

Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar

Luis Fernando Garcés Giraldo¹ y Gustavo Antonio Peñuela Mesa²

Waste water treatment of a textile industry with collector solar

Tratamento das águas residuais de uma indústria têxtil utilizando recolhedor solar

Resumen

Introducción. La descontaminación solar de aguas residuales con colorantes utilizados en la industria textil, por medio de fotosensibilizadores, evitará que a los recursos hídricos lleguen compuestos orgánicos como es el caso de algunos colorantes; esto permitirá que las plantas de potabilización capten aguas de más fácil tratamiento, y la fauna y flora acuática corran menos peligro de extinción. Este tratamiento es una tecnología limpia porque aprovecha la energía solar que no es contaminante, se usan fotosensibilizadores no contaminantes y no se originan subproductos tóxicos y lodos ya que los compuestos orgánicos se mineralizan. Además los fotosensibilizadores se pueden recuperar y reutilizar nuevamente. **Objetivo.** Tratar aguas residuales de la industria textil. **Materiales y métodos.** Se utilizó un colector solar cilindro parabólico compuesto. Con base en los resultados obtenidos en la investigación de la degradación del colorante naranja reactivo 84, se seleccionaron las mejores condiciones de degradación y mineralización de dicha investigación para ser aplicada a un agua residual real de una industria de teñido de tejidos de punto que contuvieran este colorante. **Resultados.** Las mejores condiciones las obtenidas con los ensayos AM3 (77,77%) donde se utilizó: 80 mg/L de TiO₂, 3 mL H₂O₂/L y Aire. El porcentaje de mineralización fue de 56,29%; siendo este el mayor obtenido en s ensayos con el agua residual y fue bajo estas mismas condiciones. **Conclusión.** Se realizaron seis experimentos con sus tres réplicas cada uno. Se trabajó con tres lotes de aguas residuales, los cuales contenían diferentes colorantes, aunque en to-

dos ellos naranja reactivo 84. Se obtuvieron buenos porcentajes de disminución del color a 604 nm.

Palabras clave: Colector solar. Agua residual textil. Luz solar. Dióxido de titanio. degradación.

Abstract

Introduction. Solar decontamination of waste waters with dye used in textile industries, by the use of photosensibilators, will avoid the arrival of organic compounds to hydric resources, as it happens with some dyes. This will also allows that potabilization plants are able to capture waters that are easier to treat, and to lower the extinction risk for aquatic plants and animals. This treatment is a clean technology because it uses solar energy, which does not contaminate, uses not polluting photosensibilators and does not generate toxic sub products or mud because organic compounds have a mineralization process. Besides, photosensibilators can be recovered and reused. **Objective.** To treat waste water from textile industries. **Material and methods.** A cylindrical parabolic composed solar collector was used. Based on the results obtained in the research of degradation of reactive orange 84 dye, the best conditions were chosen for degradation and mineralization from that research in order to apply them to a waste water from a tricots dyeing industry containing that colorant. **Results.** The best conditions were those obtained with the AM3 (77,77%) rehearsals, were we used 80 mg/L of TiO₂, 3 mL H₂O₂/L and air. The mineralization percentage was 66, 29%, and this was the maximum obtained in the rehearsals with waste water

¹ Ingeniero Sanitario. Especialista en Ingeniería Ambiental. Magíster en Ingeniería Ambiental. Director grupo de investigación GAMA. Decano Facultad de Ingenierías. Corporación Universitaria Lasallista.

² Químico. PhD. en Química Ambiental. Director del grupo de Diagnóstico y Control de la Contaminación. Profesor Universidad de Antioquia.

Correspondencia: Luis Fernando Garcés Giraldo. e-mail: lugarces@lasallista.edu.co

Fecha de recibo: 06/02/2007; fecha de aprobación: 16/11/2007

and it was under these same conditions. **Conclusion.** Six experiments were made with three replicas for each one. We worked with three waste water lots, containing different colorants, though there were reactive orange 84 in all of them. We got good percentages of color decrease at 604 nm.

Key words: Solar collector, textile wastewater, sun light, titanium dioxide, degradation.

