17
7.1.4 Propiedades de los colorantes azoicos.....	17
7.1.5 Clasificación de los colorantes por sus grupos radicales.....	17
7.1.6 Preparación de colorantes azo.....	18
7.2 Colorantes en aguas residuales.....	19
7.2.1 Biodegradación de colorantes azo.....	19
7.3 Catalizadores.....	20
7.4 Dióxido de Titanio.....	20
7.4.1 Ventajas.....	21
7.4.2 Dióxido de Titanio como catalizador.....	21
7.5 Fotólisis.....	21
7.5.1 Fotocatálisis.....	21
7.5.2 Peróxido de Hidrogeno.....	22

7.5.2.1 Características.....	22
7.6 Industria Textil.....	22
7.6.1 Industria.....	22
7.6.2 Descarga de agua en la Industria Textil.....	25
8 Parte experimental.....	26
8.1 Construcción de un prototipo fotocatalítico.....	28
8.2 Procedimiento y Análisis.....	28
8.3 Procedimiento de Experimentación.....	36
8.4 Procedimiento del prototipo a 8 horas.....	38
8.5 Procedimiento del prototipo a 16 horas.....	38
9 Resultados.....	41
10 Conclusiones.....	42
11 Bibliografía.....	44
12 Anexos.....	46

1. Introducción

Uno de los mayores contaminantes en la industria es el textil por la gran cantidad de desecho de agua contaminada por colorantes y aditivos que contaminan, los cuales no le dan un tratamiento para su agua. La industria textil utiliza alrededor del 15 % del total del agua empleada para labores industriales en el mundo, la cual, después del paso por los diversos procesos, resulta altamente contaminada. (M. A. Muhammad, 2004 Textile Wastewater Characterization and Reduction of its Cod and Bod by Oxidation).

El siguiente proyecto tiene como objetivo la investigación y desarrollo de un proceso industrial, generalmente utilizado en procesos de la industria de ingeniería química y petroquímica; para el mejor aprovechamiento del agua de proceso, con el propósito de dar apoyo a las industrias que estén involucradas en procesos donde generan agua residual para descarga de la red pública.

De acuerdo con la Norma Mexicana declaratoria NMX-C-516-ONNCCE-2016 “Industria de la Construcción-Materiales Fotocatalíticos-Métodos de Ensayo para la Evaluación de la Actividad Superficial”, establece la metodología para presentar el método fotocatalítico de uso general. Para el método de actividad fotocatalítica se complementaron las siguientes actividades:

Se elaboró una caja reactor para evitar las desviaciones de luz UV al exterior y que se tenga la mayor concentración dentro de la caja para que el catalizador reaccione con mayor eficacia.

Se propuso el siguiente método en consideración de los principales contaminantes textiles, como lo son los colorantes azoicos, Rojo Congo (RC) y Benzopurpurin 4B (B4B), y dos compuestos utilizados en la producción de los mismos y encontrados como productos de su degradación, método que se basa en el Rojo Congo y Dióxido de titanio utilizado como catalizador en el proceso.

Se preparó la solución de agua con colorante Rojo Congo y catalizador Dióxido de Titanio, dentro de un vaso de precipitados, el cual está conectado al tubo de vidrio (para mayor absorbancia) con un proceso de recirculación.

A condiciones reales se logró obtener, visualmente, la degradación del colorante Rojo Congo a partir de la fotocatálisis, para tratar el agua contaminada. Nos ayuda la forma de tratamiento de agua que se utilizó, ya que no se sometió por un lapso muy alto dentro del reactor y se tienen los mismos resultados.

2. Justificación

El sector textil es muy importante a nivel mundial, debido a que tiene un gran impacto en el sector económico y comercial. En el mercado existe una gran demanda en telas, fibras, prendas. Por ello siempre tendrá un amplio campo de trabajo y de producción. Pero esto trae consecuencias, debido a que existe una gran demanda, la producción de prendas es enorme y el uso de agua en esta industria se ve afectado debido a los colorantes que estos desechan, teniendo un gran impacto en el medio ambiente.

Según Tunc et al. 2009; Dafale et al. 2008, reportaron que más de 700,000 t métricas se producen anualmente, de las cuales, 35,000 – 70,000 se descargan en las aguas residuales. Por lo tanto, es importante buscar procesos químicos que ayuden a disminuir la concentración de estos colorantes en las aguas residuales que son desecadas por la industria textil. (Dafale et, (2008), Descarga de aguas residuales.

Actualmente, de estos colorantes, sudan I y IV, rodamina B, naranja II, sudan rojo 7B, metanil amarillo, auramine, Rojo Congo, amarilla mantequilla, naftol amarillo, verde de malaquita y verde de leucomalaquita, entre otros. (Sepúlveda Cervantes, C. V. (2014), Descarga de agua residual.

Los colorantes contienen contaminantes de muy diversa naturaleza, entre ellos sales inorgánicas, almidón, peróxidos, EDTA, tensos activos, enzimas, surfactantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada composición, los cuales están diseñados para ser altamente resistentes incluso frente a la degradación microbiana, por lo cual son difíciles de eliminar en un tratamiento convencional. (Zaruma Arias, Proal Nájera, Chaires Hernández & Salas Ayala, 2018, tratamiento convencional).

La presente investigación se enfocará en estudiar la reducción de los colorantes en el agua residual de las industrias textiles. Ya que debido a los contaminantes que estos producen, permitirá que exista un cambio al momento de desechar el agua. La principal fuente emisora de colorantes es la industria textil (Anjaneyulu et al., 2005 y Días, et al., 2007, Desecho a agua).

Tabla 1. Anjaneyule et al 2005, Concentración de color y cantidad de agua generada por algunas industrias.)

INDUSTRIA	CANTIDAD DE AGUA GENERADA (M ³ /TON)	CONCENTRACION DE COLOR (UNIDADES HAZEN)
Azucarera	0.4 m ³ /Ton caña triturada	150-200
Cervecería	0.25 m ³ /Ton cerveza producida	200-300
Destilería	12 m ³ /Ton de alcohol producido	200-300
Curtido	28 m ³ /Ton de papel	400-500
INDUSTRIA	CANTIDAD DE AGUA GENERADA (M ³ /TON)	CONCENTRACION DE COLOR (UNIDADES HAZEN)
Pulpa y papel	175 m ³ /Ton de papel	100-600
TEXTIL	120 m ³ /Ton de fibra	1100-1300

Algunas causas de la toxicidad acuática son las sales como NaCl y Na₂SO₄ (provenientes del teñido), agentes surfactantes como fenoles, metales pesados que están presentes en los colorantes, compuestos orgánicos como solventes clorados (provenientes del lavado y la limpieza de máquinas), biosidas como el

pentaclorofenol ((Bae et al., 2005, provenientes de la lana contaminada y aniones tóxicos como el sulfuro, entre otros).

Tabla 2. Ademoroti et al, 1992, Efecto del efluente de una industria textil sobre la calidad del cuerpo receptor.

