

COMPARACIÓN DE UN PROCESO SOLAR DE OXIDACIÓN AVANZADA DE DIÓXIDO DE TITANIO EN MICRO Y NANO ESCALA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UN COLORANTE COMERCIAL PARA ROPA

Muñoz González Raúl Gilberto (1) ; Nicasio Tovar Diego Armando (2)

1 ENMS Centro Histórico León, Universidad de Guanajuato | raulgil1999@hotmail.com

2 ENMS Centro Histórico León, Colegio de Nivel Medio Superior, Universidad de Guanajuato | diegonicasio@gmail.com

Resumen

Los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs) son procesos físico-químicos para el tratamiento de los contaminantes, ya sea para aire o agua, y se caracterizan por la utilización de radicales altamente reactivos. Dentro de los POAs se encuentra la fotocatalisis heterogénea en la que se da la formación de radicales altamente reactivos. El proceso con TiO_2 es eficaz debido a la formación del radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$). La utilización de la nanotecnología obtiene mejores resultados en bastantes aplicaciones, una de ellas es el tratamiento de agua residual. Para un agua residual textil con una DQO de 3540 mg/L, se hicieron 18 experimentos de tratamiento en donde se varió el pH en valores de: 4, 6 y 8, la cantidad de TiO_2 : 50, 80 y 100 mg/L y el tamaño de partícula del TiO_2 . Después de 2 h de experimentación, los resultados del porcentaje de remoción de DQO se encuentran en un rango entre el 75% y 80%. Bajo estas condiciones los experimentos son eficaces y las variaciones en el pH, la cantidad de incidencia solar, la cantidad de catalizador y el tamaño de partícula no son significativos en el porcentaje de remoción de DQO.

Abstract

Advanced Oxidation Processes (AOPs) are physicochemical processes for treating contaminants, either air or water, either air or water, and are characterized by the use of highly reactive radicals. In the (AOPs) is heterogeneous photocatalysis in which the formation of highly reactive radicals is given. The process TiO_2 is effective due to the formation of the hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$), thanks to its absorption property. The use of nanotechnology promotes better results in many applications, one wastewater treatment. For a textile wastewater with a COD of 3540 mg / L, 3 tests were done with pH of 4, 6 and 8, with 3 amounts of TiO_2 : 50, 80 and 100 mg / L to micro and nano-scale. The results of the COD removal rate are in a range between 75% and 80%. So it is concluded that under these experimental conditions variations in pH, the amount of solar incidence, the amount of catalyst and the particle size are not significant in the percentage of COD removal.

Palabras clave:

Fotocatálisis; Luz solar; POAs; Nanotecnología.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 002 de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) vigente a partir de 1996, las aguas residuales se definen como: “aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas” [1].

Para evaluar la calidad del agua existen parámetros propuestos por la NOM 002 SEMARNAT 1996, como lo son “oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad, turbidez, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), alcalinidad, acidez, dureza, sólido sedimentables, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, nitrógeno total, fósforo total, grasas y aceites” [1].

La industria textil es considerada como una de las industrias con mayor generación de contaminantes en aguas, debido a que en la fabricación de los diferentes productos textiles en donde se llevan operaciones como: lavado, lanzado, estirado, acabado, teñido, entre otros. Debido a estas operaciones la industria textil genera agua residual con compuestos como fenoles, sulfuros, cromo y colorantes [2]. Dentro de la planta, la etapa de teñido es la que produce la mayor contaminación [3], tanto por los volúmenes relativos de descarga como por su contenido tóxico. Los colorantes son sustancias orgánicas, muy difíciles de degradar, debido a que contiene anillos aromáticos y grupos funcionales complejos [4].

Existen distintos procesos para el tratamiento de aguas residuales, entre los cuales se distinguen procesos químicos, físicos y biológicos. Los procesos biológicos son aquellos procesos donde se involucra el uso de microorganismos, para la remoción de contaminantes. Las ventajas de estos procesos, es que son poco costosos, y la desventaja principal, es que es un proceso lento debido a la interacción de los microorganismos. Por su parte los procesos físico-químicos, son tecnologías convencionales de tratamiento primario y/o terciario cuyo fin es mejorar algunas

características del efluente; Una de sus desventajas es que son más costosos que los procesos biológicos, pero son más rápidos, debido a que involucran la generación y el uso de especies transitorias altamente reactivas [5]

Dentro de los procesos fisicoquímicos se puede encontrar los Procesos de Oxidación Avanzada o bien, POAs, que se caracterizan en la utilización de radicales altamente reactivos en los cuales se encuentran la Ozonación, Procesos Fentón, Fotocatálisis Heterogénea, entre otros. En la Fotocatálisis Heterogénea, se encuentra la utilización de dióxido de titanio, y peróxido de hidrogeno que se caracterizan por el producción del radical hidroxilo ($\cdot OH$) el cual permite una alta efectividad para la oxidación de la materia orgánica [3]. La fotocatalisis hace referencia a una reacción catalítica que involucra la absorción de luz por parte de un compuesto químico, en este caso, el TiO_2 .

