

Evaluación fotocatalítica del TiO₂ impregnado con B en la degradación de colorantes: Maxilon Blue y Rojo Congo

OSORIO-VELÁZQUEZ, Rosa Selene†*, RANGEL-CASTILLO, Jorge Alfonso, RAMOS-GALVÁN, Claudia Esmeralda y GARCÍA-ALAMILLA, Ricardo

Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Iro. Mayo S/N, Col. Los Mangos

Recibido 5 de Abril, 2017; Aceptado 18 de Junio, 2017

Resumen

Actualmente la industria textil juega un papel importante en el desarrollo de la vida humana, por esto se debe tomar en cuenta la contaminación generada por estas industrias, ya que los colorantes textiles tienen una gran persistencia en el ambiente, y los métodos de eliminación clásicos no son útiles debido a que se podrían generar productos secundarios altamente tóxicos. Como resultado las Tecnologías Avanzadas de Oxidación (TAO's) han sido propuestas como una alternativa para la descontaminación y remediación de los efluentes líquidos de dichas industrias. Las TAO's consisten básicamente en la formación de radicales hidroxilo altamente oxidantes, que contribuyen a la mineralización total de los compuestos contaminantes presentes en los efluentes industriales. Entre los procesos más utilizados se encuentra la fotocatalisis heterogénea que consiste en la aceleración de una fotorreacción mediante el uso de un catalizador. La cual es el objeto de estudio del presente trabajo para la degradación de dos colorantes distintos, rojo congo y maxilon blue, utilizando dióxido de titanio puro (TiO₂), elaborado mediante la técnica sol-gel, como catalizador en presencia de luz ultravioleta.

Fotocatalisis, Degradación, Colorantes textiles

Abstract

At present the textile industry plays an important role in the development of human life, for this reason the pollution generated in this industry must be taken into account, since the textile dyes have a great persistence in the environment, and the classic elimination methods do not are useful because highly toxic by-products could be generated. As a result, the Advanced Oxidation Technologies (AOT's) have been proposed as an alternative for the decontamination and remediation of the liquid effluents of these industries. The AOT's consist basically in the formation of highly oxidizing hydroxyl radicals, which contribute to the total mineralization of the pollutants present in industrial effluents. Among the most used processes is heterogeneous photocatalysis, which consists of the acceleration of a photoreaction through the use of a catalyst. This is the object of the present work, for the degradation of two different dyes, red congo and maxilon blue, using pure titanium dioxide (TiO₂), prepared by the sol-gel technique, as a catalyst in the presence of ultraviolet light.

Photocatalysis, Degradation, textile dyes

Citación: OSORIO-VELÁZQUEZ, Rosa Selene, RANGEL-CASTILLO, Jorge Alfonso, RAMOS-GALVÁN, Claudia Esmeralda y GARCÍA-ALAMILLA, Ricardo. Evaluación fotocatalítica del TiO₂ impregnado con B en la degradación de colorantes: Maxilon Blue y Rojo Congo. Revista de Operaciones Tecnológicas 2017. 1-2:21-26

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: cesmeralda@hotmail.com

Introducción

Actualmente la industria textil juega un papel muy importante en el desarrollo de la vida humana, ya que se encarga de cubrir y solventar las necesidades de vestimenta de un número de individuos que se encuentra en aumento constante.

La cantidad de agua empleada varía en forma considerable, dependiendo el proceso específico y del equipamiento utilizado por la planta. En general, las corrientes de agua de descarga provienen principalmente del desengomado (15 %), descruce y mercerizado (20 %) y del blanqueo, teñido y lavado (65 %).

Los colorantes textiles tienen gran persistencia en el ambiente, y los métodos de eliminación clásicos no son útiles debido a que oxidaciones o reducciones parciales pueden generar productos secundarios altamente tóxicos. La fuerte coloración que imparten a los medios de descarga puede llegar a suprimir los procesos fotosintéticos en los cursos de agua, por lo que su presencia debe ser controlada^[1].

