

# PREPARACIÓN DE MATERIALES FOTOSENSIBLES PARA LA REMOCIÓN FOTOCATALÍTICA DE COLORANTES ORGÁNICOS DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL

Flores Gómez Luis Refugio (1), Martínez García Martín Trinidad (2) y Del Ángel Soto Julio (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [lr.floresgomez@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [garciamt@ugto.mx]

3 [Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [jasoto @ugto.mx]

## Resumen

La fotocatalisis se ha convertido en tema de estudio debido a las ventajas que presenta respecto a los métodos convencionales para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria. El catalizador más común es el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) debido a sus características y su elevada actividad fotocatalítica. Se ha realizado este estudio con el objetivo de comparar la eficiencia del fumarato de aluminio y fumarato de hierro en la degradación de contaminantes con respecto a otros catalizadores. Las soluciones de colorante se prepararon con una concentración de 1000 ppm para el caso del aluminio y 320 ppm para el caso del hierro. Se trataron volúmenes de 1 litro para cada prueba con una exposición a la radiación solar de 5 horas, seguido de una filtración por gravedad, obteniendo remociones de hasta el 99% para el fumarato de aluminio y 98% para el caso del fumarato de hierro utilizando 0.8 g de catalizador y 5 ml de peróxido.

## Abstract

Photocatalysis has become a subject of study due to the advantages it presents with respect to conventional methods for treatment of wastewater from the industrial sector. The most common catalyst is titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) due to its characteristics and its high photocatalytic activity. This study has been carried out in order to compare the efficiency of aluminum fumarate and iron fumarate in the degradation of pollutants with respect to other catalysts. Dye solutions were prepared with a concentration of 1000 ppm in the case of aluminum and 320 ppm in the case of iron. Volumes of 1 liter were treated for each test with an exposure to solar radiation of 5 hours, followed by a gravity filtration, obtaining removals of up to 99% for aluminum fumarate and 98% for iron fumarate using 0.8 g of catalyst and 5 ml of peroxide.

## Palabras Clave

Fotocatálisis; Energía solar; Fumarato de aluminio; Tratamiento de aguas; Colorantes

## INTRODUCCIÓN

La industria textil puede considerarse de alto impacto ambiental, teniendo mayor repercusión en los efluentes líquidos [1]. Se estima que esta industria consume alrededor 80 y 100 L de agua por kg de algodón teñido y sus residuos se caracterizan por tener un pH inestable, altas temperaturas, elevada salinidad y grandes concentraciones de colorantes que infunden al agua una coloración intensa [2,3]. El tratamiento de este tipo de residuos suele ser un problema complejo debido a la gran variedad de químicos y su concentración [4].

Los colorantes utilizados en esta industria suelen ser difícilmente degradables, pues demuestran una fuerte oposición a los métodos de tratamiento biológicos clásicos y una gran persistencia en el ambiente [5,6]. Es necesario implementar métodos capaces de mineralizar los contaminantes o transformarlos en materiales inofensivos para el hombre y la naturaleza. Se ha demostrado que los métodos como el tratamiento de oxidación fotocatalítico, presentan una gran ventaja en comparación con las técnicas convencionales. Este método consiste en la destrucción de los contaminantes empleando la radiación solar ultravioleta que en conjunto con catalizadores y peróxido de hidrógeno, formarán radicales hidroxilo ( $\text{OH}^\circ$ ), los cuales producirán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos [1,4].

El peróxido de hidrógeno es un potente agente oxidante no selectivo que actúa como una excelente fuente de radicales libres. Además este no genera residuos peligrosos, pues durante su descomposición se genera únicamente agua y/u oxígeno. El mecanismo normalmente aceptado para la fotólisis de  $\text{H}_2\text{O}_2$  es la ruptura del enlace O-O por acción de la luz ultravioleta [4].



El uso de mayores cantidades de catalizador en un principio incrementa la eficiencia de proceso. Sin embargo, cuando este se usa en cantidades excesivas, el efecto de la turbidez ocasionada por las partículas dificulta la difusión de la luz ultravioleta, reduciendo el porcentaje de destoxificación [4]. La incidencia de la radiación solar provoca que los electrones se exciten en la banda de valencia, favoreciendo la aparición de huecos caracterizados por un potencial de oxidación muy alto [7].

