



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

ESCUELA DE ESTUDIOS SUPERIORES DE XALOSTOC

LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

**Tratamiento de Agua con Colorante de Origen Textil por Medio
de un Plasma Frío**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

Giovana Floesse Salazar Ramírez

DIRECTOR

Dr. César Torres Segundo

CODIRECTORA

Dra. Josefina Vergara Sánchez



Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios por la oportunidad de terminar mis estudios.

Agradezco a mis Padres y a mi familia por siempre apoyarme y darme ánimos para seguir adelante y cada día superarme.

Agradezco a mis hijas por ser pacientes conmigo.

Agradezco a mis maestros a lo largo de mi carrera por brindarme sus conocimientos y su apoyo.

Agradezco a los Doctores César Torres Segundo y la Dra. Josefina Vergara Sánchez por brindarme su apoyo y conocimientos a lo largo de mi carrera.

A la Universidad Autónoma del Estado de Morelos por permitirme formarme como ingeniero químico.

Resumen

El presente trabajo de tesis se realizó en la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc (EESX), en el Laboratorio de Análisis y Sustentabilidad Ambiental.

El principal objetivo fue aplicar un plasma frío, generado a presión atmosférica, a muestras líquidas con colorante Negro Acido 52 (NA52), el cual es de origen textil y está presente en aguas residuales de la región oriente del estado de Morelos.

De manera experimental, se obtuvieron los parámetros óptimos en la producción del Plasma para la máxima eficiencia de degradación del colorante a diferentes tiempos. Se monitoreo la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica y el espectro de Absorción de muestras a diferentes tiempos de tratamiento. Los valores de DQO y COT medidos a soluciones después del tratamiento indican que la remoción del contaminante es mayor al 90% después de 75 minutos de tratamiento.

Lista de abreviaturas

NA52	Negro Ácido 5 2
COT	Carbón Orgánico Total
DQO	Demanda Química de Oxígeno
FeSO₄	Sulfato Ferroso
pH	Unidad de medida que indica el grado de acidez o basicidad de una solución
m³	Metros cúbicos
Ton	Tonelada
mg	Miligramos
L	Litros
NaCl	Cloruro de Sodio
Na₂SO₄	Sulfato de Sodio
UV	Ultravioleta
PAO	Procesos Avanzados de Oxidación
OH	Radical Hidroxilo
OD	Oxígeno Disuelto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
E	Energía
NMX	Norma Mexicana
nm	Nanómetro

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	PAGINA
1.1	<i>Procesos en donde se utiliza una gran cantidad de agua en la industria textil</i>	10
2.1	<i>Molécula del Colorante Negro Acido 52</i>	22
2.2	<i>Interfaces del haz.</i>	23
2.3	<i>Excitación producida por impacto electrónico</i>	25
2.4	<i>Excitación producida por un campo de radiación</i>	25
3.1	<i>Reactor experimental</i>	27
4.1	<i>Curva de calibración del Colorante Negro Ácido 52</i>	41
4.2	<i>Disminución de la absorbancia en función del tiempo de tratamiento</i>	42
4.3	<i>Cambio de la temperatura y el volumen en función del tiempo</i>	43
4.4	<i>Cambio del pH y conductividad eléctrica en función del tiempo</i>	44
4.5	<i>Concentraciones finales de NA52 en función del porcentaje en la mezcla de FeSO₄.</i>	45
4.6	<i>Comportamiento del Carbono Orgánico Total (COT) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en función del tiempo de tratamiento.</i>	46
4.7	<i>Espectro Óptico de Emisión del plasma generado sobre la superficie de la muestra</i>	49

TABLAS	LISTA DE TABLAS DESCRIPCIÓN	PAGINA
1.1	<i>Concentraciones de color y cantidad de agua generada por industrias</i>	11
4.1	<i>Datos de degradación con FeSO₄ 1.0 mM.</i>	47

ESQUEMA	LISTA DE ESQUEMAS DESCRIPCIÓN	PAGINA
3.1	<i>Circuito Eléctrico</i>	32

Índice General

AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
LISTA DE ABREVIATURAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABLAS	8
Capítulo I Introducción	11
1.1 Justificación	12
1.2 Objetivo General	14
1.3 Objetivos específicos	14
1.4 Antecedentes	14
Capítulo II Marco teórico	16
2.1 Procesos Avanzados de Oxidación	16
2.2 Tratamiento por plasma	18
2.3 Contaminación Ambiental	19
2.4 Contaminantes orgánicos en el agua	21
2.5 Que es un Colorante	21
2.6 Tipos de colorantes (colorantes textiles).	21
2.7 Colorante Negro Ácido 52	23
2.8 Absorbancia	24
2.9 Espectro de absorción	26
2.10 Espectro Óptico de Emisión	27
2.11 Técnicas DQO y COT	28
Capítulo III Metodología experimental	29
3.1 Descripción del sistema (Material y equipo)	29

3.2 Circuito eléctrico	33
3.3 Preparación de solución del reactivo FeSO₄	33
3.4 Preparación de solución con NA52	34
3.5 Tratamiento de muestras con FeSO₄ y NA52	35
3.6 Determinación del DQO	36
3.7 Determinación de COT	38
Capítulo IV Resultados	40
4.1 Curva de calibración del colorante NA52	40
4.2 Degradación del colorante en función del tiempo de tratamiento	41
4.3 Cambio de la Temperatura y el Volumen	42
4.4 Comportamiento del pH y conductividad eléctrica	43
4.5 Efecto del cambio en la concentración del FeSO₄	44
4.6 Obtención de los valores de DQO y COT.	45
4.7 Espectro óptico de emisión del plasma	46
Capítulo V Conclusiones	49
5.1 Conclusiones	49
Referencias	50

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la problemática de cómo tratar a las aguas residuales, en particular, el agua que proviene de la industria, ha sido de gran importancia para el ámbito científico y gubernamental, ya que estas son las que contienen mayormente cantidades extremas de contaminantes, que afectan terriblemente al medio ambiente; Como consecuencia, el crecimiento del ecosistema en donde se desechan no se desarrolla como debería, ejemplo de estos lugares de descarga son lagos, lagunas, ríos, océanos entre otros.

Existen una gran variedad de procesos para el tratamiento de aguas residuales, el presente trabajo se enfoca en el análisis de la eficiencia de desintegración de contaminantes orgánicos presentes en el agua, mediante un plasma frío a presión atmosférica producido sobre la superficie de las muestras. El contaminante es de origen textil y se analiza a diferentes concentraciones.

La industria textil utiliza una gran cantidad de agua en todos sus procesos; por ejemplo, en el proceso de elaboración de productos y materias primas como algodón, lana, fibras sintéticas o mezclas de ellas. El impacto ambiental de sus efluentes líquidos es muy variado, por la gran variedad de materias primas, reactivos y de métodos de producción. En general, las corrientes de agua de descarga provienen principalmente del encolado/descolado (15 %), mercerización (20 %) y del blanqueo, teñido, lavado y acabado. (65 %). La cantidad de agua empleada en los procesos textiles varía en forma considerable dependiendo del proceso específico y del equipamiento de la planta. En promedio se han reportado entre 125 y 170 litros de agua por kilogramo de producto. Una fracción importante de los contaminantes liberados al ambiente en los efluentes de este giro industrial son los residuos de colorantes. Por lo regular los colorantes textiles tienen gran persistencia en el ambiente y los métodos de tratamiento clásicos no son útiles en su remoción debido a que oxidaciones o reducciones parciales pueden generar productos secundarios altamente tóxicos.[1]

1.1 Justificación

La industria Textil en México es de gran importancia en el sector comercial, sin embargo, en esta industria existe un excesivo consumo de agua en los procesos involucrados en la producción de textiles, como los que se muestran en la figura 1.

Aproximadamente se utiliza 120 m³ de agua por cada tonelada de fibra producida; después del proceso, el agua contiene altas concentraciones de color entre otros contaminantes. Una gran cantidad de agua sin tratamiento previo es vertida a efluentes acuíferos provocando efectos secundarios y alteraciones al ecosistema. [2]



Figura 1.1 Procesos en donde se utiliza una gran cantidad de agua en la industria textil

Más de diez mil diferentes tipos de pigmentos y colorantes sintéticos son usados en diferentes industrias como la textil, papelera, cosmética y farmacéutica, entre otras. Muchas actividades industriales liberan grandes cantidades de efluentes, contaminadas con colorantes, al ambiente (Tabla 1.1). La principal fuente emisora de colorantes es la industria textil.

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

Tabla 1.1.- Concentraciones de color y cantidad de agua generada por industrias.

Los efluentes de la industria textil se caracterizan por fluctuaciones extremas en parámetros, tales como: la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pH, color y salinidad. Algunos de los parámetros característicos de estos efluentes son los siguientes:[3]

- Color visible (1100-4500 unidades)
- Demanda química de oxígeno (800-1600 mg/L))
- pH alcalino (9-11)
- Sólidos totales (6000-7000 mg/L)

La composición del agua residual de una industria textil dependerá de las sustancias químicas que se usen durante el proceso. 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), biocidas como el pentaclorofenol (proveniente de fibra de lana contaminada) y aniones tóxicos como el sulfuro (presente en algunos colorantes), entre otros. En la Figura 1.1 se muestra parte del proceso que se lleva a cabo en la industria textil y los contaminantes que se generan. En el proceso de teñido se generan una gran cantidad de efluentes con colorantes ya que alrededor del 30% de estos compuestos se pierden debido a las ineficiencias del proceso de teñido y son descargados a los efluentes. El uso de una amplia variedad de colorantes químicos da origen, en periodos cortos de tiempo, a efluentes extremadamente variados en su composición, que requieren de un tratamiento de aguas muy complejo.[4]

Por esta razón, el estudio de métodos eficaces en el tratamiento de aguas residuales de origen textil es de gran importancia, los métodos convencionales resultan tener productos nocivos al ambiente, es por ello por lo que el proceso de degradaciones de contaminantes orgánicos por plasma frío es una alternativa favorable que no altera negativamente el agua a tratar.