Resumo

Introdução. A descontaminação solar de águas residuais com corantes utilizados na indústria têxtil, por meio de fotos-sensibilizadores, evitará que os recursos hídricos cheguem compostos orgânicos como é o caso de alguns corantes; isto permitirá que as plantas de potabilização captem águas a mais fácil tratamento, e a fauna e flora aquática corra menos perigo de extinção. Este tratamento é uma tecnologia limpa porque aproveita a energia solar que não é contaminante, usam-se fotos-sensibilizadores não contaminantes e não se originam subprodutos tóxicos e lodos já que os compostos orgânicos se min-

eralizam. Ademais os fotos-sensibilizadores se podem recuperar e reutilizar novamente. **Objetivo.** Tratar águas residuais da indústria têxtil. **Materiais e métodos.** Utilizou-se um recolhedor solar cilindro parabólico composto. Com base nos resultados obtidos na pesquisa da degradação do corante laranja reativo 84, selecionaram-se as melhores condições de degradação e mineralização de dita investigação para ser aplicada a uma água residual real de uma indústria de tingido de tecidos de ponto que contivessem este corante. **Resultados.** MELHOREM-LAS condições as obtidas com os ensaios AM3 (77,77%) onde se utilizou: 80 mg/L de TiO₂, 3 ML H₂O₂/L e Ar. A percentagem de mineralização foi de 56,29%; sendo este o maior obtido nos ensaios com a água residual e foi sob estas mesmas condições. Conclusão. Realizaram-se seis experimentos com suas três réplicas cada um. Trabalhou-se com três lotes de águas residuais, os quais continham diferentes corantes, ainda que em todos eles, laranja reativo 84. Obtiveram-se boas porcentagens de diminuição da cor a 604 nm.

Palavras chaves: Recolhedor solar. Água residual têxtil. Luz solar. Dióxido de titânio. Degradação.

Introducción

El sector textil forma parte de una cadena productiva altamente compleja que incluye producción agrícola, comercialización de fibras naturales y fibras sintéticas, industria textil, confección y comercialización; etapas de una actividad fuertemente eslabonada. En Colombia existen dos polos de desarrollo textil: Medellín, donde se ubica las grandes industrias pertenecientes a sociedades anónimas, Bogotá, D.C., donde se encuentran empresas en su mayoría sociedades limitadas, de carácter familiar e intensivas en el uso de fibras sintéticas y en tejido de punto. La industria manufacturera Colombiana produce alrededor de 750.000 m² de productos textiles cada año¹.

La fabricación de los diferentes productos textiles se lleva a cabo a partir de proceso como limpiado, lanzado, estirado, acabado, teñido, entre otros. Debido a estos procesos la industria textil genera agua residual conteniendo fenoles, sulfuros, cromo y colorantes. Estos últimos son uno de los contaminantes que llama la atención, por el color y debido a que algunos son de difícil degradación^{2,3}.

El sector textil se puede considerar de alto impacto ambiental, y de acuerdo a la clasificación creada por CINSET, se puede catalogar como de "Alta Significación Ambiental **ASA**", siendo el impacto más negativo en los efluentes líquidos¹.

El tratamiento de aguas residuales industriales, puede ser un problema complejo, debido a la gran variedad de compuestos y niveles de concentración posibles. Los avances en investigaciones acerca del efecto de ciertos contaminantes, normas ambientales más estrictas, y factores económicos, han generado nuevas tecnologías. Con el uso de nuevos sistemas de tratamiento, en algunas industrias se han dejado prácticas como el almacenamiento de desechos y el confinamiento, que desde el punto de vista de preservación del medio ambiente y protección de la salud humana no son de ninguna manera recomendable. Los métodos más deseables para tratar efluentes acuosos son aquellos capaces de mineralizar los contaminantes residuales o transformarlos en materiales inocuos al hombre y a la naturaleza a un bajo costo.

Existen diversos métodos usados industrialmente para eliminar materia orgánica de efluentes acuo-

sos, algunos de los cuales se valen de agentes oxidantes para la degradación, otros requieren de materiales adsorbentes y existen algunos que utilizan la degradación biológica. Los sistemas de tratamiento presentan diferentes características que determinan su conveniencia en el tratamiento de efluentes acuosos. La degradación biológica puede no ser factible en casos en los que existen compuestos persistentes a la degradación biológica, y para aquellos en los que su toxicidad se presenta a muy bajas concentraciones (a niveles de subpartes por millón)⁴.