Existe una gran variedad de catalizadores que cumplen con el objetivo de degradar los agentes tóxicos inmersos en las aguas residuales, siendo el  $\text{TiO}_2$  el más utilizado, ya que presenta una alta actividad fotocatalítica, no es tóxico, es estable en soluciones acuosas y no es costoso [7]. La desventaja que presenta el  $\text{TiO}_2$  es la generación de sólidos suspendidos y al ser este un parámetro regulado por normas, es necesario separar las partículas de las aguas tratadas antes de su vertido y debido a su reducido tamaño, se deben implementar técnicas de filtración que encarecen el tratamiento. [4]

En el presente trabajo, se llevaron a cabo pruebas utilizando fumaratos como catalizadores, con el objetivo de buscar una alternativa económicamente viable para el tratamiento y remoción de colorantes presentes en aguas residuales provenientes de la industria textil, implementando un sistema que funciona enteramente con energía solar y comparando los resultados con los obtenidos con otros catalizadores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Síntesis de los materiales.** Los fumaratos de hierro, aluminio y zinc se sintetizaron de acuerdo con la metodología reportada por Xu y colaboradores [8]. El fumarato de hierro se preparó de la manera siguiente: 5 mmol de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y 5 mmol de ácido fumárico fueron disueltos en agua destilada, la solución homogénea obtenida se transfirió a un reactor de acero inoxidable con cubierta interna de teflón y se calentó a  $65^\circ\text{C}$  por 12 h. Después el reactor se enfrió a temperatura ambiente y el producto se lavó con alcohol repetidamente y se secó en una estufa de vacío. Siguiendo la misma metodología se prepararon los fumaratos de aluminio y zinc.

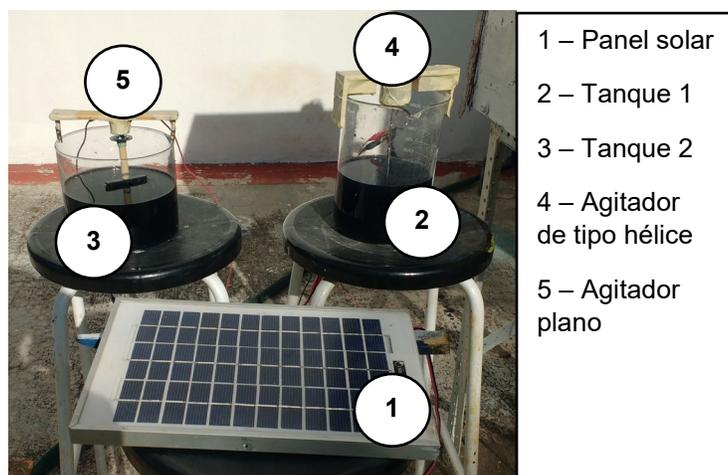
En este estudio se utilizó el colorante *Azul Marino*, marca comercial “El Caballito”. Para llevar a cabo las pruebas, se montó un sistema con dos tanques (recipientes) de vidrio, de tal modo que el recipiente permitiera el paso de la radiación UV para una adecuada incidencia de la misma sobre el catalizador. Se adicionó un sistema de agitación alimentado por un panel solar como el que se muestra en la imagen 1, asegurando de esta manera que el catalizador actúe de manera homogénea en todo el volumen. El tanque 1 fue un recipiente de 13 cm de diámetro y 19 cm de alto, con un agitador de tipo hélice de 8.2 cm de diámetro. El tanque 2 fue un recipiente de 15 cm de diámetro y 12.5 cm de alto, con un agitador plano de 5.4 cm.

Las pruebas se realizaron sobre soluciones sintéticas, preparadas con una concentración inicial de 1000 ppm y 320 ppm del colorante previamente mencionado. A cada solución se le agregó una cantidad determinada de peróxido de hidrógeno. Se utilizó fumarato de aluminio y fumarato de hierro en un rango de entre 0.5 g y 1.5 g para observar la diferencia en el porcentaje de remoción del contaminante al variar este parámetro. Se hizo un muestreo cada hora, en lapsos de 5 horas para obtener una gráfica de concentración en función del tiempo.