1.2 Objetivo General

Degradar el colorante NA52 presente en agua, por medio del tratamiento por plasma frío a presión atmosférica.

1.3 Objetivos Específicos

- ▲ Realizar una curva de calibración del colorante NA52
- ▲ Monitorear las variables asociadas, para encontrar las condiciones ideales para el tratamiento: pH, conductividad eléctrica, temperatura, absorbancia, concentraciones, entre otras.
- ▲ Determinar las condiciones ideales de producción del plasma para el tratamiento del colorante: voltaje, corriente, entre otras.
- ▲ Obtener y analizar el espectro óptico de emisión del plasma generado sobre la superficie de la muestra.
- ▲ Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el Carbón Orgánico Total (COT), durante la degradación del colorante.

1.4 Antecedentes

La industria textil empezó a tener reconocimiento en México a partir de 1830. Para el año de 1837 se crearon 4 fábricas modernas de hilados en Puebla con 8 000 husos, y en 1844 existían ya 47 fábricas en todo el país con 113, 813 husos. Durante mucho tiempo se tejía mediante antiguas prácticas artesanales, lo cual explica la baja productividad que caracterizaba a la industria textil mexicana, además de que existían en 1842, 2932 husos parados por falta de algodón y 5 fábricas habían cerrado en Puebla. El algodón era comprado de Veracruz y Tepic, costaba respectivamente 15 y 22 pesos el quintal. En el centro de producción algodonera ubicado en Puebla, se pagaba de

38 a 48 pesos el quintal de algodón. Mientras que el costo del quintal de algodón importado de los Estados Unidos de América (EUA) era de solo 12 pesos. [5]

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Procesos avanzados de Oxidación

Estos métodos hacen uso de diferentes sistemas reactivos, como la catálisis y la fotoquímica, que se basan en el diseño y construcción de sistemas para el aprovechamiento de la radiación UV o luz visible, de reactores fotoquímicos y métodos de preparación de nuevos fotocatalizadores, operando usualmente a presión y temperatura ambiente.

Todos los procesos de oxidación avanzada (PAO) se caracterizan químicamente por tener la capacidad de producir una gran cantidad de radicales OH mediante procesos de oxidación, que son adecuados para la reducción completa y mineralización de los contaminantes. El aparato experimental y procedimientos de trabajo que se puede adoptar para la realización de tratamientos de aguas residuales mediante la aplicación del Plasma son estudiados. Algunas observaciones sobre la economía de tratamiento se proporcionan sobre la base de los principales parámetros que afectan a los costos de PAO. [6]

Procesos:

1. Coagulación-floculación: se basa en la adición de polielectrolitos o floculantes inorgánicos (sales de hierro o aluminio), que forman flóculos con las moléculas de colorante facilitando su eliminación por decantación. Las eficacias de eliminación son altas, pero en el proceso se generan lodos que deben ser tratados. Los mejores rendimientos se logran al aplicar un exceso de coagulante, aunque esto puede aumentar la concentración de contaminante en el efluente.
2. Proceso Fenton: se oxida el colorante con una combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso (reactivo Fenton), en condiciones ácidas. El agente responsable de la oxidación es el radical hidroxilo, el cual es muy reactivo; se forma por la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno en un medio ácido. Los radicales hidroxilos oxidan el tinte, y el compuesto formado, precipita con el ion férrico y compuestos orgánicos. Las ventajas de esta

alternativa son varias: se consiguen altas velocidades de decoloración si las concentraciones de los reactivos implicados son elevadas, no se forman compuestos clorados como en otras técnicas oxidantes y no existen limitaciones de transferencia de masa por tratarse de un sistema homogéneo. Sin embargo, sus principales desventajas son los costes asociados al tratamiento de lodos (se genera una gran cantidad de lodos poco densos y, por consiguiente, difíciles de decantar) y a los costes de los reactivos (se requiere la adición continua y estequiometría de Fe (II) y H₂O₂).

3. Ozonización: se destruyen las moléculas de colorante en base a la elevada capacidad oxidante del ozono. La reacción de oxidación es rápida, se pueden tratar altos caudales, no se generan residuos ni lodos y se obtiene un efluente incoloro y con baja DQO. Sin embargo, debe comprobarse la toxicidad del efluente, pues en algunos casos los compuestos generados tienen mayor carácter tóxico que los colorantes de partida. Otra gran desventaja de la ozonización es el corto tiempo de vida media del ozono, en torno a 20 minutos, lo cual repercute significativamente en el coste del proceso. Se ha observado que cuando se complementa la producción de ozono con la adición de peróxido de hidrógeno, se consigue un incremento significativo tanto en la velocidad como en el rendimiento de eliminación.
4. Tecnología de membranas: permite una separación efectiva de las moléculas de colorante y otros compuestos de tamaño mayor al del poro de la membrana seleccionada. Principalmente se emplean membranas de ósmosis inversa y nanofiltración. Mediante este procedimiento es posible tratar grandes volúmenes de afluente de forma continua y con un alto grado de separación. Los efluentes son de una calidad excelente y en la mayoría de los casos permiten la reutilización de este. Las principales desventajas de estas técnicas son la generación de un residuo con una alta concentración de contaminante y la dificultad y coste de sustitución de las membranas.
5. Adsorción: se basa en la retención física de las moléculas de colorante en la superficie del adsorbente que se utilice. La eficacia del proceso de adsorción está influenciada por una gran variedad de parámetros, entre ellos la interacción entre el colorante y el adsorbente, la superficie específica de éste, el tamaño de la molécula de colorante, la temperatura, el pH y el tiempo de contacto. Así pues, es fundamental el tipo de adsorbente elegido. Un adsorbente muy utilizado es el carbón activo, aunque también se emplean otros adsorbentes inorgánicos. Los procesos de adsorción generan efluentes de alta calidad, aunque presentan una serie de

desventajas que los hace no competitivos para el tratamiento de efluentes coloreados: son procesos lentos; no selectivos, de manera que hay una competición entre las moléculas de tinte y otros compuestos presentes en el efluente; no destructivos, generándose un residuo que debe ser eliminado; la desorción es un proceso difícil y costoso y, por último, los adsorbentes suelen ser caros.

6. Técnicas electroquímicas: se basan en la hidrólisis del colorante a través de agentes secundarios generados electrolíticamente mediante la aplicación de un potencial. Los procesos son limpios, operan a baja temperatura y en muchos casos no requieren la adición de productos químicos a las aguas residuales. No obstante, su alto consumo de energía y la generación de compuestos secundarios por reacciones paralelas disminuyen la potencialidad del método.
7. Procesos biotecnológicos: la aplicación de microorganismos a la degradación de aguas que contienen tintes sintéticos es una opción interesante por las ventajas derivadas del tratamiento biológico, ya que son procesos relativamente económicos y pueden permitir la degradación parcial o total de los componentes iniciales. Aunque mediante el proceso convencional de lodos activos, aerobio, no se degrada el colorante y el bajo rendimiento de eliminación se atribuye a la adsorción sobre los lodos. Mediante procesos anaerobios se consiguen elevados rendimientos de eliminación para una gran variedad de colorantes, aunque la cinética del proceso es lenta. Por otro lado, se están desarrollando sistemas en los que el colorante es degradado mediante la acción de enzimas producidas por hongos ligninolíticos en cultivos in vivo e in vitro. Son procesos muy selectivos en los que se alcanzan rendimientos muy elevados. Sin embargo, no son procesos económicos y se están desarrollando para su aplicación en continuo, recuperando las enzimas utilizadas [7].

2.2 Tratamiento por plasma

El plasma es considerado como el cuarto estado de la materia y consiste en una mezcla de partículas ionizadas y neutras. La mayor parte de la materia del universo está formada por plasma. El plasma como fenómeno puede ser encontrado en cada escala de nuestra experiencia. Las nebulosas y las estrellas son en su mayoría formadas por plasma. En una escala más pequeña, en la Tierra, los plasmas atmosféricos pueden ser encontrados en forma de auroras boreales o relámpagos (figura 2.21). Los plasmas son creados e implementados incluso en menor escala en laboratorios o usados cada día como pantallas de televisores de plasma, disyuntores eléctricos y lámparas de descarga de

gas. Los plasmas se producen ya sea por elevación de la temperatura de una sustancia, hasta que se obtiene alto grado de ionización o por procesos de colisión, que aumentan el grado de ionización muy por encima de su valor de equilibrio térmico.



Figura 2.2.1 Las auroras boreales son una especie de plasma [Noticias22 Digital].

2.3 Contaminación Ambiental

La contaminación ambiental siempre ha existido pues, en parte es inherente a las actividades de ser humano. Sin embargo, en años recientes se le ha debido presentar cada vez mayor atención, ya que han aumentado la frecuencia y gravedad de los incidentes de contaminación en todo el mundo cada día hay más pruebas de sus efectos adversos sobre el ambiente y la salud.

La contaminación ambiental es la descarga de material, en cualquier estado físico, que es peligroso para el medio ambiente o la salud humana. La mayoría de los países industrializados y en desarrollo, y muchas organizaciones intergubernamentales, han desarrollado valores máximos de exposición a los contaminantes. Muchos regulan las emisiones atmosféricas para mantener sus niveles compatibles con el equilibrio ambiental y la salud humana.

Un contaminante es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio (irreversible o no) en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo. Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio ambiente, y generalmente, se genera como consecuencia de la actividad humana. Para que exista contaminación, la sustancia contaminante deberá estar en cantidad relativa suficiente como para provocar ese desequilibrio. Esta cantidad relativa puede expresarse como la masa de la sustancia introducida en relación con la masa o el volumen del medio receptor de la misma. Este cociente recibe el nombre de concentración. Los agentes contaminantes tienen relación con el crecimiento de la población y el consumo (combustibles fósiles, la generación de basura, desechos industriales, entre otros), ya que, al aumentar éstos, la contaminación que ocasionan es mayor. Por su consistencia, los contaminantes se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos. Se descartan los generados por procesos naturales, ya que, por definición, no contaminan. Los agentes sólidos están constituidos por la basura en sus diversas presentaciones. Provocan contaminación del suelo, del aire y del agua.