La fotocatalisis heterogénea es, a diferencia de la mayoría de los procesos fotoquímicos, no selectiva y puede utilizarse para tratar mezclas complejas de contaminantes. La oxidación fotocatalítica consiste en la destrucción de los contaminantes mediante el empleo de radiación solar, ultravioleta y catalizadores con el objeto de formar radicales hidroxilo, los cuales posteriormente tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos.

En el caso de la fotocatalisis heterogénea, se emplean semiconductores (sólidos en suspensión acuosa o gaseosa). Existen múltiples de estos fotosensibilizadores tales como:

ZnO, Fe₂O₃ y TiO₂. Sin embargo, el más ampliamente usado en aplicaciones fotocatalíticas es el dióxido de titanio, ya que presenta una mayor actividad fotocatalítica, no es tóxico, es estable en soluciones acuosas y no es costoso, habiéndose evaluado diferentes estructuras del mismo^[3,4].

Materiales y métodos

Preparación del catalizador TiO₂

El dióxido de titanio utilizado se preparó por el método de sol-gel. Primeramente, se pesó una cantidad de alcoxido (Isopropóxido de Titanio (IV), 97% Aldrich), previamente calculada, dentro de una cámara con atmosfera inerte de N₂; se mezcló con tres cuartas partes del peso total del alcohol (2-Propanol, Fermont) dentro de un reactor de 4 bocas. La mezcla alcohol-alcoxido se mantuvo a una temperatura de 65 °C y con agitación constante durante una hora. Posteriormente, se añadió gota a gota una solución que contenía el alcohol restante y la cantidad de agua destilada calculada para llevar a cabo la hidrolisis. Se dejó reposar la solución hasta alcanzar temperatura ambiente y se dejó añejando por 48 horas.

Una vez finalizadas las 48 horas de añejamiento, se procedió a filtrar al vacío el polvo que se obtuvo. Habiendo filtrado la solución, el polvo resultante es secado en una estufa a 90 °C durante 24 horas, posteriormente se coloca una cantidad uniforme de polvo dentro de canoas de porcelana y se introducen en una mufla programable para su calcinación, durante 6 horas a 500 °C, con una rampa de 3 °C por minuto. Finalmente, se pesa y se guarda el dióxido de titanio puro obtenido para su posterior uso.

Actividad fotocatalítica

Para estudiar la actividad fotocatalítica del dióxido de titanio sintetizado se llevaron a cabo varias reacciones, con los colorantes, dentro de un reactor fotocatalítico, el cual comprende una caja de madera con un recubrimiento interno de espejos, al cual se le introduce una lámpara de luz ultravioleta.

En cada una de las reacciones se fue variando la concentración de colorante, para el rojo congo se manejaron concentraciones de 20, 40, 60 y 80 ppm mientras que para el maxilon blue se utilizaron 8, 13, 15 y 18 ppm, manteniendo siempre una misma cantidad de catalizador (400 mg). Se tomaron alícuotas justo después de que la solución estuviera 30 min en completa obscuridad dentro del reactor, esto con el fin de permitir que ocurra equilibrio de adsorción antes de iniciar la reacción, de la misma manera se tomaron alícuotas a los tiempos de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 180 y 210 minutos tras haber encendido la lámpara ultravioleta.

Curva de calibrado

Para darle seguimiento a las variaciones en la concentración se realiza la curva de calibración de cada colorante, preparando una solución patrón de concentración conocida con la cual se procede a realizar varias disoluciones. Una vez listas las muestras, se analizan en un espectrofotómetro UV-Vis y se obtienen los valores de absorbancia correspondientes, los cuales grafican contra la concentración que les corresponde y aplicando una regresión lineal se obtiene la ecuación con la que podemos conocer la concentración a cualquier tiempo de la reacción.