Parámetro	Agua residual proveniente de diferentes procesos de una fábrica textil	Calidad del cuerpo de agua	
		Antes de la descarga del efluente	Después de la descarga del efluente
Color	Azul	Claro	Azul cielo
pH	8.4-10.0	7.2	7.7
Sólidos Suspendidos (mg/L)	185.0-294.0	11.3	67.6
Sólidos Totales (mg/L)	1500-2470	23.4	298.3
Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /L)	...	8.3	1.3
DBO(mgO ₂ /L)	420.0-674.0	2.0	98.7
DQO(mgO ₂ /L)	843.5-1171	...	...

*Caudal de descarga: 258 L/min. ***No se menciona*

Dependiendo del tipo de colorante, se estima que del 2 al 50% de estos compuestos se desechan en las aguas residuales y se consideran como contaminantes persistentes que no pueden removerse con los métodos convencionales de tratamiento de aguas, debido a su origen y las estructuras complejas que presentan. (Kuhad et al., 2004, tipo de colorante).

3. Planteamiento del problema

La industria textil es uno de los más grandes contaminantes al medio ambiente, debido a las sustancias químicas utilizadas para impartir el color a las prendas de vestir (industria textil), en donde el proceso necesita una gran cantidad de agua para producir una prenda. En la industria textil, se ocupan diversos colorantes, que son utilizados como pigmentos, donde al final del proceso el agua con colorante sobrante es desechada a la red pública en forma de aguas negras.

Los colorantes azoicos representan más del 50% de la totalidad de colorantes utilizados en el mundo. Centeno Salcedo, 1997. Los colores azoicos.

Algunos contaminantes implican los desechos de agua con altas concentraciones de fenoles, tensoactivos, colorantes, algunos metales, sólidos en suspensión y algunas sustancias orgánicas.

Los efluentes de la industria dependerán de las sustancias químicas que se usen durante el tipo de proceso que lleven a cabo y estos a su vez tienen muchos contaminantes en los cuales, cuando son desechados, pueden provocar un gran impacto tanto ambiental como a la salud.

“Se estima que el lavado de sintéticos libera aproximadamente 0.5 millones de toneladas de microfibras en el océano cada año.” (, 2020, Residuos profesionales).

4.- Antecedentes

Más del 80% de las aguas residuales generadas en los países en desarrollo se descargan sin tratamiento a cuerpos de aguas superficiales. A nivel mundial, 2 millones de toneladas de aguas residuales, desechos industriales y agrícolas se vierten en las aguas del mundo. PNUMA y ONU-Hábitat (2010), OMS (2014)

A nivel mundial alrededor de 2.2 millones de personas mueren cada año de enfermedades diarreicas, en su mayoría niños menores de cinco años en los países en desarrollo. El 88% es atribuible a condiciones inseguras de abastecimiento de agua, saneamiento e higiene. PNUMA y ONU-Hábitat (2010), OMS (2014)

Después de la caída del imperio Romano, los acueductos se dejaron de utilizar. Desde el año 500 al 1500 d.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua. Esta escasa evolución, unida a un espectacular crecimiento de la población de las ciudades, acabó desembocando la aparición de

enfermedades, que en algunos casos fueron auténticas epidemias. (*Historia sobre el tratamiento de agua y sus orígenes*, 2021)

Así, durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución de plomo. Lo más frecuente era abocar los residuos y excrementos directamente a las mismas aguas que se utilizaban para el consumo humano, por lo que era frecuente que la gente que bebía estas aguas acabase enfermando y muriendo. Todo lo que se hacía para evitarlo era utilizar el agua existente fuera de las ciudades no afectada por la contaminación. Un dato que refleja el retroceso experimentado durante estos años es que esta agua se llevaba a la ciudad utilizando la fuerza humana, mediante los llamados portadores. (OROZCO, F. D. J. B. (2018). Automatización de planta de tratamiento de fluidos residuales.)

Pasada esta larga etapa de estancamiento, las ciudades empiezan a desarrollarse y recuperar su esplendor en los siglos XVI y XVII. En la segunda mitad del siglo XVIII tiene lugar la revolución industrial, en la que se experimentan el mayor conjunto de transformaciones socioeconómicas, tecnológicas y culturales de la Historia de la humanidad, desde el Neolítico. (OROZCO, F. D. J. B. (2018). Automatización de planta de tratamiento de fluidos residuales.)

El tratamiento de las aguas residuales es relativamente reciente. Su inicio data de fines de 1800 y principios del actual siglo y coincide con la época de la higiene. Esto se desarrolló como consecuencia de la relación entre contaminación de los cursos y cuerpos de agua y las enfermedades de origen hídrico.

En un principio, el tratamiento se hacía mediante el vertido de las aguas residuales al suelo+, pero prontamente la superficie de los terrenos no fue suficiente para absorber el cada vez mayor volumen de aguas residuales. En Inglaterra, después de la epidemia del cólera de mitad del siglo XIX, se inició la construcción de los sistemas de alcantarillado, pero el tratamiento de aguas residuales recibió pequeña atención. Debido a lo pequeño de sus ríos en longitud y caudal, la contaminación del agua, pronto se convirtió en un problema. Al principio, el tratamiento estuvo

dirigido a evitar problemas con la industria y agricultura más que a los problemas de salud. (Rojas, R. 2002, Epidemia de colera).

En 1806 empieza a funcionar en París la mayor planta de tratamiento de agua conocida hasta el momento. Allí, el agua sedimentaba durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consistían en arena, carbón y tenían una capacidad de seis horas. (Campoverde Lata, K. A. (2019), Planta de tratamiento).

En 1827, el inglés James Simplón construyó un filtro de arena para la purificación del agua potable. Hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública. (Díaz-Bautista, W. T. (2017), Filtro de arena).

5.- Objetivo General.

Degradar el colorante Rojo Congo proveniente de las aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatálisis.

6.- Objetivos particulares

Investigar las propiedades químicas de los colorantes azoicos y cómo dañan el medio ambiente y la salud del ser humano.

Proponer un sistema para la eliminación de un compuesto orgánico como el rojo Congo.

Emplear el procedimiento para la eliminación del colorante Rojo Congo mediante un proceso de fotocatálisis.

6.1 Alcances

- El proceso toma como referencia la presencia de colorantes utilizados en las industrias textil.

- El proceso empleado está bajo condiciones de operación ideales, temperatura, presión, etc.
- El reactivo Rojo Congo es uno de los más utilizados en la industria textil, reduciendo, con el proceso, el impacto ambiental y creando una industria sustentable.

6.2 Limitaciones.

- El proceso tomado como referencia es una solución con contenido de 250 ppm del colorante Rojo Congo.
- El proceso no cuenta con instrumentación y control para controlar presión, temperatura, sobrepresión, etc.
- El proceso es llevado por un reactor tubular continuo, sin embargo, la falta de equipo cuantitativo representa un reto.