Clasificación de contaminantes:

Contaminante no degradable: Existen materiales y sustancias que no son nada degradables en medio habiente por ejemplo mercurio o plomo, su degradación de ellos es muy costosa.

Contaminantes degradables: Este contaminante puede degradarse ya sea con el tiempo o con procesos de degradación por ejemplo el plástico.[8]

Principales contaminantes de las aguas:

- Compuestos orgánicos biodegradables
- Sustancias peligrosas
- Contaminación térmica
- Agentes tensioactivos
- Partículas sólidas en suspensión
- Nutrientes en exceso: eutrofización
- Gérmenes patógenos
- Sustancias radioactivas

2.4 Contaminantes orgánicos en el agua

Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, entre otros. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en esta agua los peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de OD (oxígeno disuelto) en agua, o la DBO (Demanda Bioquímica de oxígeno).

2.5 ¿Qué es un colorante?

Los colorantes son sustancias orgánicas fluorescente o de color intenso que imparten una sustancia incolora, o bien a un sustrato por medio de una absorbanza selectiva de luz [4]. La composición de sus moléculas es por tres grupos funcionales, el cromóforo, que es el grupo responsable de la absorción de la luz, dándole la prioridad de color a la molécula; los auxocromos, que le dan afinidad por la fibra e intensifican el color; y por último el solubilizar, que le da afinidad a solventes diversos y esta dado por la presencia de iones como $-\text{SO}_3^- \text{Na}$, $-\text{NH}_3^+ \text{Cl}^-$, $-\text{SO}_2^- \text{NH}_2$, $-\text{ONa}$.

2.6 Tipos de colorantes sintéticos (colorantes textiles)

Colorantes Ácidos

Son colorantes aniónicos, solubles en aguas, que contienen en sus moléculas grupos ácidos (sulfónico, carboxílicos o nitro), pueden teñir fibras que contengan, grupos básicos (lana, seda, poliamida) por formación de sales coloreadas.

Colorantes al Mordiente

Son colorantes aniónicos, solubles en agua que tiñen las fibras con grupos de origen animal o sintético. Como mordientes emplean normalmente sales de cromo que forman complejos entre el colorante y la fibra.

Colorantes directo

Son colorantes que tiñen la celulosa sin necesidad de mordiente, normalmente aplicados en un baño acuoso con su electrolito añadido. También se les llama colorantes sustantivos por que poseen la propiedad de teñir fibra (celulosa) y no ser eliminados en un lavado posterior.

Colorante tina

Son sales insolubles en medio acuoso que por reducción se transformaran en sales solubles (tina), con la cual impregna la fibra y que al exponerla al aire o a un agente oxidantes se oxida (sobre la fibra) y toma su forma inicial soluble.

Colorante tina soluble

Son colorantes tinas que fueron hechos hidrosolubles por tratamientos químicos. Una vez aplicado al sustrato (principalmente celulosa) se transforma la colorante tina insoluble por saponificación y oxidación. Se les conoce también como colorantes indigosoles.

Colorantes Azoicos

Son colorantes que se desarrollan dentro del sustrato (principalmente celulosa) a teñir, partiendo de un colorante azoico y Na sal diazonio.

La mayoría de los colorantes comerciales corrientes pertenecen al grupo de los azoicos. Se caracterizan por el grupo azo, $-N=N-$, que por sí solo no absorbe ninguna luz visible

Colorante Básico

Son colorantes en los cuales el cromóforo está ubicado en el catión razón por el cual se les conoce como colorantes catiónicos. Con solubles en agua y muestran afinidad por las fibras acrílicas.

Colorantes básicos modificados

Son colorantes catiónicos solubles en agua, que contienen en sus moléculas grupos básicos como el amino. Mostrando por ellos afinidad con las fibras que poseen grupos como el amino, mostrando por ello afinidad con las fibras que poseen grupos ácidos como lana, sedas, piliacrilonitilo, entre otros.

Colorante reactivo

Son colorantes sintéticos solubles en agua que forman enlaces químicos con celulosa y lana reaccionando con la fibra por sustitución o adición nucleofílica.

Colorantes sulfurosos

Grupos de colorantes insolubles en agua, que, normalmente son aplicados en forma reducida, soluble, en disolución de sulfuro de sodio que posteriormente, reoxidados, en la forma insoluble sobre las fibras celulósicas. La diferencia entre otros colorantes que contienen azufre y los verdaderos colorantes sulfurosos es que en estos últimos los átomos de azufre forman una cadena.

Colorantes Naftoles

Son colorantes formados por mezclas de dos sustancias una llamada naftol y la otra sal. Son solubles en agua, para desarrollarlos sobre las fibras celulósicas se hace soluble en la adición de un álcali fuerte.

Colorante disperso

Son compuestos orgánicos no-iónicos, casi insolubles en agua que se aplican en dispersión acuosa sobre fibras de poliéster de aquí el nombre de dispersos.

Colorantes fugaces

Son colorantes que no tienen ninguna afinidad y son altamente solubles en agua. Son utilizados para identificar lotes de fibras cuando se trabajan con mezclas.

2.7 Colorante Negro Ácido 52

Categoría: Colorantes y pigmentos / colorantes ácidos

Formula Molecular: $C_{20}H_{13}N_3O_9S$

Pesos Molecular: 461.38 g/mol

Propiedades y aplicaciones: Polvos, soluble en etanol, ligeramente soluble en acetona, se utiliza para la lana, poliamida, seda teñido e impresión, también usado en cuero y aluminio electroquímico sombreado teñido figura 2.1.

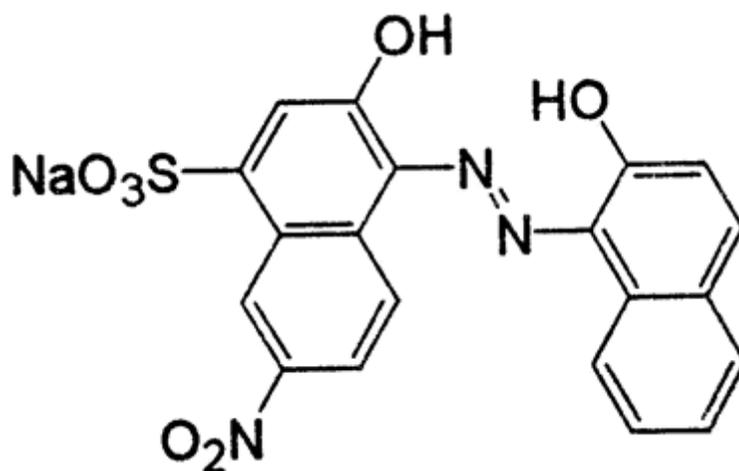


Figura 2.1 Molécula del Colorante Negro Acido 52

2.8 Absorbancia.

Las absorbancias se miden en un instrumento llamado espectrofotómetro, la solución del analito se debe contener en algún recipiente transparente, tubo o celda. Pérdidas por dispersión en la solución

Como se observa en la figura 2.2, ocurre reflexión en las interfaces: aire-pared, tanto como en la pared-solución. La atenuación del haz resultante es sustancial. Además, la atenuación de un haz puede ocurrir por dispersión de las moléculas grandes y a veces por absorción de las paredes del recipiente. Para compensar estos efectos, la potencia del haz transmitido por la solución del analito es comparada comúnmente con la potencia del haz transmitido por una celda idéntica que contiene solamente solvente. Los espectrofotómetros, están a menudo, equipados con un dispositivo que tiene una escala lineal que se extiende de 0 a 100%.

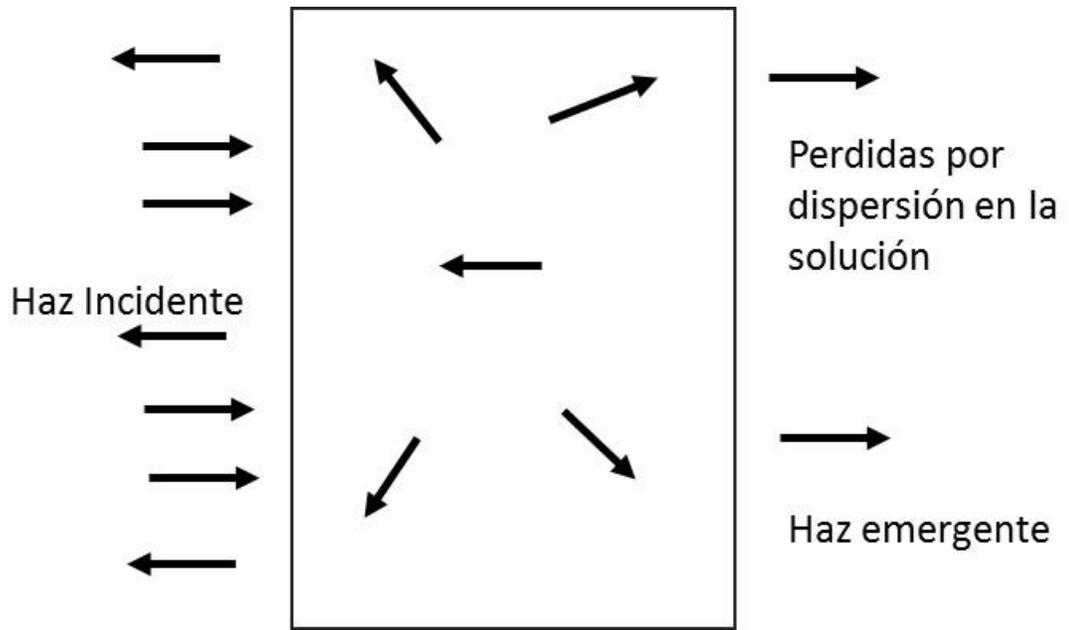


Figura 2.2 Interfaces del haz.

