

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

Torres Guzmán Juan Carlos (1), Martínez García Martín Trinidad (2) y Del Ángel Soto Julio (3)

1 [Licenciatura en ingeniería química, Universidad de Guanajuato] | [pochaco_765@hotmail.com]

2 [Departamento de ingeniería química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [garciamt@ugto.mx]

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

Resumen

La fotocatalisis heterogénea es un método de tratamiento de agua de menor costo que las técnicas convencionales de coagulación y floculación para la remoción de colorantes orgánicos pero que a su vez tiene ciertos inconvenientes ya que requiere una exposición directa a la energía del sol y no necesariamente funciona de igual manera con todos los tipos de colorantes, sin embargo, en combinación con las técnicas tradicionales se puede reducir el costo total de la operación. En el presente trabajo se realizan experimentos en pasivo y en activo utilizando TiO_2 , fumarato de zinc y fumarato ferroso como catalizadores, los últimos dos son sintetizados en el laboratorio. Las muestras de agua utilizadas fueron una muestra sintética como estándar y tres tipos diferentes de aguas residuales de la industria ubicada en la ciudad de Salvatierra, Guanajuato. En los experimentos en pasivo los porcentajes de remoción de los tres compuestos fue del 80% con una duración de 10 horas y en activo 54.67% para el TiO_2 y menores al 15% para los fumaratos esto con una duración de 5 horas, ambos tipos de experimentos utilizando las muestras sintéticas. Las muestras reales arrojan variedad de resultados.

Abstract

The heterogeneous photocatalysis is a water treatment method with a lower cost than the conventional coagulation and flocculation techniques used in the removal of organic dyes but at the same time has certain disadvantages such as the direct exposure to the sunlight rays and that it does not always work the same way with all the different types of dyes but used in combination with the regular treatment techniques the total operation cost can be decreased. In this study there are performed active and passive experiments using TiO_2 , zinc fumarate and iron fumarate as catalyst the last two are synthesized in the laboratory. There were used to types of water samples, a synthetic one which serves as pattern and three different kinds of wastewater from the industry ----- located in the city of *Salvatierra* in the state of *Guanajuato*. In the passive experiments the removal percentage for all the compounds were 80% with a total time of 10 hours and for the active experiments the percentages were 54.67% for the TiO_2 and less than 15% for the fumarates these last ones with a total time of 5 hours.

Palabras Clave

Energía solar; Fotocatálisis; Colorantes, Tratamiento de aguas; Fumaratos.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento y purificación de agua a través de fotocatalisis heterogénea utilizando dióxido de titanio como catalizador ha despertado entre la comunidad científica un gran interés como una aplicación fotoquímica en las dos últimas décadas. La fotocatalisis heterogénea no es selectiva y se emplea para tratar mezclas complejas de contaminantes orgánicos sobretodo de la industria textil. La fotodegradación sensibilizada consiste en la destrucción de contaminantes mediante radiación solar ultravioleta y catalizadores, para formar radicales hidroxilos que oxidarán los contaminantes químicos. Dicha oxidación se lleva a cabo en la partícula catalizadora por otro lado, presenta la posibilidad de usar la radiación solar como fuente de energía primaria, y con ello constituirse como una importante y significativa solución de alto valor medioambiental: el proceso constituye un claro ejemplo de tecnología sostenible y ambientalmente amigable [1].

Ya se ha descubierto como la radiación UV/visible acelera las reacciones foto catalíticas, favoreciéndose así el grado de degradación de contaminantes orgánicos, incluyéndose compuestos aromáticos y alifáticos [2]. La radiación provoca que los electrones se existen en la banda de valencia del sólido, lo que provoca la formación de huecos caracterizados con un potencial de oxidación muy alto. En estos huecos se produce la oxidación de compuestos orgánicos adsorbidos, a la vez que es posible que ocurra la descomposición del agua produciéndose radicales hidroxilo, los que participan a su vez en las reacciones de degradación de la materia orgánica.