7.- Marco Teórico

Las grandes ciudades con mala infraestructura de saneamiento pueden verse desbordadas por los desechos humanos. En Yakarta, con una población de 9 millones de personas, menos del 3% de los 1,3 millones de metros cúbicos (suficiente para llenar más de 500 piscinas olímpicas) de las aguas residuales generadas cada día llega a una planta de tratamiento, sólo hay capacidad para procesar el equivalente a 15 piscinas. Fuente: PNUMA y ONU-Hábitat (2010), Infraestructura de saneamiento.

Los habitantes de tugurios dependen a menudo de servicios públicos comunales sin alcantarillado o utilizan los espacios abiertos. La falta de agua, el mantenimiento insuficiente y el sistema "utilizador-pagador" que tiene lugar en muchos de ellos tienen como resultado que no se utilicen ampliamente. Un estudio realizado en los barrios marginales de Delhi encontró que una familia promedio de bajos ingresos de cinco miembros podía dedicar el 37 % de sus ingresos a pagar los servicios sanitarios comunales. PNUMA y ONU-Hábitat (2010), Infraestructura de saneamiento.

La desalinización y los impactos en el medio ambiente marino y costero. la desalinización del agua de mar es a menudo la única opción para el suministro de agua potable en las regiones áridas, costeras o aisladas, como las islas pequeñas. Esta tecnología, establecida desde 1950, producía en el año 2006 aproximadamente 24,5 millones de m³ de agua al día para agua potable, turismo, industria y agricultura (el 58 % de toda el agua desalada producida). Se espera que la producción aumente a 98 millones de m³ por día en 2015, lo cual no está exento de consecuencias: es caro, consume mucha energía y tiene implicaciones para el medio ambiente y las sociedades. Sin embargo, hay margen para mejorar la sostenibilidad del proceso de desalinización. PNUMA y ONU-Hábitat (2010), Infraestructura de saneamiento.

7.1.1 Colorantes

Los efluentes líquidos que son generados al final de los diversos procesos contienen contaminantes de muy diversa naturaleza, entre ellos sales inorgánicas, almidón, peróxidos, EDTA, tensoactivos, enzimas, surfactantes, colorantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada estructura. Héctor D, (2023), tensoactivos.

7.1.2 Colorantes azoicos

Los colorantes azoicos se producen por reacciones químicas a partir de los llamados intermediarios sintéticos, incoloros o poco coloreados, los cuales se absorben sobre la fibra; se fijan en ella a través de puentes salinos o de enlaces covalentes y una vez que esto ocurre, los intermediarios se diazotan generando sobre la fibra, la sustancia responsable del color (el colorante) de mayor peso molecular, que queda adherido. (Marcano, 2018), el colorante.

Su cromóforo principal es el grupo AZO (-N=N-) En función del cromóforo obtendremos un color u otro, así como diferencias en la intensidad de color (auxócromo).

Están caracterizados por la presencia de uno o más grupos azo:

Molécula de grupos azo.

Tabla 3. Clasificación Química de los Colorantes. (MARCANO, Introducción a la Química de los Colorantes, 2018)

Categoría	N°CI	Categoría	N°CI
nitroso	10000-10299	tiazol	49000-49339
nitro	10300-10999	indamina, indofenol	49400-49999
monoaza	11000-19999	azina	50000-50999
bisazo	20000-29999	oxazina	51000-51999
trisazo	30000-34	tiazina	52000-52999
Categoría	N°CI	Categoría	N°CI
poliazos	35000-36999	(*) de azufre	53000-53999
AZOICO	37000-39999	aminocetona	56000-56999
estilbeno	40000-40799	hidroxicetona	57000-57999
carotenoide	40800-40999	antraquinona	58000-72999
difenilmetano	41000-41999	indigoide	73000-73999
triarilmetano	42000-44999	ftalocianina	74000-74999
xanteno	45000-45999	naturales orgánicos	75000-75999
acridina	46000-46999	(*)bases de oxidación	76000-76999
quinolina	47000-47999	inorgánicos	77000-77999
metino y polimetino	48000-48999		

(*) Los cromóforos no están completamente caracterizados.

7.1.3 Clasificación de los colorantes azoicos

Los colorantes azoicos se pueden clasificar dependiendo del número de grupos azoicos presentes, se tienen mono-, bis-, tri-azo compuestos y poli condensados.

Debido a la acumulación de grupos azo predominan los colores verdes, azules y negros en contraste con el mono- y el bis-azo que exhiben amarillos, naranjas y rojos. (MARCANO, 2018)

7.1.3.1 Colorantes Azoicos Básicos.

Contienen como un grupo auxócromo $-NH_2$ o NR_2 . La crisodina (2-4 diaminoazobenceno) resulta por copulación de la anilina diazotada con m-fenilendiamina; el primer colorante mono azoico que se sintetizó y todavía se utiliza para teñir el algodón curtido y el papel.

7.1.3.2 Colorantes azoicos ácidos.

Se caracteriza principalmente por poseer grupos sulfónicos ($-H_2SO_3$), el naranja de B-naftil es un colorante monoazoico muy utilizado, puesto que tiñe lana directamente y el algodón mordentado con hidróxidos metálicos.

7.1.4 Propiedades de los colorantes azoicos.

Nitidez de color.

Existe una relación entre cromóforos y auxocromo.

Estabilidad a la luz.

Las fotos de luz visibles y el oxígeno pueden romper el enlace $-N-N-$ por un mecanismo de radicales y decolorar los tejidos teñidos. Para eso es necesario proteger el grupo cromóforo.

Fijación a la fibra y resistencia al lavado.

Dependen de la naturaleza de la fibra y de la estructura del colorante.

Son sólidos.

La mayoría son sales, siendo normalmente el componente coloreado el anión, aunque se conocen algunos colorantes azoicos catiónicos.

La mayoría de las proteínas son catiónicas.

Por lo que el teñido de cuero y lana corresponde a un intercambio iónico.

7.1.5 Clasificación de los colorantes por sus grupos radicales.

Utilizando aspectos de la mecánica cuántica relacionada con los grupos químicos, propone que los colorantes se dividan en cuatro grupos:

Cromógenos sencillos. Compuestos con uno o varios grupos, que permiten la sobreposición de átomos, provocando una variación de longitud de onda dentro de la región visible del espectro.

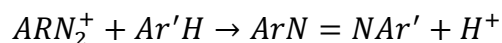
Cromógenos donador-aceptor. Son grupos que contienen un grupo donador de electrones; esto es, un átomo con un solo par de electrones desapareados.

Cromógenos a cíclicos o poliencíclicos. Son sistemas en los que no hay regiones con alta o baja densidad electrónica.

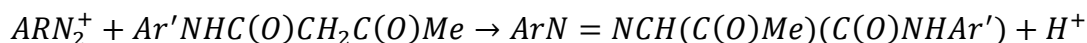
Cromógenos tipo cianinas. Son compuestos en los que se han reemplazado los átomos de carbono terminales por heteroátomos (N3 u O2) y la simetría electrónica no se afecta.