2.9 Espectro de Absorción

Dentro de los métodos espectrométricos o espectrofotométricos de análisis para identificar y cuantificar elementos presentes en distintos medios, entre ellas aguas destinadas a bebida humana, se encuentra la espectrofotometría ultravioleta – visible (UV-Vis). A continuación, haremos una breve introducción sobre los conceptos generales de espectroscopia. La espectroscopia describe la interacción entre la radiación, principalmente la electromagnética, y la materia. Toda radiación electromagnética viene caracterizada por una longitud de onda (λ), una frecuencia (ν) o una energía (E); la relación existente entre ellas está dada por la ecuación de Planck:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \dots \dots (1)$$

Donde:

E =energía transportada por cuanto de radiación o fotón

h =constante de Planck (6.6256×10^{-34} J s foton^{-1})

c =velocidad de la luz (2.9979×10^8 m s^{-1})

λ =longitud de onda [m]

ν =frecuencia de radiación [s^{-1}]

La espectroscopia UV-Vis utiliza la radiación del espectro electromagnético, cuya longitud de onda está comprendida entre los 100 y los 800 nm (energía comprendida entre las 286 y 36 kcal mol^{-1}) y su efecto sobre la materia es producir transiciones electrónicas entre los orbitales atómicos y/o moleculares de la sustancia. En algunos casos, los efectos y la detección pueden llegar al IR cercano (800-900 nm). En la espectroscopia UV-Vis, una especie química (en general una molécula, aunque puede tratarse de una especie monoatómica, un ion o un complejo) absorbe UV-Vis, y la energía adquirida por el sistema causa la transición de un electrón de un estado basal o fundamental (EF) a uno excitado (EE). La energía de la transición está relacionada con la longitud de onda de la radiación a través de la ecuación de Planck.

2.10 Espectro Óptico de Emisión

En general, la espectroscopia por plasma se divide en dos tipos de mediciones:

1. El método pasivo de espectroscopia de emisión
2. El método activo de espectroscopia de absorción.

En el caso de espectroscopia de emisión, la luz emitida del plasma es recolectada. Aquí, uno de los procesos fundamentales es la excitación de partículas (átomos, moléculas, iones) por el impacto electrónico, del nivel q al nivel p y el decaimiento al nivel k por emisión espontánea con una probabilidad de transición A_{pk} dando una línea de emisión E_{pk} , Figura 2.3.

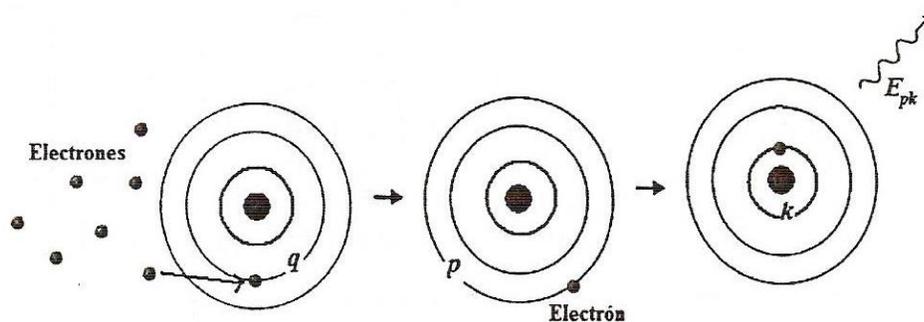


Figura 2.3 Excitación producida por impacto electrónico.

En el caso de espectroscopia de absorción, la excitación del nivel q al nivel p es producido por un campo de radiación (por absorción con la probabilidad de transición B_{qp}) dando lugar a un debilitamiento del campo de radiación aplicado el cual es recolectado después de traspasar las partículas como se ve en la Figura 2.4.

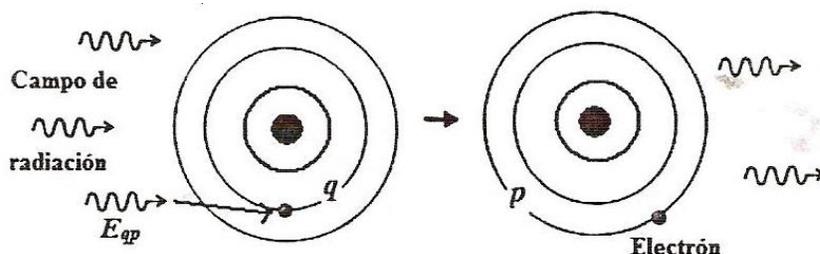


Figura 2.4 Excitación producida por un campo de radiación.

La intensidad de la emisión está relacionada con la densidad de partículas en el estado excitado $n(p)$, mientras las señales de absorción están relacionadas con la densidad de las partículas

en el estado bajo n (q), el cual es en la mayoría de los casos el estado base. Así, la densidad de partículas en el estado base es directamente accesible por espectroscopia de absorción; sin embargo, las técnicas de absorción requieren de un mayor esfuerzo o son más complicadas de descifrar que los procesos que ocurren en la espectroscopia de emisión.

Una forma en la cual se puede distinguir entre una línea y una banda de emisión en un espectro es de manera similar a la que se muestra en la Fig.2.4 en donde se observa que una línea corresponde a un solo y único elemento en un estado de energía y una banda es un conjunto de líneas muy juntas que corresponden a un solo elemento, pero cada línea a diferente estado energético.

2.11 Técnicas DQO y COT

Según la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001 se define como demanda química de oxígeno (DQO), la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.

La demanda química de oxígeno, DQO, corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a CO_2 y H_2O . En la práctica, la materia orgánica en agua es oxidada por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ bajo condiciones estrictas (en medio de ácido sulfúrico concentrado, y a una temperatura de 160°C). La cantidad de oxígeno del dicromato usado es determinada y expresada como DQO. En aquellos casos que la fórmula de los compuestos es conocida, la DQO puede ser derivada de la estequiometría. Se tiene que 1 g eq. de carbohidrato ó 1 g eq. de proteína corresponde 1 g eq. de CO_2 . Se debe destacar que la DQO no incluye el oxígeno que convierte el nitrógeno reducido a nitrato. En cuanto al sulfuro reducido (R-SH S_2), sin embargo, es oxidado a sulfuro por los agentes químicos y por consiguiente se incluye en el valor de DQO. Una importante ventaja de este método es que cuantifica tanto la materia orgánica disuelta como la partícula. Considerando el hecho que el tratamiento de aguas residuales tiene que ver con la separación de ambos tipos de materia orgánica, la DQO medida es ampliamente usada como un parámetro cuantitativo.

Según la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-089/2-SCFI-2010 Todo aquel carbono presente en la materia orgánica que se disuelve o se suspende en el agua (COT).

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Descripción del Sistema (Material y Equipo)

Sistema que sea diseñado para el tratamiento de aguas por plasma. Se diseñó y construyó un sistema experimental para producir descargas luminiscentes o electrohidráulicas sobre muestras líquidas, donde se tratan muestras de agua residual textil por medio de un plasma frío a presión atmosférica. La descarga luminiscente se genera con una fuente voltaje de corriente directa (HP Mod. 6525A, 4kV-50mA) manteniendo el voltaje aplicado constante 1kV, el voltaje medido es de 780V y la corriente ofrecida por la fuente es de 40 mA; sometiendo las muestras a intervalos de tiempo regulares incrementándose cada 15 minutos, desde 15 hasta 90 minutos. En la figura 3.1 se muestran los componentes del sistema experimental empleado en la degradación del colorante textil NA52.

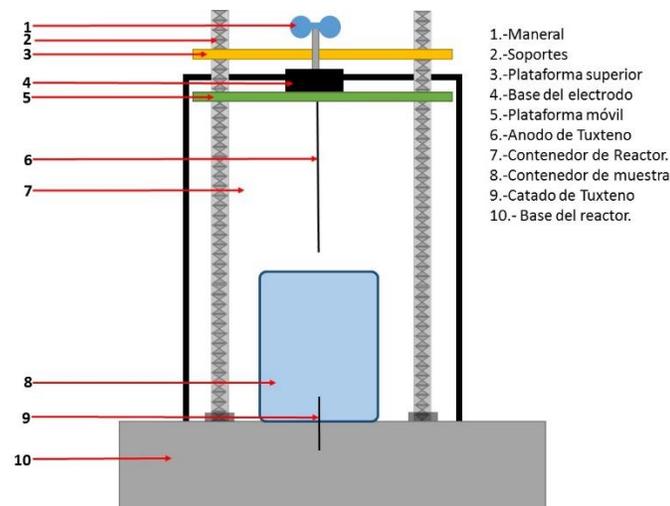


Figura 3.1 Reactor experimental

Equipo y Material

El DR 6000 cuenta con los métodos de prueba más preprogramados, incluyendo la exploración de longitud de onda de alta velocidad a través de un espectro visible y de UV.



Figura 3.2 Espectrofotómetro UV-Vis DR6000 HACH



Figura 3.3 Potenciómetro Jenway

Reactor construido, específicamente para producir plasma no térmico, en conexión con una resistencia y una fuente de energía.



Figura 3.4 Reactor Experimental



Figura 3.5 Digestor DRB 200 HACH

El Hach DRB 200 Reactor proporciona una operación única de una tecla. Los programas para los procedimientos de Hach con digestión están preprogramados en el instrumento. Las tapas son transparentes y el bloqueo disuade la comprobación prematura del progreso de la reacción. Y el reactor emitirá una señal audible y apagará automáticamente al final de la carrera.