Las ventajas que posee el TiO_2 son su estabilidad y bajo costo. El TiO_2 , en contacto con el agua forma un proceso conocido como la hidroxilación; en éste, si la energía del fotón que incide sobre un semiconductor es mayor que su ancho de banda prohibida, ocurre una absorción. Lo anterior, permite que cuando se irradian partículas de TiO_2 con fotones de energía igual o mayor a su ancho de banda, es posible promover electrones desde la banda de valencia hasta la de conducción, generándose pares electrón-hueco en el óxido, los cuales pueden migrar hacia la superficie. Los huecos generados por la radiación oxidan a las especies $Ti^{IV} OH$ formando radicales $Ti^{IV} -OH$ que degradan directamente al compuesto orgánico. [3]. Lo anterior se puede observar en la Imagen 1.

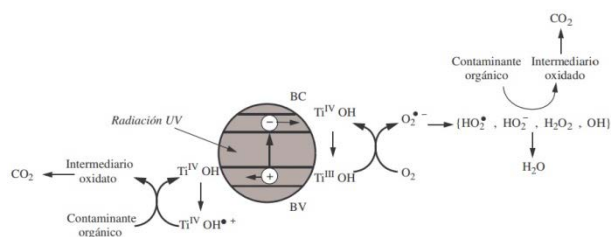


IMAGEN 1: Proceso general para la mineralización fotooxidativa de contaminantes orgánica con nanopartículas de dióxido de titanio. [6].

El uso de nanomateriales es una de las tecnologías emergentes más aplicadas en la industria, incluyendo a los procesos de tratamiento de agua residual. Su efectividad se debe al aumento de la superficie, lo que provoca que se tenga un mayor número de átomos y/o moléculas en ella y aumenta la reactividad de los compuestos [7].

Otra de las tendencias en la industria y la investigación, es el uso de recursos naturales renovables y/o de flujo. Uno de estos recursos es la energía solar. El sol es una fuente de luz natural, que emite radiaciones electromagnéticas de distintos tipos como: Rayos Gamma, Rayos Ultravioleta Rayos X, Rayos Infrarrojos, Luz visible y Microondas. [8]. Utilizando la luz solar se obtiene una mayor radiación electromagnética, en una sola fuente, sin necesidad de energía eléctrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron dos reactores con capacidad de 3 L (un reactor para micropartículas y el otro para nanopartículas), donde se colocó una bomba de agua con una capacidad máxima de flujo de 400 L/h. Los reactores se expusieron a la luz solar (la cual varió durante la experimentación). En los reactores se introdujo 1 L de agua residual textil. Se tomó una muestra inicial de agua y durante cada experimento se tomó una muestra cada 30 min.

Se realizaron 3 pruebas distintas de pH; pH de 4, 6 y 8. Cada prueba se realizó con 3 cantidades de TiO₂ (50, 80 y 100 mg/L); a micro y nano escala, haciendo un total de 18 experimentos. Para un pH de 4 se adicionó 3,0 ml de HCl 2 N; para un pH de 6 se adicionó 1,5 ml de HCl 2 N; y para un pH de 8 se adicionó 3 ml de NaOH 2 N.

Después se ajustó el pH se agregó la cantidad de TiO₂ respectiva a cada experimento y se agitó durante 2 min para una buena dispersión del compuesto. Posteriormente se agregaron 5 ml/L de peróxido de hidrogeno al 30 % (H₂O₂).

Las muestras tomadas cada media hora de los reactores se centrifugaron durante 5 minutos en una centrifuga Hamilton Bell, modelo VanGuard V6500. El Sobrenadante se refrigeró a 4 °C para conservarlo hasta el día del análisis de DQO.

Se midió la DQO del agua textil y de la muestra final de cada experimento, utilizando el método 8000 de la marca HACH y se utilizó un espectrofotómetro Hach modelo DR 5000. La remoción de cada experimento se calculó siguiendo la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{DQO_{\text{inicial}} - DQO_{\text{final}}}{DQO_{\text{inicial}}} * 100$$

Se seleccionaron las muestras del experimento que presentó una menor coloración y se midió la DQO. Se realizó un análisis de varianza con una p < 5 % de las muestras a los diferentes pH y a las diferentes concentraciones de TiO₂.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir de la ecuación de la remoción de DQO se presentan en la Imagen 2. Con base en el análisis de varianza, se puede afirmar que no hay una diferencia estadísticamente significativa en cuanto al pH y la cantidad de TiO₂. Esto último apoya el argumento de que las reacciones son eficaces incluso si existen pequeñas cantidades de catalizador en el sistema.