7.1.6. Preparación de colorantes azoico

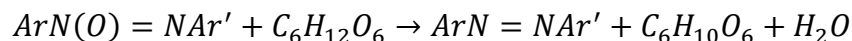
La mayoría de los tintes azoicos son preparados por acoplamiento azo, que conlleva una reacción de sustitución electrofílica de un catión aril diazonio con otro compuesto, el socio de acoplamiento. Son otros compuestos aromáticos con grupos donantes de electrones. (Klaus Hunger, 2005) (H.T. Clarke, 1941)



Las amidas acetoacéticas se utilizan ampliamente como socios de acoplamiento.



Los tintes azo también se preparan mediante la condensación de nitroaromáticos con anilinas seguido de la reducción de la resultante azoxi intermedio:



Para el teñido textil 4,4'-dinitrostilben-2,2'-disulfonato de disodio. Dado que las anilinas se preparan a partir de compuestos nitro, algunos colorantes azoicos se producen por reducción parcial de compuestos nitroaromáticos.

Muchos colorantes azo se producen por reacciones de compuestos azo preexistentes. Las reacciones típicas incluyen oscilación y complicación de metales

7.2 Colorantes en aguas residuales

Se conocen alrededor de 100 000 colorantes comerciales y más de 700 000 t métricas se producen anualmente, de las cuales, 35 000 - 70.000 se descargan en las aguas residuales. (Tunc et al. 2009; Dafale et al. 2008).

Existe una gran variedad para poder trabajar en la eliminación de colorantes en aguas residuales las cuales se puede dividir en tres métodos: químicos, biológicos y físicos.

7.2.1 Biodegradación de colorantes azoico.

Deben poseer un alto grado de estabilidad química y fotolítica. Como resultado de esta estabilidad, fotólisis no se considera una vía de degradación para los colorantes azoicos. Para prolongar la vida útil de los productos teñidos con colorantes azoicos, es esencial garantizar la estabilidad frente al ataque microbiano, las pruebas han demostrado que los colorantes azoicos se biodegradan de manera insignificante en pruebas a corto plazo en condiciones aeróbicas. Sin embargo, en condiciones anaeróbicas, se pueden observar una decoloración como consecuencia de la biodegradación.

Negro ácido 52.

Tabla 4. Características del colorante AB52. (Arenas, 2018)

Nombre comercial	Acid Black 52 (AB52)
Sinónimos	Negro Acido 52, Abcolblackwa y palatine fast black wan.
Clasificación	UVCBs- organometálico
Color Index	C.I.15711
Formula Química	$C_{20}H_{12}N_3NaO_7S$
Peso Molecular	1488.13
λ max	570 nm

Estructura molecular	
----------------------	--

7.1 Catalizadores.

Un catalizador es una sustancia que puede agregar a una reacción para aumentar la velocidad de reacción sin que se consuma en el proceso.

Generalmente, funcionan reduciendo la energía de transición, así disminuyendo la energía de activación y/o cambiando el mecanismo de la reacción.

Existe una gran variedad de catalizadores, los cuales la mayoría son accesibles, económicos y que pueden excitarse con radiación de no muy alta energía. Los catalizadores más usados son los óxidos, especialmente el Dióxido de Titanio TiO_2 debido a que presenta una alta estabilidad química. (Anas, 2016; Gnanam, 2014)

La velocidad de que la reacción ocurra depende de dos factores: La energía de activación

La temperatura

Estos dos factores están estrechamente relacionados al momento de aumentar la temperatura de la reacción, incrementa la energía cinética de las moléculas y esto hace que reaccione con mayor eficacia.

7.4 Dióxido de Titanio

El dióxido de titanio funge como catalizador debido a que es una sustancia no tóxica, insoluble, abundante y muy selectiva en el proceso de absorción. El TiO_2

se ha comprobado que tanto la estructura cristalina como la forma del cristal influyendo en la degradación fotocatalítica de los contaminantes.

Este fotocatalizador puede encontrarse en suspensión o soportado sobre una base fija transparente a la radiación.

7.4.1 Ventajas.

- Mayor eficiencia que los catalizadores inmovilizados.
- Protección en la oxidación.
- Formulación de pinturas, esmaltes y barnices.
- Protección UV
- Proporciona durabilidad y resistencia al agua a los productos.

7.4.2 Dióxido de Titanio como catalizador.

Funciona como un filtro UV de amplio espectro, lo cual quiere decir que tiene la capacidad para absorber y dispersarlos rayos tanto UVA como UVB, la forma en la que actúa es reflejando la luz del sol creando una capa reflectante en la que rebotan los rayos evitando el daño solar. (Titanium Dioxide (nano form), 2013)

7.5 Fotólisis.

Los métodos fotolíticos para la degradación de contaminantes disueltos en el agua se basan en proporcionar energía a los compuestos químicos en forma de radiación, que es absorbida por las distintas moléculas para alcanzar estados excitados en el tiempo necesario para experimentar reacciones. (Rodríguez, 2001)

7.5.1 Fotocatálisis.

Es una reacción fotoquímica que consiste en un proceso natural que gracias a la luz solar es capaz de eliminar CO₂ u otros contaminantes para generar materia orgánica. Por lo tanto, es una reacción que convierte la energía solar en energía química en la superficie de un catalizador.

La oxidación fotocatalítica consiste en la destrucción de los contaminantes mediante el empleo de radiación solar ultravioleta y catalizadores con el objetivo de formar radicales hidroxilo, los cuales posteriormente tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos. (Coz, 2003)

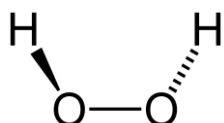
7.5.2 Peróxido de hidrógeno.

Sustancia realmente reactiva y se descompone liberando agua y oxígeno. La expresión se expresa en volúmenes, que indican el volumen de oxígeno (en condiciones ordinarias de presión y temperatura) que se desprende durante la descomposición. (Clickmica , s.f.)

7.5.2.1 Características.

Es inestable y se descompone lentamente en oxígeno y agua en liberación con calor.

- Se encuentra en bajas concentraciones de 3%-9%
- Poder oxidante.
- Líquido incoloro
- Sabor amargo



Formula química

7.6 Industria Textil.

7.6.1 Industria.

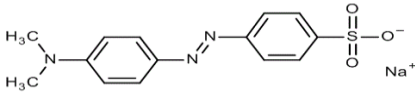
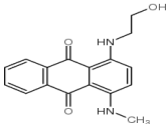
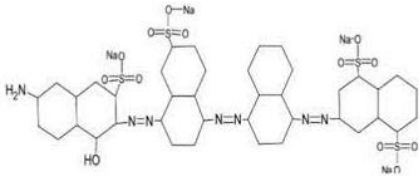
Tabla 5. Consumo de agua en la industria textil.