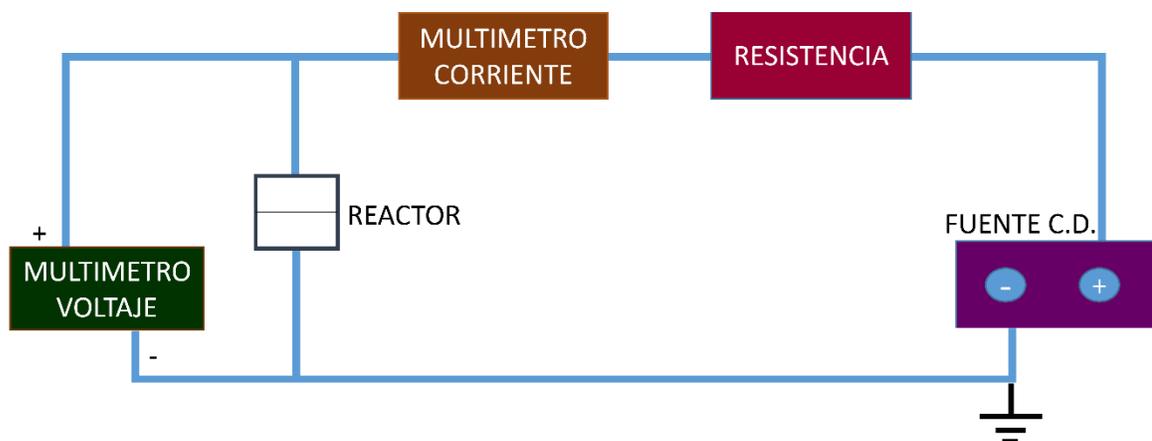
1. Para poder hacer el proceso de degradación se debe tener en cuenta que vamos a manejar corriente eléctrica y ácidos (en los catalizadores), por ese motivo tenemos que extremar

precauciones y usar el equipo de seguridad necesario como es los lentes de seguridad, bata de laboratorio, guantes tanto de polipropileno para el uso de las soluciones, y carnaza para el uso de la electricidad.

2. Se debe tener todo el material en perfectas condiciones y además limpio para poder hacer la degradación.
3. Se prepara una solución de 250 ml de solución de colorante Negro Acido 52 (NA52), se pesa en un vidrio de reloj 0.1157gr de colorante Negro acido 52 (NA52) y se deposita en un vaso de precipitados con una pipeta aplicamos agua destilada en el centro del vidrio de reloj depositando el líquido en el vaso de precipitado cuidando de no derramar líquido. Debemos tener en cuenta que la concentración de colorante Negro acido 52 (NA52) será a 1.0 mM.
4. Vertimos el colorante diluido en un matraz volumétrico de 250 ml y vertimos más agua en al vaso de precipitados y agitamos un poco para arrastrar por completo el colorante y verterlo en el matraz volumétrico.
5. Con y una pipeta de 5 ml agregamos 4.5 ml de Sulfato Ferroso (FeSo_4) con el propósito de aumentar la eficiencia en el proceso de degradación; Es importante mencionar que vamos a ir variando la concentración del Sulfato Ferroso en un 50%, 80%, 100% y 120% hasta encontrar la concentración óptima para generar la degradación.
6. Una vez teniendo el colorante diluido junto con el catalizador dentro del matraz de 250 ml procedemos a aforar con agua hasta la marca de aforo se cierra y se agita vigorosamente para hacer la incorporación del sulfato junto con el colorante.
7. Se procede a desmontar nuestro reactor vertiendo los 250 ml de nuestra solución en el vaso del reactor y con ayuda de un potenciómetro HACH HQ40D sacamos el PH, Conductividad y Temperatura inicial y además sacamos la ABS inicial con ayuda de un espectrofotómetro HACH DR/6000, ya que esos datos nos ayudaran a identificar el grado de degradación obtenido al final del proceso.
8. Una vez obtenido los datos iniciales procedemos a tapar el vaso y colocar el electrodo y encendemos la fuente de voltaje y lo ajustamos la corriente a 1.0 kV y a 40 mA, se toma la hora inicial y dejamos pasar 3 horas de tratamiento y apagamos nuestro sistema.
9. Una vez transcurrido el tiempo, quitamos el electrodo y la tapa del vaso del reactor y procedemos a tomar los datos finales (PH, Conductividad, Temperatura y Absorbancia)

3.2 Circuito eléctrico

Para poder entender lo que es circuito eléctrico se instaló un circuito, a base de una fuente, resistencia, multímetro de corriente, multímetro voltaje. Cada uno tiene su funcionamiento véase en el esquema 3.1.



Esquema 3.1 Circuito Eléctrico

3.3 Preparación de solución del reactivo $FeSO_4$.

Para realizar en 250 mL de agua destilada la preparación del catalizador de sulfato de hierro se desarrolló una solución de sulfato ferroso ($FeSO_4$) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) para que el sulfato ferroso se mantuviera en medio ácido y de esta manera pudiera optimizar, acelerar y mejora la producción de iones hidroxilo al adicionar el peróxido de hidrógeno.

Para poder obtener los gramos de $FeSO_4$ requeridos, se tiene con los siguientes datos:

$$V=250 \text{ mL}$$

$$PM \text{ } FeSO_4= 278.02 \text{ g/mol}$$

$$\text{Concentración } H_2SO_4= 18 \text{ M}$$

$$g = \text{gramos de } FeSO_4 = 3.475 \text{ g}$$

Para el cálculo del volumen de H_2SO_4 , empleando a ecuación 3.3, se tiene:

C_1 = Concentración requerida de ácido = 0.1 M

V_1 = Concentración total de la solución requerida = 250 mL

C_2 = Concentración del ácido concentrado (H_2SO_4) = 18 M

V_2 = Volumen de ácido concentrado para 0.001 M en 250 mL

$$V_2 = \frac{250 \text{ mL} * 0.1 \text{ M}}{18 \text{ M}} = 1.38 \text{ mL} \approx 1.4 \text{ mL}$$

Se prepararon 50 mM de $FeSO_4$ + 0.1 M de H_2SO_4 , para esto se pesaron 3.475 g de $FeSO_4$ y se disolvieron en agua destilada dentro de un matraz aforado de 250 mL, posteriormente se le adicionaron 1.4 mL del ácido sulfúrico, aforando a 250 mL.

3.4 Preparación de solución con NA52.

Material y Equipo:

1 vaso de precipitado de 100ml.

3 pipetas de 5ml.

1 perilla

1 matraz Erlenmeyer de 250ml.

Agua destilada

Colorante NA52

Bascula

Espectrofotómetro UV-Vis DR6000 HACH

Potenciómetro Jenway

Procedimiento

1. Se preparó la solución de NA52 a una concentración de 1 mM con $FeSO_4$ a un volumen de 250 mL, para ello, se pesa en una balanza analítica 0.1154g de colorante NA52 y se disuelve en agua destilada en un vaso de precipitado.

2. Esta solución es colocada en un matraz aforado adicionando ahí 5 mL de sulfato ferroso (FeSO_4), que sirve como catalizador, para después aforar a 250 mL, se afora quedando el menisco arriba de la línea de afore.
3. Teniendo la solución aforada del colorante en agua y el catalizador, se mide con un potenciómetro HACH HQ40d el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura introduciendo el sensor de temperatura y el bulbo de pH en la solución; la temperatura inicial es de 25 °C, el pH medido regularmente se encuentra entre 2.0 y 2.5; mientras que la conductividad eléctrica inicial esta entre 450 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
4. Se mide la absorbancia inicial de la solución usando un espectrofotómetro HACH DR6000, para esto, se toma un 1 mL de la solución y se diluye con 2 mL de agua destilada, previo a la medición, se coloca como blanco agua destilada, una vez realizado este paso, se coloca la celda con la disolución del colorante en espectrofotómetro. Para este colorante el pico característico de absorbancia se encuentra en 570 nm.

3.5.- Tratamiento de muestra con FeSO_4 y NA52

Material y Equipo:

1 pipeta de 5 mL

Solución del NA52

Reactor Experimental

Potenciómetro Jenway

Espectrofotómetro UV-Vis DR6000 HACH

Tratamiento

- 1.- Se vierte la solución en el vaso precipitado del reactor experimental, se coloca con mucho cuidado, conectando los polos; polo positivo arriba y polo negativo abajo.
- 2.- Se enciende la fuente de energía a 2000 V y a 40 mA.

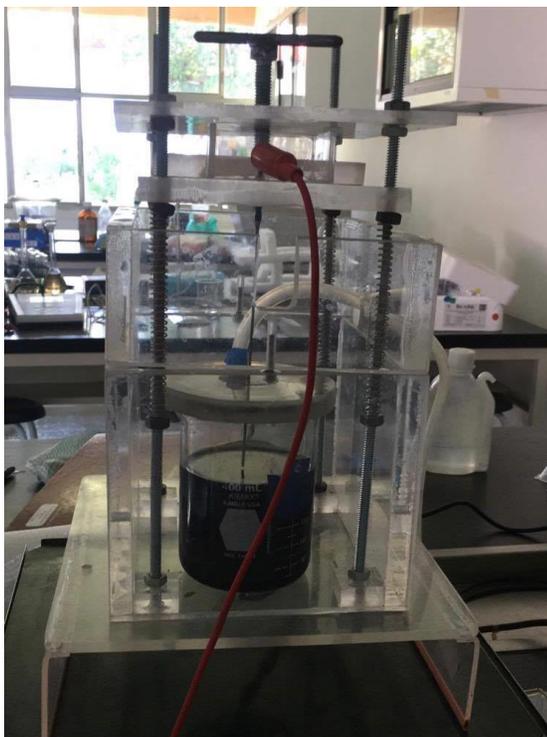


Figura 3.6 Solución en tratamiento

- 3.- Por medio del maneral se hizo que el cátodo llegue al punto de hacer el plasma mediante una chispa como se ve en la figura 3.6
- 4.- Se mantiene en función por el tiempo requerido.
- 5.- Terminando el tiempo, se toma 3ml de la muestra para poder medirla con el espectrofotómetro.
- 6.- Se midió el porcentaje de degradación por medio de la ecuación:

$$\% \text{ de degradacion} = \frac{Abs \ i - Abs \ f}{Abs \ i} \times 100$$

3.6. - Determinación de DQO

Material y Equipo:

1 pipeta de 10 mL y 5mL

1 perilla

Viales de D.Q.O

Espectrofotómetro UV-Vis DR6000 HACH

Digestor DRB 200 HACH

Agua destilada

Muestras

En la determinación de la demanda química de oxígeno se utilizan viales de DQO de rango 0 -150 mg/L, para obtener la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica.