Discusion de resultados

Actividad fotocatalítica

La figura 1 muestra una comparación del perfil de las degradaciones del colorante textil Rojo Congo realizadas con TiO_2 y su respectiva concentración de colorante; en ella se observa que durante los primeros 30 min, en todas las reacciones la concentración disminuye lo cual se atribuye al fenómeno conocido como adsorción, que se lleva a cabo en la superficie del material catalítico. Está presenta un porcentaje de adsorción del 87.89% durante la primera reacción y va disminuyendo conforme aumenta la concentración del colorante resultando, con un valor de 31.91% al utilizar 80 ppm del rojo Congo.

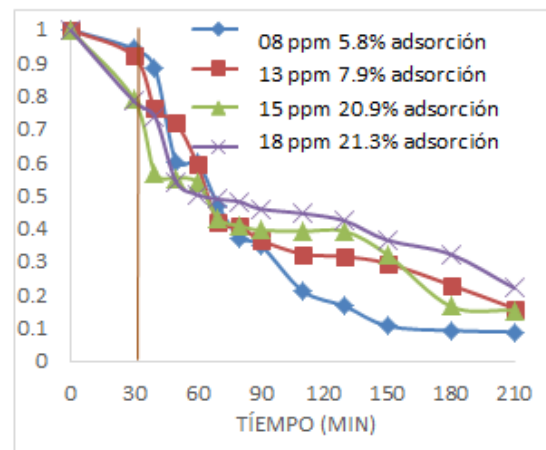


Figura 1 Perfil de degradación del colorante textil Rojo Congo con TiO_2 a diferentes concentraciones.

La figura 2 muestra una comparación del perfil de las degradaciones del colorante textil Maxilon Blue: se observa que la adsorción del colorante en el catalizador durante los 30 minutos en obscuridad varía según la concentración utilizada, siendo esta mayor en la degradación a 18 ppm alcanzando un 21% y la menor a 8 ppm con un 5%; existe una tendencia en donde la adsorción aumenta proporcionalmente a la concentración del colorante.

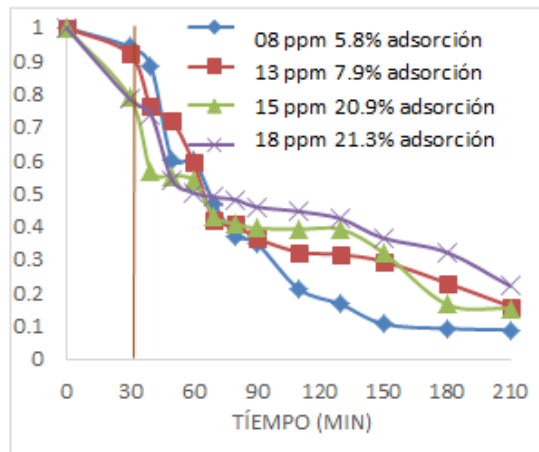


Figura 2 Perfil de degradación del colorante textil Maxilon Blue con TiO_2 a diferentes concentraciones.

Por otro lado, se puede notar que en el tiempo de reacción de 210 minutos no se alcanza el 100% de degradación en ninguno de los casos; sin embargo, en todos ellos se logra un mínimo del 70% y al minuto 70 se logra degradar más del 50% del colorante.

Cinética de las reacciones

La cinética química es la encargada del estudio de la velocidad a la que se lleva a cabo una reacción y el orden de la misma. La cinética que siguieron las reacciones de degradación del colorante textil Rojo Congo de 40, 60 y 80 ppm, respectivamente y de la misma forma las reacciones a concentraciones de 8, 13, 15 y 18 del colorante textil Maxilon Blue. El comportamiento cinético de las siete reacciones se asemeja a un pseudo primer orden y cuyos valores de correlación lineal oscilan entre el 94 y 99% lo cual proporciona una alta confiabilidad. Estos resultados coinciden con los reportados por Huescas C., José Aurelio [2].