<https://estrucplan.com.ar/industria-textil-descripcion-del-ambito-de-actividad/>

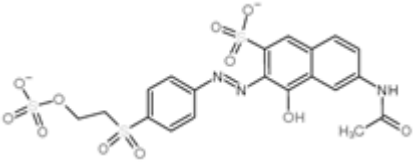
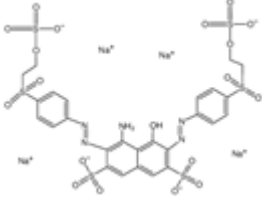
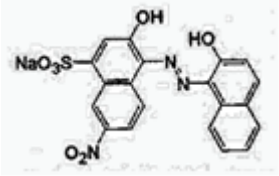
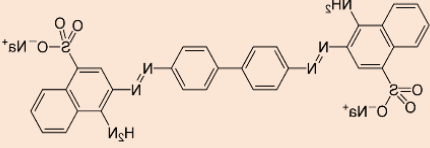
Tipos de fibra/acondicionamiento	Consumo medio de agua en 1 Kg de material.
a) Según tipo de fibra	

Algodón	50-120
Lana	75-250
Fibras sintéticas	10-100
b) Según el acondicionamiento	
Floca/hilado	100-200
Malla	80-120
Estampado	0-400

Tabla 6. Colorantes utilizados en la industria textil. (CARZON, Rossana. Op. Cit. P. 5).

Colorante	Estructura	No. Del color	C.I	Tipo de colorante
Naranja S		Naranja directo 26		Diazo
Azul disperso 3		Azul disperso 3	61505	Antraquinona
Azul supra		Azul directo 71		Diazo

Colorante	Estructura	No. Del color	C.I	Tipo de colorante
Azul ácido 113		Azul ácido 113	26360	Diazo
Índigo		Azul 2		Indigoide
Verde G		Verde ácido 27		Antroquinon a
Azul PR		Azul ácido 129		Antroquinon a
Amarillo MD		Amarillo 12		Azo
Azul MB		Azul 13		Azo
Verde de malaquita		Verde básico 4	42000	Trifenilmeta no

Colorante	Estructura	No. Del color	C.I	Tipo de colorante
Naranja brillante		Naranja reactivo 16		Azo
Negro B		Negro reactivo 5	20505	Diazo
Negro Ácido		Negro Ácido 52	15711	Azo
Rojo Congo		3,3'-Bis	22120	Azo

7.6.2 Descarga de agua en la Industria Textil.

Las descargas de aguas residuales proveniente de la industria de pigmentos inorgánicos deben cumplir con las siguientes especificaciones.

Tabla 7. Para la industria de pigmentos inorgánicos.

Parámetros	Límites máximos permisibles	
	Promedio Diario	Instantáneo
pH (unidades de pH)	6-9	6-9

Demanda química de oxígeno (mg/L)	100	150
Grasas y aceites (mg/L)	40	50
Sólidos sedimentables (ml/L)	1.0	2.0
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	200	250

Tabla 8. Para las industrias de pigmentos orgánicos y colorantes.

Parámetros	Límites máximos permisibles	
	Promedio Diario	Instantáneo
pH (unidades de pH)	6-9	6-9
Demanda química de oxígeno (mg/L)	300	360
Grasas y aceites (mg/L)	40	50
Sólidos sedimentables (ml/L)	1.0	2.0
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	200	250

8. Parte experimental

En este capítulo se mencionan los reactivos, materiales y metodología que se llevó a cabo para realizar la elaboración de materiales y proceso. Se hace una descripción de las técnicas que se ocuparon en el proceso de fotocatalisis.

Materiales	Reactivos	Equipo
Tubo de Vidrio		
Foto UV		
Manguera de Látex		

Aluminio	NA	N/A
Madera		
Soquet		
Cabes de Luz		
Foco luz natural		
Vaso de precipitados de 250 ml		
Bomba de Agua 8 W		
Palos de madera		
Silicon		

8.1 Construcción de un prototipo fotocatalítico.

Con tubo de vidrio se moldeó a flama directa con un soplete y pinza metálica, se colocó una conexión de corriente alterna en circuito en serie, y se colocó un socket y un apagador simple a corriente directa sobre una tabla de madera que se forró con papel aluminio de uso doméstico, y la tubería de vidrio se pasa por un vaso de precipitados de 250 ml en donde se conectó una bomba (potencia de 8 W) utilizada en fuentes comúnmente, para poder tener el flujo recircúlase, se colocaron mangueras para tubería en las terminaciones del tubo para direccionar el flujo, sobre el socket se colocó un foco de luz ultravioleta.



Heredia S. (2023), Reactor de catálisis.

8.2 Procedimiento y Análisis

Preparación de soluciones:

Solución madre de rojo Congo

Folio 001

Se pesó 0.050 g en un vidrio de reloj del colorante Rojo Congo en una balanza analítica verificada y certificada con grado de detección de 0.0001 g, una vez pesado se agregó a un matraz volumétrico de 200 ml valorado y certificado, se agregó 100 ml de agua destilada con una piseta, se puso el tapón del matraz y se agitó con ambas manos hasta visualizar que el polvo de Rojo Congo se disolvió, una vez disuelto se agregaron 100 ml de agua destilada hasta el aforo de 200 ml y se agitó manualmente hasta visualizar la solución homogénea.

<i>Materiales</i>	<i>Reactivos</i>	<i>Equipo</i>
Matraz volumétrico de 200 ml	Rojo Congo lote 2122-R2321	Balanza Analítica
Espátula		
Piseta con agua destilada		
Vidrio de reloj		

Disolución de Rojo Congo 10/200 ml FOLIO 002

Se tomó una muestra de 10 ml con una pipeta volumétrica de 10 ml de solución madre FOLIO 001 y se agregó a un matraz de 200 ml y se aforó con agua destilada.

<i>Materiales</i>	<i>Reactivos</i>	<i>Equipo</i>
Matraz volumétrico de 200 ml	Solución madre de Rojo Congo FOLIO 001	N/A
Pipeta volumétrica de 10 ml		
Perilla		

Disolución de Rojo Congo 10/200 ml FOLIO 003

Se tomó una muestra de 10 ml con una pipeta volumétrica de 10 ml de solución madre FOLIO 002 y se agregó a un matraz de 200 ml y se aforó con agua destilada.

<i>Materiales</i>	<i>Reactivos</i>	<i>Equipo</i>
Matraz volumétrico de 200 ml	Solución madre de Rojo Congo FOLIO 002	N/A
Pipeta volumétrica de 10 ml		
Perilla		

Disolución de Rojo Congo 10/200 ml FOLIO 004

Se tomo una muestra de 10 ml con una pipeta volumétrica de 10 ml de solución madre FOLIO 003 y se agregó a un matraz de 200 ml y se aforo con agua destilada.

<i>Materiales</i>	<i>Reactivos</i>	<i>Equipo</i>
Matraz volumétrico de 200 ml	Solución madre de Rojo Congo FOLIO 003	N/A
Pipeta volumétrica de 10 ml		
Perilla		

Disolución de Rojo Congo 10/200 ml FOLIO 005

Se tomó una muestra de 10 ml con una pipeta volumétrica de 10 ml de solución madre FOLIO 004 y se agregó a un matraz de 200 ml y se aforó con agua destilada.