El procedimiento para realizar la prueba de DQO por el método HACH es la siguiente:

1. Se requiere tomar una muestra como parámetro de referencia, el cual se prepara colocando 2 mL de agua destilada en el vial de DQO, se agita y se introduce al reactor.
2. De manera similar, se toman 1.9 mL de agua destilada y 0.1 mL de la solución con colorante tratada, se le adicionan a un vial, se agita y se coloca en el reactor. Los viales, se colocan en el digestor DRB 200 HACH y se deja por 120 minutos a una temperatura de 150 °C como se muestra en la figura 3.7.



Figura 3.7 Digestor DRB 200 HACH

3. Una vez transcurrido este tiempo, se espera 30 minutos para que la temperatura del reactor disminuya a 60 °C, y las muestras puedan ser medidas, la muestra se saca del digestor, y se obtiene el valor de la DQO en el espectrofotómetro UV-Vis DR6000 HACH. Este, detecta los cambios de color en el vial y proporciona el valor de DQO en mg/L.
4. Teóricamente la DQO se calcula usando la siguiente expresión.

$$DQO = \frac{(\# \text{ de } O_2)(\text{Peso Molecular del } O_2)}{PM \text{ contaminante}} [mg/L]$$

3.7 Determinación de Carbón Orgánico Total (COT).

Material y Equipo:

1 matraz Erlenmeyer

1 pipeta de 5 mL

Agua destilada

Ampolletas de indicador COT.

Digestor DRB 200 HACH

Solución Búfer a pH 2.0

Espectrofotómetro DR6000 HACH

Procedimiento

1. Para determinar el COT mediante el método de HACH se prepara una solución blanco adicionando al vial (rango medio 15-150 mg/L) 3 mL de agua destilada, 0.4 mL de solución búfer a pH 2.0, un sobre de persulfato y una ampolleta de solución para determinar COT, esta se limpia con agua destilada.
2. Para las muestras tratadas, se colocan 9 mL de agua destilada y 1 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer y se adicionan 0.4 mL de solución búfer (incluida en el kit para dicho análisis), se deja agitar por 10 minutos. Se coloca un sobre de persulfato con un embudo al vial y se adiciona 3 mL de la solución preparada en el matraz Erlenmeyer.

3. Se le agrega una ampollita previamente limpia desprendiendo la parte superior de la misma, se cierra el vial y se lleva al digestor DRB 200 HACH, se mantiene en el reactor por 120 minutos a una temperatura de 105 °C, se deja enfriar la muestra 60 minutos, se extraen del digestor y se miden en un espectrofotómetro DR6000 HACH en el programa para determinar COT (rango medio).
4. La fórmula teórica para determinar COT:

$$COT = \frac{\# \text{ de Carbonos (Peso Molecular Carbono)}}{\text{Peso Molecular del contaminante}} \times (mg/L)$$

RESULTADOS

4.1 Curva de calibración del colorante NA52

Se obtuvo la curva de calibración del colorante NA52 midiendo en el espectrofotómetro las absorbancias variando las concentraciones del colorante, obteniendo la ecuación que relaciona linealmente la absorbancia (y) con la concentración (x), figura 4.1.

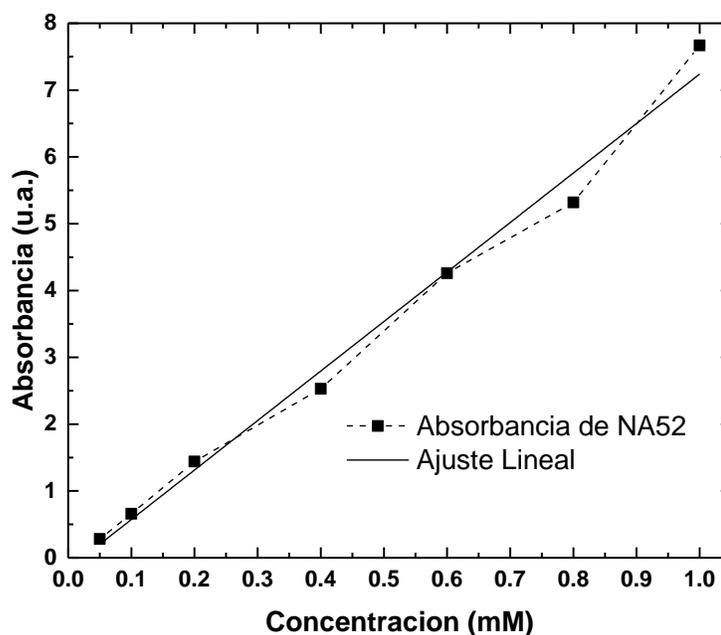


Figura 4.1 Curva de calibración del Colorante Negro Ácido 52

El ajuste lineal a los datos experimentales da como resultado la siguiente ecuación:

$$y = (-0.16176) + (7.40881)x \quad (ec. 1)$$

Con el propósito de identificar que la presencia del sulfato ferroso (FeSO_4) aumenta la eficiencia en el proceso de degradación por plasma, se realizaron diferentes mezclas con agua destilada y

colorante NA52 a 1.0 mM, variando la concentración del FeSO₄. El reactivo FeSO₄ se agregó en distintos porcentajes (50%, 80%, 100% y 120%), siendo 100% 1.0 mM.

4.2 Degradación del colorante en función del tiempo de tratamiento

Se midió la Absorbancia en el intervalo de 200 a 900 nm a las muestras después del tratamiento de degradación de NA52 por plasma.

En la figura 4.2 se muestra el comportamiento del espectro de absorción de dichas muestras a los distintos tiempos de tratamiento, logando identificar una clara disminución de la intensidad de la banda característica a $\lambda = 570$ nm iniciando en ABS=5.961 a la muestra al tiempo t=0 min y teniendo una disminución gradual hasta ABS=0.02 al t=90 min.

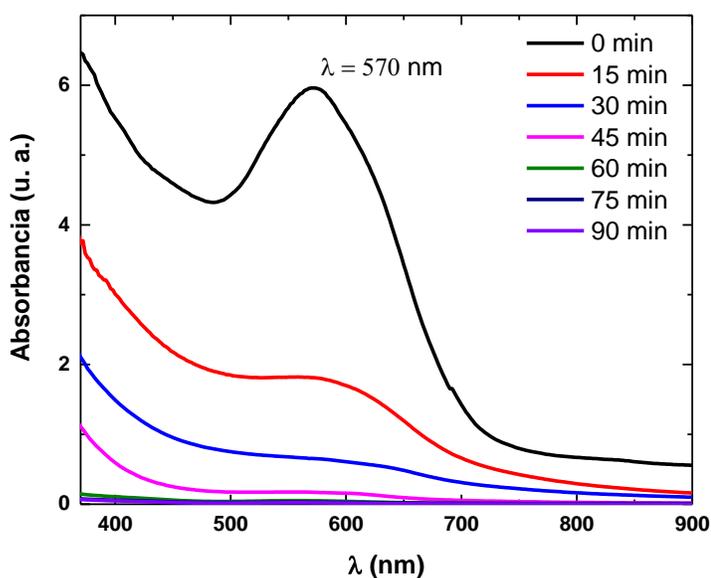


Figura 4.2. Disminución de la absorbancia en función del tiempo de tratamiento

El plasma es generado a presión atmosférica con una atmosfera de aire, las especies formadas en la interfaz agua-plasma dependen de la naturaleza del gas al producir el plasma, en este caso aire húmedo que contiene nitrógeno, oxígeno y agua.

Se determinó espectrofotométricamente la absorbancia de colorante en la región visible que corresponde a la longitud de onda máxima a 570 nm. Los radicales hidroxilos OH son generados

de la interacción del H_2O_2 con el plasma y son altamente oxidantes capaces de degradar la materia orgánica, en este caso el colorante.

4.3 Cambio de la Temperatura y el Volumen

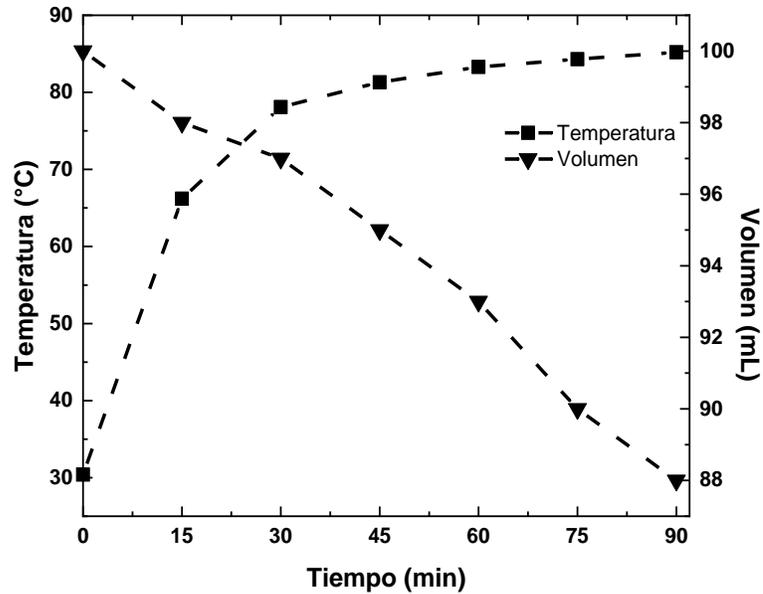


Figura 4.3. Cambio de la temperatura y el volumen en función del tiempo

En la figura 4.3 se observa en el eje vertical izquierdo el comportamiento de la temperatura durante el tratamiento de 0 a 90 minutos (30.4 a 85.2 °C), y el eje vertical derecho se muestra la disminución del volumen final de la muestra también en función del tiempo de tratamiento, donde se observa que se puede realizar el tratamiento de la muestra hasta 75 minutos, después de este tiempo la pérdida de volumen sería mayor al 10%. La temperatura aumenta 2.5 veces su valor en los primeros 30 minutos mientras que el volumen tiene una pérdida de aproximadamente 2 ml cada 15 minutos.