En la fotocatalisis heterogénea para el tratamiento de efluentes industriales, generalmente el catalizador es añadido directamente a la solución a tratar. En el caso de la fotocatalisis heterogénea, se emplean semiconductores (sólidos en suspensión acuosa o gaseosa). Existen múltiples de estos foto sensibilizadores tales como: Al_2O_3 , ZnO , Fe_2O_3 y TiO_2 . Sin embargo, el más ampliamente usado en aplicaciones fotocatalíticas es el dióxido de titanio Degussa p25 en forma de anatasa 99% y en forma de rutilo 1%, ya que

presenta una mayor actividad foto catalítica, no es tóxico, es estable en soluciones acuosas y no es costoso. El dióxido de titanio puede ser activado mediante radiación ultravioleta hasta 380 nm, lo que permite su funcionamiento como fotocatalizador solar puesto que la irradiación solar comienza a longitudes de onda de unos 300 nm. [3,4,5,6]. En el presente trabajo se sintetizaron materiales fotosensibles a partir de Titania-Zirconia y Fumarato de Fe los que se probaron como agentes fotocatalíticos tratando agua residual de la industria textil, y comparando su eficiencia en la remoción de los colorantes presentes en el agua contaminada con las eficiencias obtenidas empleando únicamente el TiO_2 en particular de una empresa de Moroleón, Guanajuato.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las diferentes muestras de agua que se utilizaron fueron:

- Muestra sintética utilizando colorante comercial azul mezcilla de la marca "mariposa".
- Agua residual del proceso de teñido denominada "mezcla de azules".
- Agua residual del proceso de teñido denominada "mezcla de rojos".
- Concentrados previos al teñido denominados "azul mezcilla"

Y a su vez los catalizadores utilizados fueron:

- Dióxido de titanio (anatasa)
- Fumarato de zinc
- Fumarato de hierro

La experimentación se llevó a cabo en dos etapas, la primera utilizando la técnica en pasivo en celdas cubicas de vidrio para permitir el paso de la luz, con dimensiones de 20 cm de lado, se prepararon muestras sintéticas con una composición de 0.25 gr de colorante azul mezcilla, 0.25 gr de catalizador y 12ml de peróxido de hidrógeno al 3% todo esto en 3 litros de agua, las muestras se colocaron selladas para evitar pérdidas por

evaporación, y sin agitación, fueron colocadas a la intemperie por un periodo de dos días (10 horas de exposición directa al sol).

De igual manera se repitió el experimento para las muestras "mezcla de azules" y "mezcla de rojos" utilizando las mismas cantidades de catalizador y de peróxido.

La segunda etapa utilizando la técnica en activo con la ayuda de un sistema configurado por dos colectores solares con un área de 0.353 m² cada uno, el primero cuenta con 9 canales en su interior y el segundo con 10, estos formados por baffles espaciados por 7 cm y 5 cm respectivamente como se muestra en la figura 1, el flujo es por gravedad y recolectado a la salida del sistema para regresar al contenedor inicial con la ayuda de una bomba peristáltica, la geometría utilizada para el sistema fue estudiada previamente [7].

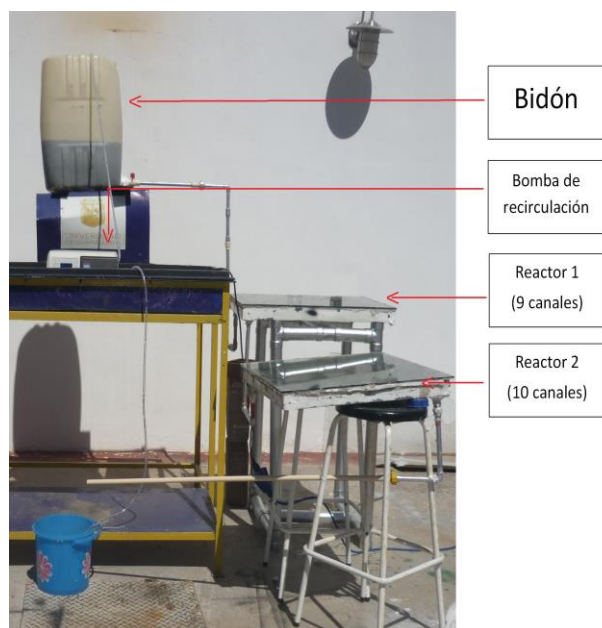


Figura 1. Sistema experimental para la remoción de colorantes de aguas residuales.

Los primeros experimentos en activo se realizaron con la muestra sintética de azul mezclilla como referencia la cual se preparó con 3 gr de colorante, 40 ml de agua de peróxido al 3% y 0.5 gr de catalizador en 20 litros de agua.

Por último se prepararon muestras con los concentrados de azul mezclilla proporcionados por la industria para compararlos con la muestra

sintética y observar si existe alguna diferencia, las muestras se prepararon con una composición de 25 ml de concentrado, 100 ml de peróxido al 3% y 1 gr de catalizador en 10 litros de agua, esto con el fin de aumentar las concentraciones de catalizador y peróxido y ver cómo afectan en el proceso.