<i>Materiales</i>	<i>Reactivos</i>	<i>Equipo</i>
Matraz volumétrico de 200 ml	Solución madre de Rojo Congo FOLIO 004	N/A
Pipeta volumétrica de 10 ml		
Perilla		

Disolución de Rojo Congo 10/200 ml FOLIO 006

Se tomó una muestra de 10 ml con una pipeta volumétrica de 10 ml de solución madre FOLIO 005 y se agregó a un matraz de 200 ml y se aforó con agua destilada.

<i>Materiales</i>	<i>Reactivos</i>	<i>Equipo</i>
Matraz volumétrico de 200 ml	Solución madre de Rojo Congo FOLIO 005	N/A
Pipeta volumétrica de 10 ml		
Perilla		

1.-De la solución madre de Rojo Congo tomará una alícuota de la disolución FOLIO 002, 10 ml con una micropipeta volumétrica y se agregará a un matraz volumétrico de 200 ml y se aforará con agua destilada.

2.-Se tomará una alícuota de la disolución FOLIO 003, 10 ml con una micropipeta volumétrica y se agregará a un matraz volumétrico de 200 ml y se aforará con agua destilada.

3.-Se tomará una alícuota de la disolución FOLIO 004, 10 ml con una micropipeta volumétrica y se agregará a un matraz volumétrico de 200 ml y se aforará con agua destilada.

4.-Se tomará una alícuota de la disolución FOLIO 005, 10 ml con una micropipeta volumétrica y se agregará a un matraz volumétrico de 200 ml y se aforará con agua destilada.

5.- Se tomará una alícuota de la disolución FOLIO 006, 10 ml con una micropipeta volumétrica y se agregará a un matraz volumétrico de 200 ml y se aforará con agua destilada.

6.-La muestra con FOLIO 002 en el matraz volumétrico de 200 ml se coloca sobre de una hoja blanca y se toma como referencia La norma ASTM D1729-96, en donde se toma como referencia el agua destilada como blanco o cero en concentración,

7.-La muestra con FOLIO 003 en el matraz volumétrico de 200 ml se coloca sobre de una hoja blanca y se toma como referencia La norma ASTM D1729-96, en donde se toma como referencia el agua destilada como blanco o cero en concentración

8.-La muestra con FOLIO 004 en el matraz volumétrico de 200 ml se coloca sobre de una hoja blanca y se toma como referencia La norma ASTM D1729-96, en donde se toma como referencia el agua destilada como blanco o cero en concentración

9.-La muestra con FOLIO 005 en el matraz volumétrico de 200 ml se coloca sobre de una hoja blanca y se toma como referencia La norma ASTM D1729-96, en donde se toma como referencia el agua destilada como blanco o cero en concentración,

10.-La muestra con FOLIO 006 en el matraz volumétrico de 200 ml se coloca sobre de una hoja blanca y se toma como referencia La norma ASTM D1729-96, en donde se toma como referencia el agua destilada como blanco o cero en concentración

Aspectos de la norma

Calidad de luz de día simulada

CIE D65: luz de día promedio en el cielo del Norte

La norma ASTM D1729-96 especifica D65. Antes de 1990, la luz especificada era CIE D75, la luz de mediodía en el cielo del Norte. En las industrias de las artes gráficas y fotografía, la luz especificada es CIE D50 por medio de la norma ISO 3664.

Distribución espectral: luz de día

La distribución espectral es la verdadera huella de la fuente de luz y es el factor clave del modo en que una fuente de luz muestra los colores. Los ensayos CRI y CIE 51 se utilizan para asegurar que la fuente de luz se aproxima lo suficiente a D65.



Se tiene la curva de calibración de acuerdo con la Imagen 2 el cual se muestra la curva a diferentes concentraciones. Heredia S. (2023), *Curva de calibración*

Dilución de dióxido de titanio en solución madre de Rojo Congo FOLIO 008

En una balanza analítica con grado de detección de 0.0001g se pesó 2 g de Dióxido de titanio (TiO_2), y se agregó a un matraz volumétrico de 100 ml, se aforó con la solución madre de Rojo Congo FOLIO 001, se agito manualmente hasta homogenizar la solución.

Materiales	Reactivos	Equipo
Matraz volumétrico de 100 ml	Dióxido de Titanio (TiO ₂)	Balanza Analítica
Vidrio de reloj	Solución Madre de Rojo Congo FOLI	
Espátula		
Bibliography Cervantes, C. V. (2014). PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE.		

	M. A. Muhammad, M. A. (2004). <i>Textile Wastewater Characterization and Reduction of its Cod and Bod by Oxidation</i>. Agric. Food Chem. (2013). <i>Titanium Dioxide (nano form)</i>. O 001	
--	---	--

8.3 Procedimiento de Experimentación

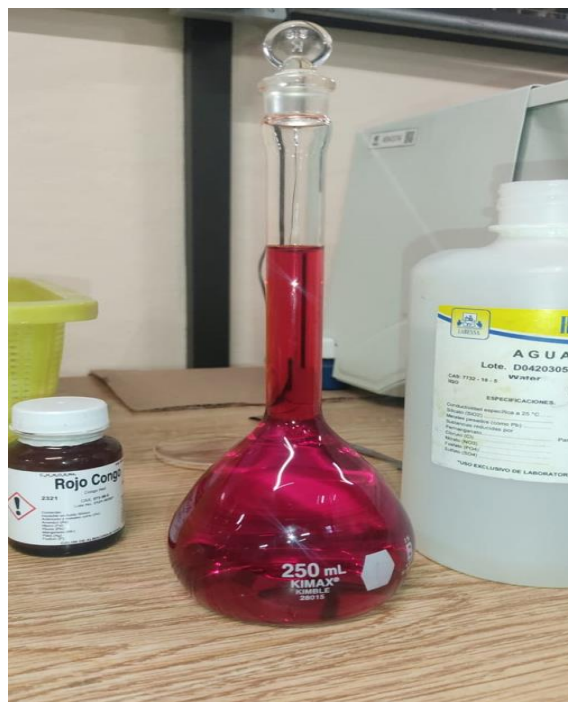


Imagen 3. Heredia. S. (2023), Preparación de la solución madre de Rojo Congo.

1.-Se preparó una solución madre de Rojo Congo con FOLIO 001 para poder tener una curva de calibración, en donde el blanco se toma como referencia, en donde es ocupada agua destilada.

2.-Para la primera concentración en volumen se tomaron 10 ml de la solución madre con FOLIO, 001 y se agregaron a un matraz volumétrico, de 200 ml se aforó con agua destilada y se nombra con el FOLIO 002

3.-Para la segunda concentración en volumen se tomaron 10 ml de la disolución con FOLIO 2 y se agregaron a un matraz volumétrico, de 200 ml se aforó con agua destilada y se nombra con el FOLIO 003

4.-Para la tercera concentración en volumen se tomaron 10 ml de la disolución con FOLIO 3 y se agregaron a un matraz volumétrico, de 200 ml se aforó con agua destilada y se nombra con el FOLIO 004

5.-Para la cuarta concentración en volumen se tomaron 10 ml de la disolución con FOLIO 4 y se agregaron a un matraz volumétrico, de 200 ml se aforó con agua destilada y se nombra con el FOLIO 005

6.-Para la quinta concentración en volumen se tomaron 10 ml de la disolución con FOLIO 5 y se agregaron a un matraz volumétrico, de 200 ml se aforó con agua destilada y se nombra con el FOLIO 006

7.-Una vez preparadas las Disoluciones se preparó la curva de antecedente sobre las preparaciones de soluciones, ya que se agrupan las disoluciones.