Con el uso de permanganato de potasio se destruyen los contaminantes, pero se introducen nuevos elementos, además de que se requiere mucho tiempo para la degradación. La utilización de cloro provoca la formación de compuestos organoclorados, como los halometanos que pudieran resultar más perjudiciales que los compuestos originales. El proceso Zimmerman y la ozonólisis consumen mucha energía. La adsorción con carbón activado, resinas poliméricas y la desorción con aire son económicamente factibles, sin embargo, en cierto modo no terminan del todo con el problema principal de la contaminación al pasar los compuestos contaminantes de una fase a otra. El problema de la destrucción eficiente de contaminantes orgánicos ha llevado al desarrollo de los llamados procesos avanzados de oxidación. Estos permiten en ocasiones destruir completamente los contaminantes orgánicos, "mineralizándolos", al realizarse reacciones hasta convertirlos en CO₂ y H₂O. Otras veces producen compuestos "más deseables" que los compuestos originales (como ácidos minerales diluidos), dependiendo del tipo de molécula a tratar⁴.

Los procesos avanzados de oxidación permiten destruir una gran variedad de compuestos tóxicos y peligrosos aun en bajas concentraciones, que son persistentes a la degradación natural. Estos procesos se han venido desarrollando desde la década pasada y han probado ser efectivos en la destrucción de muchos contaminantes orgánicos. De los procesos avanzados de oxidación, dos tecnologías foto-oxidativas son prometedoras en el tratamiento de aguas residuales: la fotocatálisis heterogénea medida por semiconductores y la fotosensibilización con ion férrico o ion ferroso⁴.

Existe una aplicación de la energía solar, que ha despertado el interés de investigadores, sobre

todo a partir de los 80. Se trata del empleo de la energía solar para la eliminación de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de un fotocatalizador adecuado. Este sistema permite aprovechar directamente la energía solar que llega a la superficie terrestre para provocar una serie de reacciones químicas (Redox) que dan lugar a la eliminación de los compuestos orgánicos en las aguas de vertidos urbanos, industriales y agrícolas, y cambiar el estado de oxidación de los metales pesados de tal forma que pasa de estar disuelto a una forma insoluble.

El proceso de destoxificación solar mediante fotocatálisis consiste en la utilización de la parte más energética del espectro solar, como es la radiación ultravioleta, para promover una reacción de oxidación muy enérgica. Esta reacción tiene lugar cuando dicha radiación ultravioleta activa un catalizador semiconductor en presencia de oxígeno. En estas circunstancias, cualquier otra sustancia (tóxica o no) que se encuentre simultáneamente en el mismo medio es sometida a un proceso enérgico de oxidación⁵.

Materiales y métodos

Se utilizó un colector solar como se muestra en la foto 1. Con base en los resultados obtenidos en la investigación de la degradación del colorante naranja reactivo 84, se seleccionaron las mejores condiciones de degradación y mineralización de dicha investigación para ser aplicada a un agua residual real de una industria de teñido de tejidos de punto que contuvieran este colo-

Foto 1. Colector solar con ensayo de agua residual industrial textil



rante mezclado con otros de acuerdo con la muestra seleccionada; esto dependió de los colorantes utilizados en el proceso de producción del día en que se tomó la muestra. Los ensayos realizados se muestran en la tabla 1.

Los ensayos fueron realizados por triplicado y se tomaron tres muestras de aguas para el análisis de la degradación, cada cuatro horas, la primera a las cero horas, la segunda a las cuatro horas y la tercera a las ocho horas.

Tabla 1. Ensayos realizados al agua residual industrial de una empresa textil

Experimento	Concentración de TiO ₂ (mg/L)	Concentración H ₂ O ₂ (mL/L)	Aireación
AM1	40	2,0	No
AM2	80	3,0	No
AM3	80	3,0	Si
AM4	40	2,0	No
AM5	80	3,0	No
AM6	80	3,0	Si

Se hicieron ensayos con tres lotes de agua residual. El primer lote corresponde a los ensayos AM1 y AM3, el segundo son los ensayos AM4, AM5 y AM6, y el tercero es el AM2. Cada lote de agua residual pertenece a muestreos en que se usaron diferentes colorantes, de acuerdo con la producción de la industria textil.