4.4 Comportamiento del pH y conductividad eléctrica

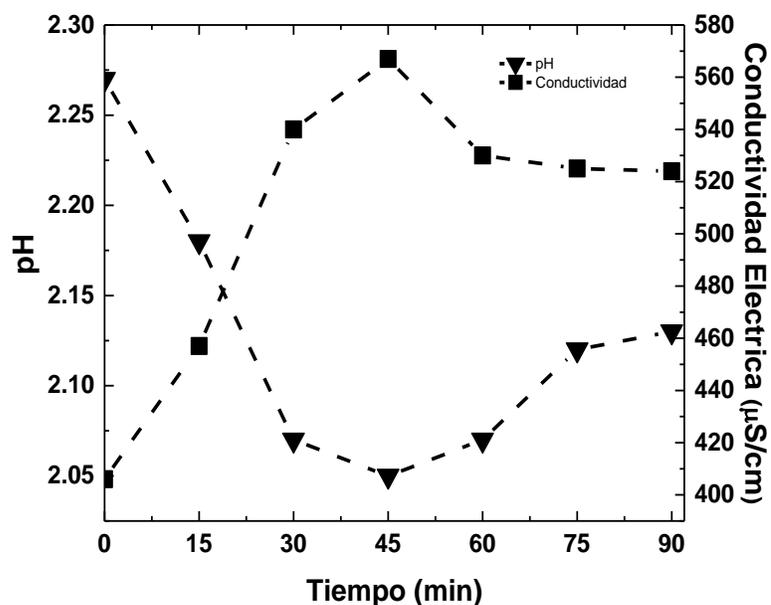


Figura 4.4 Cambio del pH y conductividad eléctrica en función del tiempo

El comportamiento del pH y de la conductividad eléctrica en función del tiempo de tratamiento es graficado en la figura 4.4 donde se puede ver que el pH disminuye mientras que la conductividad eléctrica aumenta en los primeros 45 minutos, manteniéndose en valor casi constante después de este tiempo. La conductividad eléctrica varía un 30% con respecto a su valor original.

4.5 Efecto del cambio en la concentración del FeSO_4

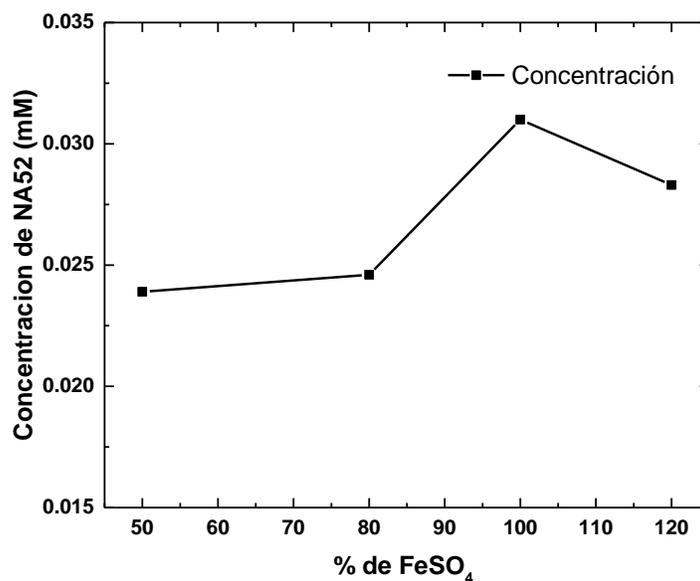


Figura 4.5. Concentraciones finales de NA52 en función del porcentaje en la mezcla de FeSO_4 .

Se observa que la remoción de DQO y COT son más bajos para el FeSO_4 a un porcentaje de 50%. Estos resultados muestran que no hay una diferencia significativa entre los primeros 4 porcentajes analizados, lo cual sugiere la posibilidad de usar una menor cantidad de FeSO_4 en el tratamiento y lograr un resultado semejante, lo cual trae como consecuencia una reducción en la cantidad de hierro presente en el agua después del tratamiento. La saturación de FeSO_4 al 120 % no aumenta el porcentaje de remoción del colorante NA52, ni acorta los tiempos de reacción. De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que al tener 0.5 mM de FeSO_4 es suficiente para alcanzar remociones del colorante mayores al 97% a un tiempo de tratamiento de 120 min. Esto indica que es posible disminuir la cantidad de catalizador (FeSO_4) en el tratamiento, obteniendo resultados semejantes a los tratamientos comunes anteriormente mencionados y causando menos daños a los cuerpos de aguas receptoras. El porcentaje de remoción del colorante NA52 nos indica una

eficiencia del método mayor al 87% en 60 minutos para 250 mL y mayor al 86 % en 30 minutos para 100 mL.

4.6 Obtención de los valores de DQO y COT.

La demanda química de oxígeno (DQO) es una medida de la cantidad total de oxígeno requerido para oxidar todo el material orgánico en dióxido de carbono en el agua. En la figura 4.6 se presenta la DQO y el COT obtenidos de las muestras tratadas, los cuales presentan un comportamiento decreciente en términos del tiempo de tratamiento. Esto indica que el colorante presente en la solución se degrada en función del tiempo de tratamiento, esta degradación se debe al rompimiento del cromóforo en la molécula del colorante y a la conversión de los compuestos orgánicos en CO_2 .

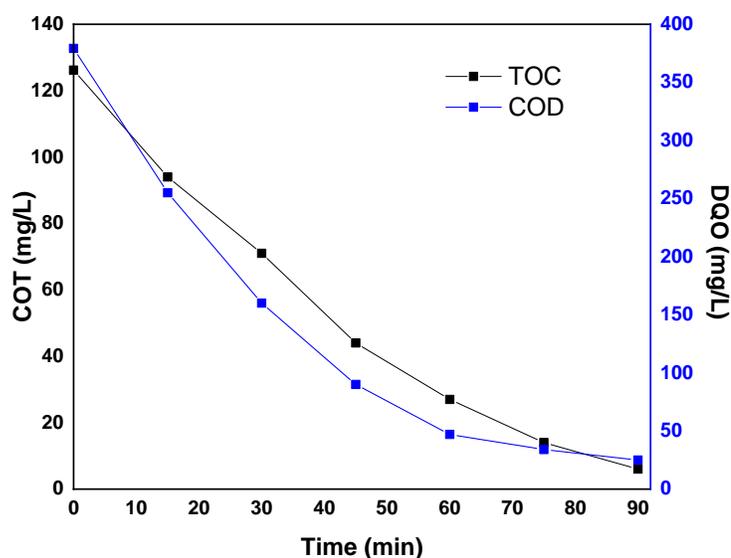


Figura 4.6 Comportamiento del Carbono Orgánico Total (COT) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en función del tiempo de tratamiento.

Después de 90 minutos de reacción, los porcentajes de eliminación de DQO y COT fueron 93 y 95%, respectivamente. Teniendo una disminución gradual promedio del 13.3% en el TOC mientras que el valor del COD disminuye 76.26% en 45 minutos.

Tabla 4.1. Datos de degradación con FeSO₄ 1.0 mM.

Tiempo (min)	DQO (ppm)	COT (ppm)	Remoción NA52 (%)
0	379.2	126.2	0
15	255	94	67.75
30	160	71	86.64
45	90	44	94.55
60	47	27	96.54
75	34	14	96.87
90	25	6	97.03

4.7 Espectro óptico de emisión del plasma

Se obtuvo el espectro óptico de emisión para poder conocer los procesos atómicos y moleculares presentes en el plasma (figura 4.7).

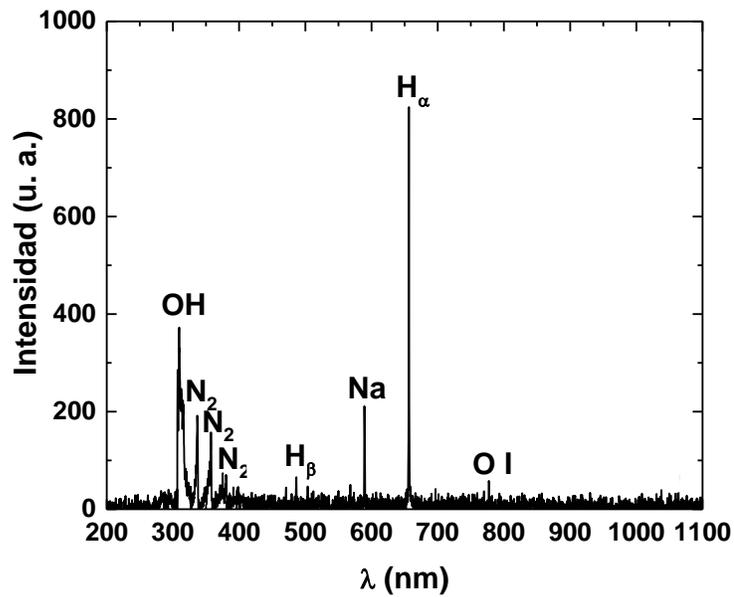
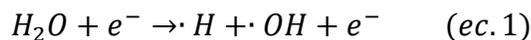


Figura 4.7 Espectro Óptico de Emisión del plasma generado sobre la superficie de la muestra