Espectrometría infrarroja

El espectro de absorción FTIR del precursor $\text{Ti}(\text{OH})_4$ (Figura 3) muestra una fuerte banda de absorción en la región de 3200 a 3600cm^{-1} ; esta señal es característica del grupo OH tanto estructurales como agua adsorbida físicamente en el material; por otro lado, la señal a 1600cm^{-1} confirma la existencia del grupo OH del agua adsorbida, la señal entre 400 y 900cm^{-1} identifica los enlaces característicos de la unión M-O, en este caso el Ti-O el cual corresponde al TiO_2 .

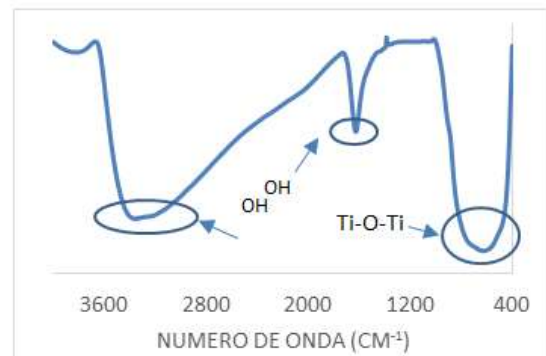


Figura 3 Espectro de absorción IR del $\text{Ti}(\text{OH})_4$.

En la figura 4 se muestra el espectro de absorción FTIR del TiO_2 puro; se puede observar una amplia banda de absorción IR en la región de 3200 a 3600cm^{-1} la cual es característica del grupo OH, se atribuye la misma a la calcinación del precursor. Por otro lado, la señal a 1600cm^{-1} confirma la existencia del grupo OH del agua adsorbida, la señal entre 400 y 900cm^{-1} identifica los enlaces característicos de la unión M-O, en este caso el Ti-O el cual corresponde al TiO_2 .

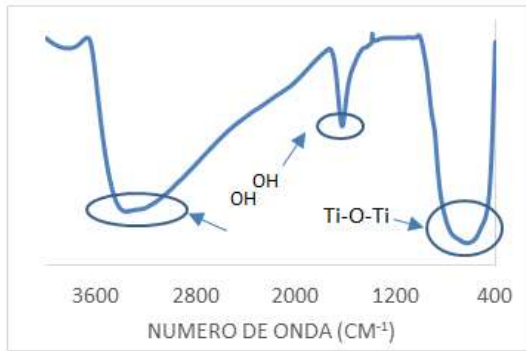


Figura 4 Espectro de absorción IR del TiO₂.

El espectro de absorción FTIR del catalizador después del dopaje 3% en B (Figura 5), muestra una fuerte banda de absorción en la región de 2000 a 3600 cm⁻¹; esta señal es característica del grupo OH tanto estructurales como agua adsorbida físicamente en el material. En esta misma región, se observa otra fuerte banda que es característica del grupo B-O; por otro lado, la señal a 1600 cm⁻¹ confirma la existencia del grupo OH del agua adsorbida. También en la región de 1200 a 1600 cm⁻¹ se rectifica la existencia del grupo B-O, que corrobora el dopaje exitoso del catalizador; la señal entre 400 y 900 cm⁻¹ identifica los enlaces característicos de la unión M-O, en este caso el Ti-O el cual corresponde al TiO₂.

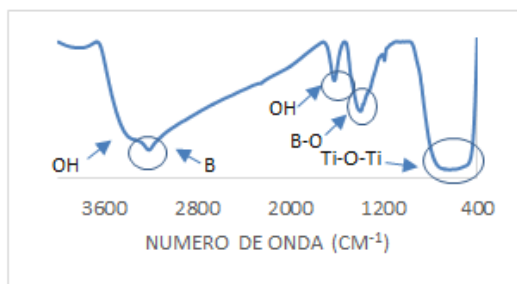


Figura 5 Espectro de absorción IR del TiO₂/B.