En todos los lotes de agua residual se tenía naranja reactivo 84. El seguimiento de la degradación de los colorantes del agua residual, corresponde a los que absorben a 604 nm. En cambio con la DQO, el seguimiento en la fotocatalisis del agua residual fue la desaparición de todos los compuestos oxidables, entre los cuales están todos los colorantes.

Experimentos AM1 y AM3. La muestra contenía los siguientes colorantes: Azul turquesa, Azul noactive F2B, Amarillo Hispasol, Rojizo Hispacrón, Naranja Reactivo 84, Rojo Hispasol HESX y Amarillo Hispasol HESX.

Experimentos AM2. El agua residual contenía los colorantes: Rojo Riactive DF-4BL, Azul Royal Reactivo ER, Marino Hispacrón ECO, Naranja Reactivo 84 y Rubina Novarrón PB.

Experimentos AM4, AM5 y AM. El agua residual estaba compuesta por los colorantes: Rojo Hispacrón, Azul Novacon, Amarillo Hispasol, Rojo Hispasol, Rojo Hispacrón, Negro Hispasol, Rojo Triactive y Naranja Reactivo 84

Resultados

En la tabla 2, se presentan los resultados para la disminución del color y la mineralización de cada uno de los experimentos realizados; para el ensayo AM6 no se pudo medir la DQO debido a que las muestras presentaban turbidez, la cual se formaba después de las dos horas de digestión de las muestras para este análisis.

Tabla 2. Resumen de resultados de disminución del color a 604 nm y mineralización en la fotocatalisis del agua residual industrial

Ensayo	% de disminución del color	% mineralización (DQO en mg/L)
AM1	70,17	21,08
AM2	51,71	12,74
AM3	77,77	56,29
AM4	47,45	27,22
AM5	59,29	28,72
AM6	43,72	---

Cada lote de agua residual corresponde a muestreos en que se usaron diferentes colorantes, de acuerdo con la producción de la industria. En todos los lotes de agua residual se tenía Naranja Reactivo 84, el cual tiene su máximo de absorción de radiación a 510 nm.

Sin embargo, en los ensayos de fotocatalisis del agua residual no se hizo a 510 nm, debido a que no hubo una disminución del color a esta longitud de onda y por esto se hizo a 604 nm, donde se aprecia claramente la disminución del color; por lo tanto el seguimiento de la degradación de los colorantes del agua residual, corresponde a los que absorben a esta longitud de onda.

En cambio con la DQO, el seguimiento en la fotocatalisis del agua residual fue la desaparición de todos los compuestos oxidables, entre los cuales están todos los colorantes.

Para los ensayos AM1 (40 mg/L de TiO_2 y 2 mL de H_2O_2 /L) y AM3(80 mg/L de TiO_2 y 3 mL de H_2O_2 /L y Aire), se observa que los porcentajes de disminución del color respectivamente son: 70,17% y 77,77%, siendo más eficiente el tratamiento utilizado en el ensayo AM3.

En cuanto a la mineralización, medida por la variación de la DQO, los porcentajes respectivos son: 21,08% y 56,29%, obteniéndose también el mayor porcentaje de mineralización en el ensayo AM3. Existe una concordancia en estos resultados ya que en la medida en que se obtuvo mayor disminución del color a 604 nm, también se obtuvo mayor porcentaje de mineralización. Por lo tanto, comparando AM1 y AM3 se notó el efecto del incremento de TiO_2 y del H_2O_2 .

Para el ensayo AM2 (80 mg/L de TiO_2 y 3 mL de H_2O_2 /L) se obtuvo una disminución del color del 51,71% y una mineralización del 12,74%. Aun cuando, está claro que son aguas residuales de diferente composición a las de los ensayos AM1 y AM3; si se comparan los resultados de disminución del color y disminución de la DQO de estos dos ensayos con los de AM2, se tiene que con este último ensayo fue más difícil la degradación y la mineralización, a pesar de tener una mayor cantidad de dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno que el ensayo AM1 e igual cantidad de dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno que el ensayo AM3, con adición de aire.