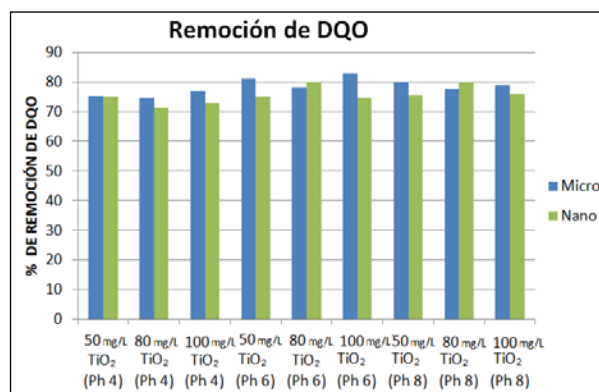


IMAGEN 2: Comparación de los porcentajes de remoción en micro y nano escala del resultado final de cada muestra.

Las muestras de los 18 experimentos mostraron diferente color, sin embargo, el porcentaje de remoción de DQO está en el mismo rango. Lo que indica que no necesariamente la remoción de color es proporcional a la remoción de DQO, es decir,

no se puede afirmar que a menor color, mayor remoción de DQO.

El experimento de 80 mg/L de TiO_2 a pH de 6 fue el que presentó una mayor remoción de color. Los resultados se muestran en la Imagen 3. En ellos se observa una variación en los valores del porcentaje de la remoción de DQO.

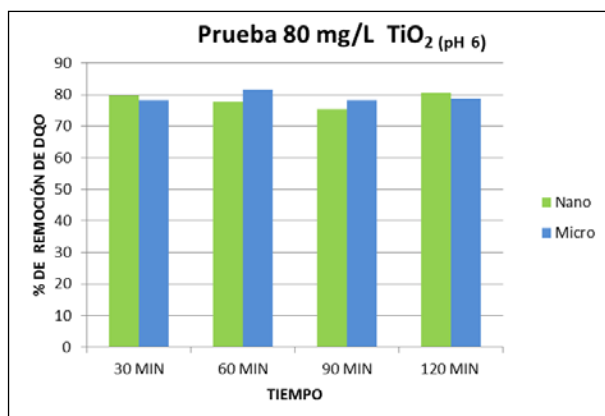


IMAGEN 3: Comparación de los porcentajes de remoción en micro y nano escala de la prueba con 80 mg/L de TiO_2 .

La variación en el porcentaje de remoción se puede atribuir a que la reacción es por radicales, los cuales forman compuestos más sencillos y también forman compuesto más complejos. Los cambios durante el tiempo de experimentación sugieren que la reacción se estabiliza hasta después de 2 h.

CONCLUSIONES

Los procesos de fotocatalisis heterogénea con TiO_2 , en luz solar son eficientes en la tecnología tradicional y la nanotecnología, debido a la buena interacción del catalizador, en ambos procesos.

Bajo estas condiciones de experimentación. Las variaciones en el pH, la cantidad de incidencia solar y la cantidad de catalizador no son significativas en el porcentaje de remoción de DQO, quedando los 18 experimentos en un rango de remoción entre 75% y 80%. Esto debido a que las pruebas fueron realizadas en un horario entre 8:00 y 18:00 hrs, con diferentes pH y cantidades de catalizador.

AGRADECIMIENTOS

A la Directora de la ENMS Centro Histórico León, Maestra María Eugenia Ibarra Rodríguez por estar al pendiente de las necesidades, o dificultades que se presentaron en el transcurso de la estancia.

Al Dr. Germán Cuevas Rodríguez que de manera cordial, nos brindó las herramientas e instalaciones necesarias, para las pruebas de DQO.

A la Maestra María Gutiérrez González, encargada del laboratorio de la ENMS CHL por la flexibilidad, en cuanto al uso de los materiales e instalaciones.

A mi familia por el constante apoyo que me brindaron en cuanto a gastos, etc.

Y por último a la Universidad de Guanajuato, gracias a la institución y a todas las personas organizadoras que nos permiten a los alumnos de Nivel Medio Superior introducirnos en el mundo de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] SEMARNAT, "NOM-002- SEMARNAT 1996", Diario Oficial de la Federación, México, 1996.
- [2] Garcés Giraldo, L. Mejía Franco, E., la fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista la sallista de investigación, Vol. 1, 83-92.
- [3] Tuesta, E. (2004). Aplicaciones electrocromáticas y fotocatalíticas del dióxido de titanio. REVCUNI, 8, 21-45.
- [4] Clavijo Penagos, J. (2013, 03). Sobre las reacciones de eliminación de compuestos contaminantes de aguas por fotocatalisis con TiO_2/uv : caso azul de metileno. Revista Elementos, Número 3, 149-156.
- [4] Tchobanoglous, G. (2003). Wasterwater Engineering Treatment an Reuse (4a edición ed.). Mc Graw Hill.
- [5] A. Linsebigier, G. Lu and J. T. Yates, Photocatalysis on TiO_2 Surfaces, Chemical Reviews, 95, 735-758, (1995).
- [6] Cornejo, L. (2015). La Revolución Nanotecnológica. Recuperado el 13 de 04 de 2016, de <http://nuevatecnologiasymateriales.com/el-porque-las-diferentes-propiedades-de-las-nano-particulas/>
- [7] González, Tipos de radiaciones del sol. Recuperado el 12 de 04 de 2016, de <http://www.astrociencia.com/2012/02/08/tipos-radiaciones-del-sol/>