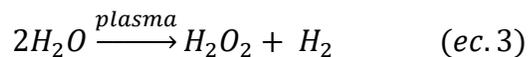
Se identificaron líneas y bandas, por ejemplo, las líneas de H_{α} (656.52 nm), H_{β} (486.36nm), O I (777.23 nm) y Na en 589.23 nm, además de las bandas de OH (con el pico más intenso a 309.41 nm) y N_2 (336.71 nm, 357.58 nm y 375.25 nm) que pertenecen al 2do Sistema Positivo ($C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$). De esta información se puede inferir que los radicales hidroxilos iniciales se forman por la disociación de las moléculas de agua mediante impacto electrónico como se describe en la ecuación 1



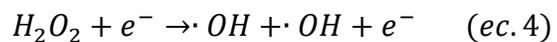
Por lo tanto, en soluciones de agua, los radicales hidroxilos son producidos por la generación del plasma mediante una descarga eléctrica. El peróxido de hidrógeno es otro de los compuestos resultantes de la descarga eléctrica en soluciones de agua, es creado por la recombinación de los radicales hidroxilos (ecuación 2)



Sin embargo, esta no es el único camino, ya que hay más reacciones posibles que conducen a la formación de peróxido de hidrógeno en agua como la reacción de la ecuación 3



Estas reacciones favorecen la presencia de peróxido de hidrogeno, el cual produciría radicales $OH \cdot$ con la aplicación del plasma como se muestra en la ecuación 4



Estos son los procesos de formación de los radicales hidroxilos, los cuales tienen la afinidad de atacar los dobles enlaces, en este el doble enlace del nitrógeno (tipo Azo) que da el color característico del colorante, lo que favorece que, al aplicar el plasma, se degraden las partículas orgánicas en las muestras.

Conclusiones

El tratamiento con plasma del tipo Corona demostró su eficiencia en el tratamiento del colorante NA52 en un tiempo de tratamiento de 90 minutos, esto se verificó mediante la Absorbancia, utilizando 0.5 mM de FeSO_4 en solución ácida como catalizador. Se logró identificar que la eficiencia de remoción está en función de la concentración de catalizador, siendo la ideal la usada en este trabajo.

Fue posible estudiar el comportamiento del pH y la conductividad Eléctrica de la solución durante el tratamiento, observando una disminución gradual del pH y aumento de la CE durante los primeros 45 minutos, estabilizándose el tiempo restante del tratamiento.

La temperatura de la solución aumentó, llegando a más de 80 grados en los primeros 30 minutos, teniendo una pérdida de volumen menor al 10% en 75 minutos de tratamiento.

La disminución de los valores de DQO y COT reflejan un alto porcentaje de mineralización del colorante en la solución, casi a la par del porcentaje de degradación en el mismo tiempo de exposición, lo que demuestra la efectividad del tratamiento para la mineralización de este tipo de contaminantes.

Este tipo de proceso puede ser usado como un tratamiento secundario o en conjunto con otros PAO's para lograr una mayor eficiencia o disminuir los tiempos de tratamiento.

REFERENCIAS

- [1] Mansilla H., *Tratamiento de Residuos Líquidos de la Industria de Celulosa y Textil*, **13**, (2002), 288.
- [2] Anjaneyulu Y., Sreedhara-Chary N., Suman-Raj S., *Decolourization of industrial effluents - available methods and emerging technologies*, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, **4**, (2005) 245–273.
- [3] Kuhad RC., Sood N., *Developments in Microbial Methods for the Treatment of Dye Effluents*, **56**, (2004), 185-213.
- [4] Dos-Santos A., Cervantes f., B Van Lier., *Technologies for Decolourisation of Textile Wastewaters: Perspectives for Anaerobic Biotechnology*, **98**, (2007), 2369-2385.
- [5] Arroyo MP., Cárcam ML., *La evolución histórica e importancia económica del sector textil y del vestido en México Economía y Sociedad*, **14**, (2010), 51-68.
- [6] Cortazar A., Martínez C., Escalante A., González C., *Contaminación generada por colorantes de la industria textil VIDA CIENTIFICA*, **2**, (2014) 22.
- [7] Gil E., Rojas V., Casas D., *Procesos avanzados de oxidación para el tratamiento de residuos líquidos peligrosos procedentes de los laboratorios de Ingeniería de Procesos. Cuadernos de Investigación*, **1**, (2011), 17-24.
- [8] Flores J., Albert S., *La Contaminación y sus Efectos en la Salud y el Ambiente*, **16**, (1995), 35-42.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



Ayala, Morelos a 19 de mayo de 2022

Asunto: Voto Aprobatorio

**DRA. JOSEFINA VERGARA SÁNCHEZ
DIRECTORA DE LA EESX
P R E S E N T E**

Por medio del presente, los revisores de la tesis que lleva por título: **Tratamiento de Agua con Colorante de Origen Textil por Medio de un Plasma Frío**. Que ha realizado el pasante de la Licenciatura en **Ingeniería Química, Giovana Floesse Salazar Ramírez**, otorgamos nuestro voto de aprobación para su impresión por haberse realizado las correcciones consideradas pertinentes de nuestra parte.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dr. César Torres Segundo

Dra. Josefina Vergara Sánchez

Dr. Esteban Montiel Palacios

Dr. Pedro Guillermo Reyes Romero

Dr. José Luis Gadea Pacheco



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

CESAR TORRES SEGUNDO | Fecha:2022-05-19 10:56:56 | Firmante

GeGz5gaC8SRWsfclIK8RL7QO6JMWEJpfEmHwr17NCNTifvtFcejy2A9VWtJ8inswCp5t3/5Y62ohZ7eGhvyeo4v6HMZeydcKX9ownReJUnKJ4Z80ccxAKGMjWt8zqNS/7U7e11JdRyLghUFHxJJ8boAp5lySGsk8KII27KMBseZtuU+apmGe4ZAYqooz00WUScWjn99MDhVjkOj2Lj+MtAn2Tf3DbKxtOm53wmnPfhj4NNYwo4hQc0dodIQIG/blasvPJFRy6PhG9GZp7T3u4Gk9K+mwNjQ4k52ep7D2chlY C7o4WmvPUIF2DrAOPQBwglGcuWpXXMysxKVbzSJA==

JOSEFINA VERGARA SANCHEZ | Fecha:2022-05-19 12:26:30 | Firmante

ccZp+WlmmWjg+luAkv2lUnhLdXVgtC7me6XtpUnFQGBIhRMPVaOJZocHzj5jjhvHLma6YF+pk5qsLt2o95KUH5hXdDwR6Y2Q0KqUR+RmrmduKYv4gs2HYscDjKack0gGefwqws33IDkhKny7U/o4r02cK5XFe8QK0/roMzLzMP2+RbdCqThneDKRMdXAM0FGT3JGHprOH9xBRbIocelweMdCrIAd6KRLQHXKwUvBm1oNG1fMUUVUKBUa/hK2Ib/ou2HMh9DawKxSH+54/35+VFXE0noAcD9GgiaDigt4sTTmjxcLx2GLjfwioPRhXD0ZY5sNoCUnepwi1WkA==

JOSE LUIS GADEA PACHECO | Fecha:2022-05-19 17:19:58 | Firmante

gOQJmvYnHfbM2AEuM9NzImj/ygUge44TfFENs/ezNxH0LR9BJ0ecrV0dMuDpluOhu3K8S4vSStERvs1mZQtPbAnyXFNP1x4YYeRnYLBfk+qf1unE+S11inv4HbGMM6Z8ehD/bUcMhia0ZmCWnB6iU19XNugRV7LmKQSTM2k6nPgdiM+rko4Z9xdRyR92lJyfGB/6UEXuZxXloEBMnmu8b0mJnzMr6V1GGbnkn+AFICIOt7Dczh31Qq2n8BaCSB2P8IXHRUCsu9bOPd8j5bSQrioYulzJVtBjmtwdVv9bXZ70q07Z3D45ruJEtS9XfCo0hnCIPJfdQaksedsMOXwcNA==

ESTEBAN MONTIEL PALACIOS | Fecha:2022-05-19 23:25:42 | Firmante

znS3UwRlVw9oimlmJjyVg1Td3dvt5U8a7AfrZinYfCbM2GHjf8Qdur7k4uJblY5hKcgUesllwZXchfPS+NijTl8g5QTZNagLWF8VYzXDeW6nGPM2nif6mhqwISz9FH7WipHsacRIHw4fgNdrJ8C3eh8V+0SqKJLcnfQqdkxD8hYtY93Q8j9hg59UPf4+px4UZujn4TdzZijUYeptXtZUGLpFvSD9b05hldp2sEtFMkOD54yHhBhD9mWbK1dqD3nlisTswdfwcWoC52EuEvlw672uGif/pEkynET22plihL3i7UNIq7bqT2n0dWE4Nz3jqdohSnhdXIF8jCz3pMRWw==

PEDRO GUILLERMO REYES ROMERO | Fecha:2022-05-25 12:45:03 | Firmante

dOmskUDFYBmojq1nd+HFCNMAIYibBRNUgojMU0nONyaCYFg/gE8vsgwghSLuL719gdt8WNzwdJpLNBIVNWivbPuiwTFuwM0KwXmx7C9ZUfswWjhZ09y0b5R/+w9Rvft9lfChmUvOhxx0xDWPBsoB/IVF5u1RwTSzuvKxu3Zs4VNNop14CkXHIEWS/Apvs1CbU1fGvY+JPMc9MGN5JnxXS6B8f45i50MwL2QJ2kvY3W6R4F0ToxhgkD3X96AxWn5YR4gWQNFVATbMbM5hX+18DdGYpXVsvh7HtE8LVJfGw26Zh/t8pFau118Z1ul9TzZFKx8caYE3V1g/B3Zg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



ZrR81yhlz

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/5yWaTNV57Fyd71dTRmPWMTOmzEOTISPy>