Se observa en los ensayos AM4 (40 mg/L de TiO_2 y 2 mL de H_2O_2 /L), AM5 (80 mg/L de TiO_2 y 3 mL de H_2O_2 /L) y AM6 (80 mg/L de TiO_2 y 3 mL de H_2O_2 /L + Aire), que los porcentajes de disminución del color respectivamente son: 47,45% 59,29% y 43,72%, siendo más eficiente el tratamiento utilizado en el ensayo AM5, en cuanto a remoción del color. Para la mineralización, los porcentajes respectivos son: 27,22% (AM4) y 28,72% (AM5); la DQO del ensayo AM6 no se pudo medir, dando el mejor porcentaje de mineralización el ensayo AM5. Existe una concordancia en estos resultados ya que en la medida en que se obtuvo mayor disminución del color también se obtuvo mayor porcentaje de mineralización. Para esta característica de agua residual el mejor ensayo se obtuvo con las condiciones experimentales del AM5, lo cual corrobora que el incremento de TiO_2 y H_2O_2 fa-

vorece el aumento del porcentaje de disminución del color y de mineralización.

Es interesante comparar los tratamientos en los cuales se utilizaron iguales cantidades de H_2O_2 , TiO_2 y Aire (tabla 1); es claro que la composición del agua residual industrial es diferente como ya se había explicado anteriormente.

Comparando AM1 y AM4 (Fotos 4,5 y 6), estas muestras de agua tienen en común los colorantes: Amarillo Hispasol HESX, Rojo Hispacron, Rojo Hispasol HESX y Naranja Reactivo 84. (Fotos 2 y 3)

La muestra AM1 además contiene los colorantes: azul turqueza y azul noactive F2B; la muestra AM4 contiene además los colorantes: azul novacon, negro hispasol y rojo triactive DF-4BL. Los porcentajes de degradación respectivamente fueron: 70,17 y 47,45%, con el mismo tratamiento (40 mg/L TiO_2 y 2 mL/L H_2O_2). Los porcentajes de mineralización fueron: 21,08 y 27,22% respectivamente. Entre los dos ensayos hubo una disminución del color de 22,72%, esto puede deberse a que la muestra AM4 contenía colorantes más oscuros y por lo tanto dificulta la disminución del color. (Fotos 7 y 8)

Si comparamos los ensayos para agua residual industrial AM2 (Fotos 9 y 10) y AM5 (Fotos 11, 12 y 13), estas muestras de agua tienen en común los colorantes: Rojo Triactive DF-4BL y Naranja Reactivo 84. En la muestra AM1 además de los anteriores los colorantes, contiene: Azul Royal Reactivo ER, Marino Hispacrón ECO, Rubina Novarrón PB; la muestra AM5 contiene además los colorantes: Rojo Hispacrón, Azul Novacón, Amarillo Hispasol, Rojo Hispacron y Negro Hispasol. Los porcentajes de degradación respectivamente fueron: 51,71 y 59,29%, con el mismo tratamiento (80 mg/L TiO_2 y 30 mL/L H_2O_2).

Los porcentajes de mineralización fueron: 12,74 y 28,72% respectivamente. Entre los dos ensayos hubo una disminución del color de 7,58% del AM2 con respecto al AM5, que no es tan significativo, esto puede deberse a la muestra AM5 era más oscura y por lo tanto hubo menos disminución del color.

Foto 2. Disminución del color para el agua residual industrial del ensayo AM1R1

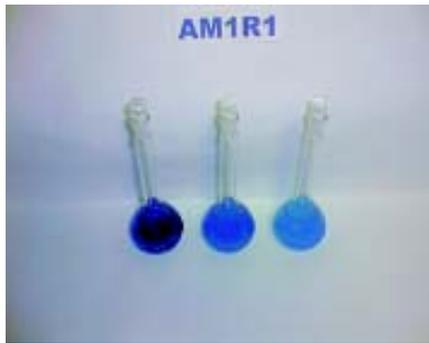


Foto 3. Disminución del color para el agua residual industrial del ensayo AM1R2



Foto 4. Disminución del color para el agua residual del ensayo AM4R1



Foto 5. Disminución del color para el agua residual del ensayo AM4R2



Foto 6. Disminución del color para el agua residual del ensayo AM4R3



Foto 7. Colorantes utilizados para los ensayos AM4, AM5 Y AM6



Foto 8. Agua residual de color negro. Mezcla de colorantes: Negro Hispasol y Rojo Triactive