Para los experimentos en pasivo se tomó una muestra al inicio y al final para no modificar la concentración y para los experimentos en activo se tomó una muestra cada hora durante el tiempo de operación que se efectuó de las 10:00 a.m. a las 3:00 p.m. siendo estas las horas pico de mayor irradiancia solar.

Para obtener el porcentaje de remoción de las muestras se utilizó la técnica de absorción UV-visible primero realizando un barrido de ondas a lo largo del espectro visible para obtener la longitud de onda de mayor absorbancia de cada muestra y por medio de la fórmula:

$$\% \text{ remoción} = \left(1 - \frac{Abs_{muestra\ n}}{Abs_{inicial}} \right) * 100 \quad (1)$$

Se calculó el porcentaje de colorante removido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados para los primeros experimentos en pasivo se muestran en la tabla 1, para la muestra sintética estos son similares para los tres tipos de catalizadores, prácticamente eliminando todo el color.

Tabla 1 porcentajes de remoción en pasivo, muestra sintética.

Catalizador	% remoción
.TiO ₂	80.34%
Fumarato Zn	81.19%
Fumarato Fe	76.92%

Con esto se puede demostrar la acción de los materiales sintetizados como se puede ver en la figura 2 y su uso en fotocatalisis además de que los tres coinciden en el mismo punto de equilibrio después de un tiempo prolongado,



Figura 2. Muestra sintética de azul mezclilla. Antes y después de la experimentación (10 horas) para los tres catalizadores empezando de izquierda a derecha: TiO_2 , Zn y Fe.

Las muestras de "mezcla de azules" no presentaron un cambio significativo después de los dos días de exposición y las partículas catalíticas se tornaron de un color oscuro lo que puede ser señal de envenenamiento del catalizador, esto puede significar que la muestra requiere un tratamiento previo o que las moléculas de colorante no pueden ser degradadas por este medio.

Para las muestras de "mezcla de rojos" los resultados arrojaron porcentajes más significativos como se ve en la tabla 2, esto nos da un ejemplo de lo variadas que pueden ser las muestras reales desde el tipo de moléculas que componen la mezcla, así como las impurezas que pueden interferir en la degradación.

Tabla 2 Porcentaje de remoción en pasivo, mezcla de rojos.

Catalizador	% remoción
TiO_2	33.54%
Fumarato Zn	31.34%
Fumarato Fe	30.97%

En la figura 3, se puede observar la muestra de mezcla de rojos antes y después del tratamiento con la titania, donde se evidencia la remoción de los colorantes.

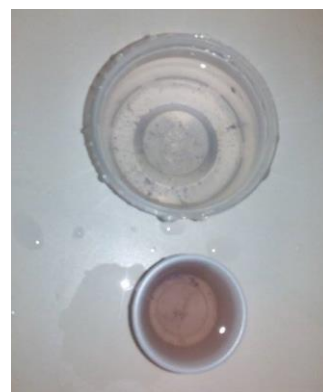


Figura 3. Degradación de la muestra "mezcla de rojos" después de 10 horas de exposición con el catalizador TiO_2 .

En los experimentos en activo los porcentajes de remoción para la muestra sintética se muestran en la figura 4, los datos son en función del tiempo para comparar como varía la velocidad de reacción de cada catalizador.

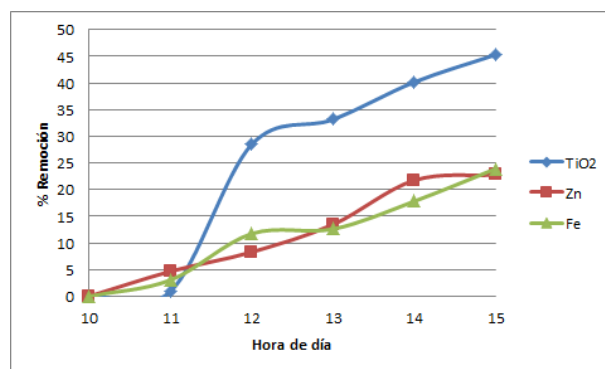


Figura 4. Curvas de porcentajes de remoción vs tiempo para la muestra sintética, se compara la acción de los 3 catalizadores.

Se puede observar que el óxido de titanio tiene una mayor velocidad de reacción pero que pasado el tiempo las curvas tenderán a coincidir en el punto de equilibrio.

Las muestras de "concentrados de azul mezclilla" presentan los siguientes resultados también en función del tiempo, ver figura 5.