8.-Al final se prepara una solución de Dióxido de titanio con la solución madre de Rojo Congo con FOLIO 008, en donde se pesaron 2 g de Dióxido de titanio y se disolvieron en 200 ml de la solución madre de Rojo Congo, esta solución va a ser utilizada como solución de referencia para el diseño del sistema de degradación fotocatalítica.

8.4 Procedimiento del prototipo a 8 horas

Sobre el vaso de 250 ml se colocaron 200 ml de la Dilución de Dióxido de Titanio en la solución madre de Rojo Congo con ayuda de un matraz volumétrico previamente preparada la solución, una vez vertida la solución sobre el vaso de precipitados, se enciende el foco de luz ultravioleta y se encendió la bomba para tener en circulación la solución sobre todo el sistema de la de tubería, se dejó el fluido durante 8 horas, una vez transcurrido el tiempo se comparó visualmente con la curva de calibración del Rojo Congo.

8.5 Procedimiento del prototipo a 16 horas

Sobre el vaso de 250 ml se colocaron 200 ml de la Dilución de Dióxido de Titanio en la solución madre de Rojo Congo con ayuda de un matraz volumétrico previamente preparada la solución, una vez vertida la solución sobre el vaso de precipitados, se enciende el foco de luz ultravioleta y se encendió la bomba para tener en circulación la solución sobre todo el sistema la de tubería, se dejó el fluido durante 16 horas, una vez transcurrido el tiempo se comparó visualmente con la curva de calibración del Rojo Congo.



Imagen 4. Heredia S. (2023), Se tomaron alícuotas de la solución madre de Rojo Congo, a diferentes concentraciones, se descartaron estas disoluciones ya que no se aprecia la disolución ante el ojo humano.



Imagen 5. Heredia S. (2023). De la preparación de solución de la solución madre, se sacaron alícuotas de diferentes concentraciones, en donde se prepararon en matraces volumétricos.



Imagen 6. Heredia S. (2023). En la planta piloto se agregaron las diluciones de Rojo Congo a las diferentes concentraciones.

9. Resultados

Frente a la limitante del proceso se presentó visualmente la degradación del colorante Rojo Congo por la acción del proceso fotocátalisis al que se sometió la solución con el compuesto orgánico. Se tomo evidencia fotográfica a las 8 y 16 horas. Como se muestra en la Imagen 7, se visualiza la degradación del color de acuerdo con los tiempos establecidos.

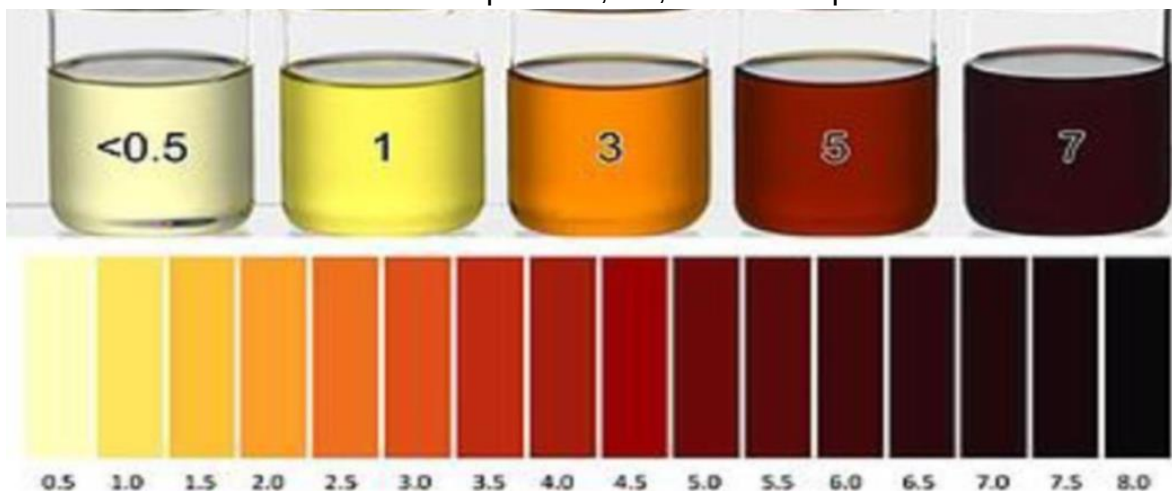


Imagen 7. Heredia S.(2023) Diferencia de degradación del colorante.

Interpretación de resultados.

Se toma como referencia la tabla ASTM D1500, encontrando el color antes de iniciar el proceso en la escala entre los valores 6.0 y 6.5, finalmente se encuentra el color después del proceso de fotocátalisis, se encuentra visualmente entre 1.5 a 2.0 en la escala de colores.

Se tiene un % de eficiencia del proceso, 76,92% en el proceso de fotocátalisis.



Escala de colores según método estándar ASTM D1500

Issuu, 2023, AST D1500 Color de lubricantes.,
https://issuu.com/liquesa/docs/bolet_n_tcnico_3_color_de_lubric

10. Conclusión

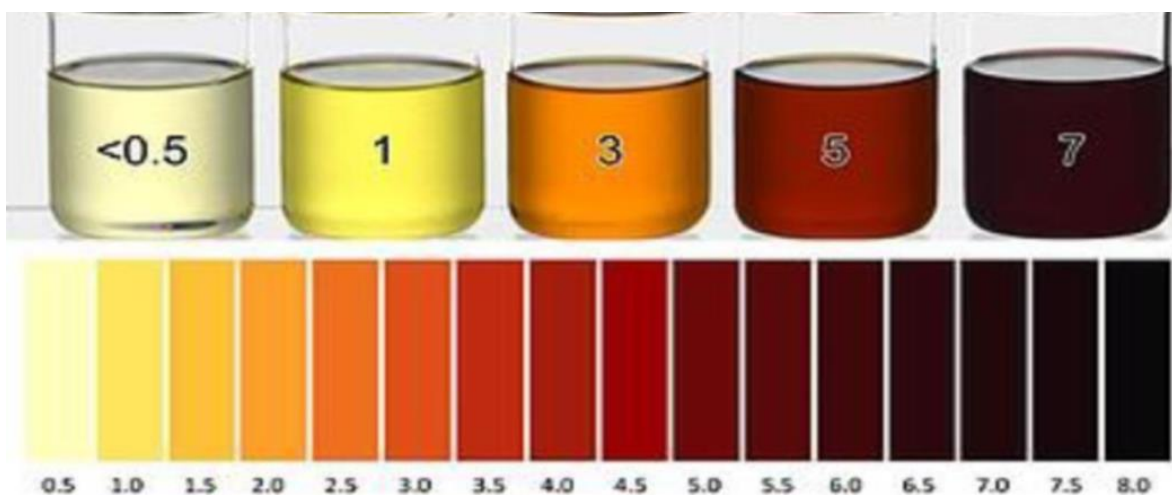
Con la investigación previa realizada se pudo determinar una metodología para poder reducir o eliminar la presencia del rojo Congo en los efluentes que podrían contener cantidades importantes del colorante, esta propuesta constó de una cámara de reacción con un reactor fotocátalisis continuo.