Para conocer la concentración de las muestras, se midió la absorbancia en cada caso, haciendo uso de un espectrofotómetro UV-Visible. Primeramente se llevó a cabo un barrido en el espectro visible para determinar la longitud de onda a la que la solución del colorante presenta el mayor pico de absorbancia. Después se generó una curva de calibración a partir de soluciones de concentración conocida en un rango de entre 10 y 1000 ppm, para la longitud de onda obtenida en el barrido.

Se hizo una filtración previa con la finalidad de recuperar el catalizador suspendido en cada una de las muestras, evitando además que este afectara la lectura de la absorbancia. En la tabla 1 se pueden apreciar los resultados obtenidos para cada experimento.

Las pruebas se llevaron a cabo en las instalaciones de la Universidad de Guanajuato, en el Laboratorio de Ingeniería Térmica la División de Ciencias Naturales y Exactas sede Pueblito de Rocha, mientras que la lectura de absorbancias se realizó en el Laboratorio de Materiales en la sede Noria Alta de la misma división.



**IMAGEN 1:** Sistema de remoción alimentado por energía solar (un panel solar, dos tanques y dos agitadores)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en cada experimento, para una exposición directa a la radiación solar de cinco horas. Para el caso del fumarato de hierro, se observó un mayor porcentaje de remoción en el experimento F21 (98.82%), mientras que para el fumarato de aluminio la mayor remoción se encontró en A42 y A21 (99.24% y 99.23%).

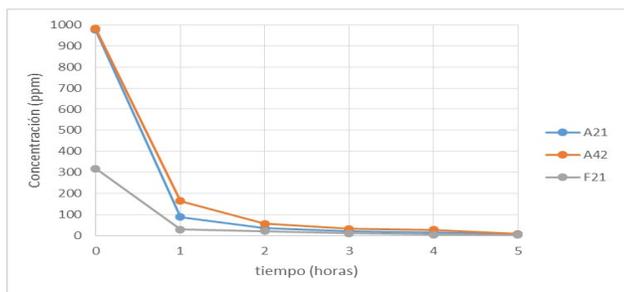
Al analizar la gráfica representada en la imagen 2 en conjunto con los datos de la tabla 1, se determinó una mayor eficiencia del experimento A21, pues este alcanza valores de concentración más bajos en menor tiempo, además de utilizar cantidades menores tanto de catalizador como de peróxido de hidrógeno.

**Tabla 1: Resumen de los experimentos realizados y los resultados obtenidos con fumarato de aluminio (A) y fumarato de hierro (F) para una exposición a la radiación solar de cinco horas**

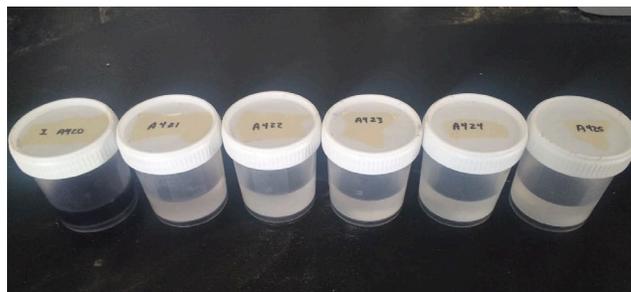
Experimento	Características							
	Catalizador	Peróxido	Colorante	Agua	Tanque	Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)	Porcentaje de remoción
A11	0.5 g	5 ml	1.0 g	1 L	2	973.75	256.25	73.68 %
A21	0.8 g	5 ml	1.0 g	1 L	1	976.25	7.50	99.23 %
A31	1.0 g	5 ml	1.0 g	1 L	2	976.25	183.75	81.18 %
A41	1.5 g	5 ml	1.0 g	1 L	1	985.00	121.25	87.69 %
A12	0.5 g	10 ml	1.0 g	1 L	2	981.25	101.25	89.68 %
A22	0.8 g	10 ml	1.0 g	1 L	2	982.50	153.75	84.35 %
A32	1.0 g	10 ml	1.0 g	1 L	1	987.50	215.00	78.23 %
A42	1.5 g	10 ml	1.0 g	1 L	1	982.50	7.50	99.24 %
A13	0.5 g	15 ml	1.0 g	1 L	2	977.50	355.00	63.68 %
A33	1.0 g	15 ml	1.0 g	1 L	1	986.25	22.50	97.72 %
F11	0.5 g	5 ml	0.32 g	1 L	1	315.00	46.25	85.32 %
F21	0.8 g	5 ml	0.32 g	1 L	1	317.50	3.75	98.82 %
F31	1.0 g	5 ml	0.32 g	1 L	1	312.50	7.50	97.60 %
F41	1.5 g	5 ml	0.32 g	1 L	1	315.00	5.00	98.41 %
F12	0.5 g	10 ml	0.32 g	1 L	2	321.25	10.00	96.89 %