En la figura 6 se muestra el espectro de absorción FTIR del catalizador (TiO₂) recuperado de la reacción de degradación del colorante Maxilon Blue; se observa una fuerte banda de absorción IR en la región de 2000 a 3600 cm⁻¹, esta señal es característica del grupo OH tanto estructurales como agua adsorbida físicamente en el material; por otro lado, la señal entre 400 y 900 cm⁻¹ identifica los enlaces característicos de la unión M-O, en este caso el Ti-O el cual corresponde al TiO₂, también la señal a 1600 cm⁻¹ confirma la existencia del grupo OH del agua adsorbida.

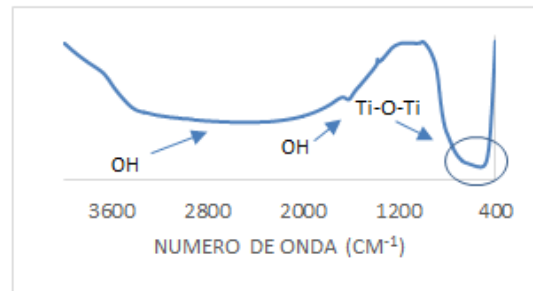


Figura 6 Espectro de absorción IR del TiO₂ recuperado de la degradación del colorante Maxilon Blue.

En la figura 7 se puede observar una banda en la región de 3200 a 3600 cm⁻¹, que indica la presencia de grupos OH estructurados y de agua adsorbida físicamente, también presenta una señal a los 1600 cm⁻¹ la que identifica los grupos OH de agua adsorbida; de igual manera la banda que se encuentra entre los 400 y 900 cm⁻¹ indica los enlaces Ti-O, que corresponden al TiO₂.

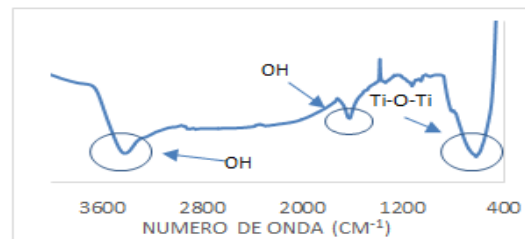


Figura 7 Espectro de absorción IR del TiO₂ recuperado de la degradación del colorante Rojo Congo

Conclusiones

La síntesis del TiO_2 y TiO_2/B (3% en peso B) fueron exitosas, se realizaron análisis de espectroscopia de absorción IR para corroborar la presencia de ambos materiales mostrándose en estos una fuerte banda entre 400 y 900 cm^{-1} que identifica los enlaces característicos de la unión Ti-O-Ti y también en la región de 1200 a 1600 cm^{-1} se rectifica la existencia del grupo B-O que corrobora el dopaje exitoso del catalizador en el caso del TiO_2/B (3% en peso B).

Las reacciones realizadas con ambos materiales arrojaron buenos resultados generando degradaciones arriba del 50% de los colorantes textiles utilizados, sin embargo en el caso del colorante Rojo congo se mostro una mayor efectividad de degradacion en comparacion con el Maxilon Blue

Garcés Giraldo, Luis Fernando. Mejía Franco, Edwin Alejandro. Santamaría Arango, Jorge Julián. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación – Vol. 1 N° 1. 83-91. 2012

Referencias

D. Mansillo, Héctor. Lizama, Cristian. Gutarra, Abel y Rodríguez Juan. Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil. Texto colectivo elaborado por la red CYTED VIII-G. Ed. CIEMAT. España. 2001.

Huesca Cruz, José Aurelio. Reyes Lugo, Juan Clemente. Tesis de licenciatura. Cinética de degradación de colorantes en medio acuoso. Universidad Veracruzana. Facultad de ciencias químicas. Poza Rica, 2014.

Garcés Giraldo, Luis f. Rodríguez Restrepo, Alejandra. Evaluación de la fotodegradación sensibilizada con TiO_2 y Fe^{3+} para aguas coloreadas. Revista lasallista de investigación – Vol. 1 N°2. 55. 2012.