El sistema propuesto fue un sistema fotocátalisis, en el cual fue necesaria la presencia de un fotocatalizador como lo fue el TiO_2 . Adicionalmente, se tienen la ventaja de haber utilizado una fuente de irradiación que simula la luz natural del sol, el cual representaría una ventaja al no requerir energía artificial en caso de escalar este proceso.

Con la evaluación del proceso es evidente el cambio de coloración de la solución después de haber llevado a cabo el proceso fotocátalisis después de 16 horas. Debido a que no se contó con el equipo necesario para el análisis técnico, ya sea mediante un equipo de espectrofotometría UV-vis o un cromatógrafo, no se puede

determinar con precisión el porcentaje de degradación[RG1] [GEA2] . El método alterno fue utilizar la tabla ASTM para verificar la disminución del color.

El método de valoración cualitativa tomo como referencia el color del agua en su forma más pura, como lo es el agua destilada que es tomada en los diferentes procesos de verificación para el % de color para los diferentes metales que contiene el agua de los procesos textiles, tendiendo como referencia la tabla ASTM.



Escala de colores según método estándar ASTM D1500

Issuu, 2023, AST D1500 Color de lubricantes.,
https://issuu.com/liquesa/docs/bolet_n_tcnico_3_color_de_lubric

11. Bibliografía.

- 1.- Sepúlveda Cervantes, C. V. (2014). Producción de carbón activado a partir de la cáscara de frijol de soya para su aplicación como adsorbente en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con colorante verde de malaquita (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- 2.- OROZCO, F. D. J. B. (2018). Automatización de planta de tratamiento de fluidos residuales.
- 3.- Gnanam, S. y Rajendran, V. (2014). Novel morphologies, sizes, optical and antibacterial activity of organic acids assisted manganese sesquioxide ($\alpha\text{Mn}_2\text{O}_3$) nanostructures via precipitation route. *Journal of Alloys and Compounds*, 617, 975 – 978.
- 4.- Anas, M., Han, D. S., Mahmoud, K., Park, H. y Abdel-Wahab A. (2016). Photocatalytic degradation of organic dye using titanium dioxide modified with metal and non-metal dep.
- 5.- Klaus Hunger, Peter Mischke, Wolfgang Rieper (2005), et al.: "Azo Dyes" en Enciclopedia de química industrial de Ullmann, , Wiley-VCH, Weinheim.doi:10.1002 / 14356007.a03_245.
- 6.- H. T. Clarke; W. R. Kirner (1941). "Rojo de metilo". *Síntesis orgánicas.*; Volumen colectivo, 1, pag. 374
- 7.- Bafana, Amit; Devi, Sivanesan Saravana (2011); Chakrabarti, "Tintes azoicos: pasado, presente y futuro". *Revisiones ambientales*. 19 (NA): 350–371. doi:10.1139 / a11-018. ISSN 1181-8700.
- 8.- Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*, 1(1), 8-15.
- 9.- H. Mansilla, C. Lizama, A. Gutarra, J. Rodríguez (2015), «Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil», *Estrucplan Online*,.
- 10.- E. Pinto, (2015), « ¿Qué son las Ftalocianinas?», *Millennium Nucleus*,
- 11.- Deng H., Yang L., Tao G., Dai J. (2009) ,Preparation, and characterization of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted chemical activation - Application in methylene blue adsorption from aqueous solution. *J. Hazard. Mat.*; 166: 1514 – 1521
- 12.- Loannidou O., Zabaniotou A. (2007) Agricultural residues as precursors for activated carbon production - A review. *s.l.: Sust. Energy. Rev.*
- 13.- Kuhad R.C., Sood N., Tripathi K.K., Singh A. y Ward O.P., (2004). Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents. *Adv. Appl. Microbiol.*, **56**, 185-213.

- 14.- Anjaneyulu Y., Sreedhara-Chary N. y Suman-Raj S., (2005). Decolourization of industrial effluents – available methods and emerging technologies – a review. *Rev. Environ. Sci. Technol.*, **4**, 245–273.
- 15.- Bae S.J., Freeman S.H. y Kim D.S., (2006). Influences of new azo dyes to the aquatic ecosystem. *Fiber Polymer.*, **7**, 30-35
- 16.- BANSAL, R.C.; DONNET, J.B.; STOECKLI, F. (1988). *Activated Carbon*, Ed. Marcel Dekker (New York). 482p.
- 17.- DENG, H; LU, J.; LI, G.; ZHANG, G.; WANG, X. (2011). Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. *Chem. Eng. J.* 172(1):326-334.
- 18.- TUNC, Ö.; TANACI, H.; AKZU, Z. (2009). Potential use of cotton plant waste for the removal Black B reactive dye. *J. Haz. Mat.* 163(1):87-198.
- 19.-Issuu, 2023, AST D1500 Color de lubricantes., https://issuu.com/liqesa/docs/bolet_n_t_cnico_3_color_de_lubric

12.- Anexos

Glosario.

Crisodina: base amarilla hecho de anilina diazotizada y metafenilendiamina, el marrón rojizo de base de crisoidina utilizado principalmente para teñir cuero y papel como colorante biológico.

Monoazoico: que contiene un grupo azo en la molécula monoazo tintes y pigmentos.

Alícuota: que es proporcional.

Marco normativo

Norma Oficial Mexicana NOM-001-Se-marnat-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas o bienes nacionales. Publicada el 6 de enero de 1997.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-Se - marnat-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada el 3 de junio de 1998.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-Se - marnat-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos. Publica - da el 21 de septiembre de 1998.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-Se - marnat-2001, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final. Publicada el 15 de agosto de 2003

Norma Mexicana NMX-AA-17-1980 Aguas. Determinación de color. Establece el método de prueba espectrofotométrico para la determinación de color en aguas.

Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas en vigor:

- NMX-AA-3 “Aguas residuales.- Muestreo”.
- NMX-AA-14 “Cuerpos receptores.- Muestreo”.

Norma Oficial Mexicana NOM-066-ECOL-1994, Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores proveniente de las industrias de pigmentos y colorantes.

Norma Mexicana declaratoria NMX-C-516-ONNCCE-2016 “Industria de la Construcción-Materiales Fotocatalíticos-Métodos de Ensayo para la Evaluación de la Actividad Superficial”, establece la metodología para presentar el método fotocatalítica de uso general.