Foto 9. Disminución del color para el agua residual industrial ensayo AM2R1



Foto 10. Disminución del color para el agua residual industrial del ensayo AM2R2



Foto 11. Disminución del color para el agua residual del ensayo AM5R1



Foto 12. Disminución del color para el agua residual del ensayo AM5R2



Foto 13. Disminución del color para el agua residual del ensayo AM5R3



Foto 14. Disminución del color para el agua residual industrial ensayo AM3R2



Foto 15. Disminución del color para el agua residual industrial ensayo AM3R3



Foto 16. Disminución del color para el agua residual del ensayo AM6R1



Foto 17. Disminución del color para el agua residual del ensayo AM6R2



Comparando los ensayos AM3 (Fotos 14 y 15) y AM6 (Fotos 16 y 17), estas muestras de agua tienen en común los colorantes: Amarillo Hispasol HESX, Rojo Hispacrón, Rojo Hispasol Hesx y Naranja Reactivo 84. La muestra AM3 además contiene los colorantes: Azul Turqueza y Azul Noactive F2B; la muestra AM6 contiene además los colorantes: Azul Novacón, Negro Hispasol y Rojo Triactive DF-4BL. Los porcentajes de degradación respectivamente fueron: 77,77 y 43,72%, con el mismo tratamiento (80 mg/L TiO₂, 30 mL/L H₂O₂ y aire). Los porcentajes de mineralización fueron: 56,29 y para el ensayo AM6 no fue posible la lectura. Entre los dos ensayos hubo una disminución del color de 34,05%, esto puede deberse a que la muestra AM6 contenía colorantes más oscuros (Fotos 7 y 8) y dificultar la disminución del color.

Discusión

En este estudio en que se investigó un agua residual industrial coloreada se encontraron adecuados porcentajes de disminución del color a 604 nm, siendo las mejores condiciones las obtenidas con los ensayos AM3 (77,77%) donde se utilizó: 80 mg/L de TiO₂, 3 mL H₂O₂/L y aire. El porcentaje de mineralización fue de 56,29%; siendo este el mayor obtenido en los ensayos con el agua residual y fue bajo estas mismas condiciones.

Es de anotar que esta mismo ensayo fue por realizado por Garcés y Peñuela (2005)² para la degradación del Naranja Reactivo 84, dando un porcentaje de degradación del 81,85% y de mineralización del 52,77%; siendo muy similares los resultados obtenidos en ambas investigaciones.

Conclusiones

La fotocatalisis con dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno como agente oxidante utilizando colector solar, es un proceso altamente atractivo para el tratamiento de aguas residuales que provienen de la industria textil, aún cuando las muestras que se utilizaron contenían diferentes colorantes mezclados que hubiesen podido dificultar el tratamiento.

Referencias

1. COLOMBIA. DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, DAMA. Textiles: Planes de acción para mejoramiento ambiental. Santafé de Bogotá: DAMA, 1990. 74 p.
2. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando. Fotocatalisis con TiO₂ de los colorantes azul de metileno y naranja reactivo 84 utilizando colector solar. Medellín, agosto 2003; 208 h. Tesis de maestría. Universidad de Antioquia. Facultad de ingeniería.
3. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando y PEÑUELA Mesa, Gustavo Antonio. Cinética de degradación y mineralización del colorante naranja reactivo 84 en aguas. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol. 2, No. 2 (jul. 2005); p. 21-25.
4. QUEZADA, Maribel y BUITRON, Germán. Biodegradación aerobia de colorantes tipo azo (rojo ácido 151). México : AIDIS. Consolidación para el desarrollo, 1996. p.1-4.
5. HOYOS V., Olga E. y ALVAREZ, E. Propuesta para la prevención y reducción de contaminantes a las aguas residuales en una planta de teñido de hilos e hilazas. Medellín : SENA, 1999.