Los mejores resultados se observan para 0.8 g de catalizador, probablemente debido a que en mayores cantidades las partículas del catalizador no permiten la incidencia de la radiación [4]. Mientras que en menor cantidad, el área superficial no es suficiente para llevar a cabo la reacción. Cabe resaltar que el aumento en la cantidad de peróxido para las muestras A42 y A33 logra contrarrestar el efecto de la turbidez debido al incremento de radicales hidroxilos. Además es necesario tener en cuenta que las condiciones climáticas pueden variar de una prueba a otra, principalmente la presencia de nubes afecta a la absorción de la luz UV y esto se ve reflejado en la eficiencia de la operación.

En la imagen 3 observa la secuencia de muestras ya filtradas para el experimento A42, con un intervalo de 1 hora entre cada una.



**IMAGEN 2:** Variación de la concentración con respecto al tiempo para las pruebas con mayor eficiencia (A21, A42, F21).



**IMAGEN 3:** Secuencia de muestras filtradas de cada hora para el experimento A42

## CONCLUSIONES

En este estudio se logró implementar un sistema batch para el tratamiento de aguas contaminadas por colorantes que funciona enteramente con energía solar. La preparación y aplicación de un fotocatalizador capaz de remover hasta el 99.23 % del colorante de una solución de 1000 ppm bajo las condiciones establecidas, siendo este el fumarato de aluminio.

Los resultados reportados para  $\text{TiO}_2$ , fumarato de zinc y fumarato de hierro son de 80.34%, 81.79% y 76.92% respectivamente para pruebas de agua sintética [7]. Si bien merece la pena realizar más pruebas utilizando fumarato de aluminio, ha quedado demostrado que es una posible opción para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil, puesto a que además de ser un compuesto inofensivo para el medio ambiente, este logró eliminar casi en su totalidad (99.23%) el colorante disuelto en el agua durante las pruebas de laboratorio.

## REFERENCIAS

- [1] Garcés Giraldo, L. F., Pañuela Mesa, G. A., (2007). Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar. Revista Lasallista de Investigación, vol. 4, núm. 2, pp. 24-31.
- [2] Tafoya Rivera, R. L., Martínez García, M. T., (2016). Estudio de la geometría del Colector Solar para la remoción Fotocatalítica de Colorantes Orgánicos. Verano de la Investigación Científica, vol. 2, No. 1, pp. 531-535.
- [3] Flores, A., Vitale, P., Eyley G. N., Cañizo, A. I., (2015). Remoción de colorantes textiles aplicando procesos fotoquímicos oxidativos (UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ /lana de acero comercial). Afinidad LXXII, vol. 72, núm. 571, pp. 188-195.
- [4] Garcés Giraldo, L. F., Mejía France, E. A., Santamaría Arango J. J., (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación, vol. 1, núm. 1, pp. 83-92.
- [5] Tinoco Gómez, O. R., Medina Escudero, A. M., Zapata Gamarra, H., (2011). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. Industrial Data, vol. 14, núm. 2, pp. 9-15.
- [6] Castro Peña, L., Durán Herrera, J. E., (2014). Degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles mediante procesos de oxidación avanzada. Tecnología en Marcha, vol. 27, N° 2, pp. 40-50.
- [7] Torres Guzmán, J. C., Martínez García, M. T., Del Ángel Soto, J., (2017). Preparación de materiales fotosensibles para la remoción fotocatalítica de colorantes orgánicos de aguas residuales de la industria textil. Verano de la Investigación Científica, vol. 3, No. 2, pp. 773-777.
- [8] Xu, W. T., Ma, L., Ke, F., Peng, F. M., Xu, G. S., Shen, Y. H., ... & Yuan, Y. P. (2014). Metal-organic frameworks MIL-88A hexagonal microrods as a new photocatalyst for efficient decolorization of methylene blue dye. *Dalton Transactions*, 43(9), 3792-3798.