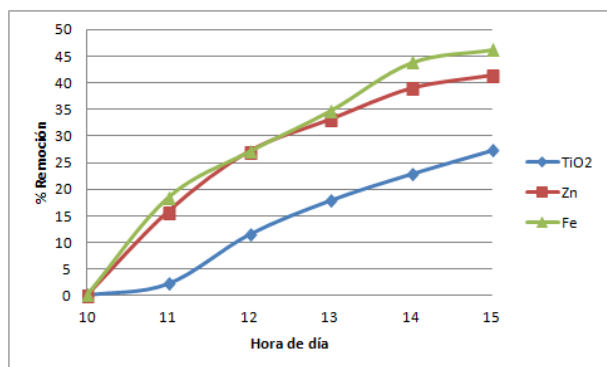


Figura 5. Curvas de porcentaje de remoción vs tiempo para los concentrados de azul mezcilla muestra real.

En este caso la acción del óxido de titanio se vio disminuida pero puede deberse a las diferentes condiciones climatológicas, ya que no todo el tiempo se tiene la misma irradiación solar.

CONCLUSIONES

Con estos resultados se logra demostrar la aplicación de los fumaratos de zinc y hierro como partículas fotocatalíticas que con los resultados obtenidos en la remoción de los colorantes son una excelente alternativa con los procesos tradicionales que utilizan óxido de titanio.

Si bien la acción de los fumaratos no ocurre a la misma velocidad que la del óxido de titanio la remoción después de un tiempo prolongado llega a ser la misma, el presente trabajo establece una importante plataforma para poder realizar curvas cinéticas variando las cantidades de catalizador y peróxido utilizado para establecer la influencia de cada catalizador y proponer un modelo de proceso utilizando los fumaratos como alternativa.

Por otra parte se trabajó con muestras reales las cuales pueden tener comportamientos muy diferentes a las muestras sintéticas dando una idea más clara de los alcances y limitaciones de los materiales fotocatalíticos utilizados y del prototipo experimental implementado en el presente estudio.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis asesores por seleccionarme para el proyecto y darme la oportunidad para tener mi primera experiencia en la investigación, quedó muy satisfecho con lo logrado y con interés de seguir el proyecto para mi titulación, además quiero agradecer a la DAIP por apoyar programas como estos y seguir fomentando la ciencia en los jóvenes, lo que creo es lo mejor para el desarrollo de un país.

REFERENCIAS

- [1] Nouredine Barka, Samir Qourzal, Ali Assabbane, Yhya Ait-ichou. Abderrahman Nounah, Hinda Lachheb and Ammar Houas (2010). Solar Photocatalytic Degradation of Textile Dyes On Dynamic Pilot Plant Using Supported TiO₂. The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 35, Number 2A, pp. 131-137.
- [2] Garcés Giraldo, Luis Fernando; Rodríguez Restrepo, Alejandra, (2004). Evaluación de la fotodegradación sensibilizada con TiO₂ Y Fe³⁺ para aguas coloreadas. Revista Lasallista de Investigación, vol. 1, núm. 2, pp. 54-60.
- [3] Julio César Morales Mejía y Rafael Almanza Salgado (2012). Fotocatálisis Heterogénea Solar: Aplicación de Películas Gruesas de TiO₂ en la eliminación de Contaminantes emergentes en Agua. Memoria 36 Semana Nacional de Energía Solar. ANES. Cuernavaca, Mor. 1-5 de octubre de 2012. pp. 315-319. ISBN: 978-607-95019-5-2.
- [4] Tinoco Gómez, Oscar Rafael; Medina Escudero, Ana María; Zapata Gamarra, Hernán (2011). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. Industrial Data, vol. 14, núm. 2, julio-diciembre, pp. 9-15.
- [5] Castro-Peña, L.; Durán-Herrera, J. (2013). Degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles mediante procesos de oxidación avanzada. Tecnología en Marcha. Vol. 27, N° 2. Pág 40-50.
- [6] Luis F. Garcés Giraldo. (2011). Fotodegradación de aguas residuales coloreadas analizadas mediante las superficies de respuesta. Producción + Limpia. Vol.6, No.1, pp- 50-65.
- [7] Rosa L. Tafoya Rivera, Martín T. Martínez G. (2016), Estudio de la geometría del Colector Solar para la remoción Fotocatalítica de Colorantes Orgánicos. Vol. 2, No 1, Verano de la Investigación Científica, pp. 531-535.