

Análisis de la remoción de colorante en agua, aplicando destilación solar

Chávez Sánchez Sandra*, Terres Peña Hilario, Lizardi Ramos Arturo, López Callejas Raymundo,
Araceli Lara Valdivia, Vaca Mier Mabel

Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Energía. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

*Autor para correspondencia: scs@azc.uam.mx

Recibido:
28/febrero/2020

Aceptado:
11/diciembre/2020

Palabras clave:
Destilación solar,
alcohol,
radiación solar

Keywords:
Solar still,
alcohol,
solar radiation

RESUMEN

En este trabajo, se analiza el proceso de destilación solar de agua con los colorantes Rojo 28, Rojo 81, Azul 21, Azul 198 y Negro, para los cuales se realizaron pruebas experimentales, empleando un destilador solar tipo caseta, en el cual se obtuvieron mediciones de temperatura y radiación solar, así mismo se recolectaron muestras de destilado al inicio, a la mitad de la prueba y al finalizar la misma, para analizar pH, turbidez, y absorptividad mediante espectrofotometría. Los resultados de laboratorio indican que el pH fue de 5 en promedio para cada prueba, por otra parte, la turbidez se redujo en un 70% alcanzando 0.7 NTU en promedio y finalmente, la concentración de colorante al finalizar las pruebas fue de 1.4×10^{-3} mol/L, 1.5×10^{-3} mol/L, 9.3×10^{-4} mol/L, 7.7×10^{-4} mol/L y 1×10^{-3} mol/L para: Rojo 28, Rojo 81, Azul 21, Azul 198 y Negro B5 respectivamente, lo cual indica que la presencia de colorante en cada destilados se removió en un 99%.

ABSTRACT

In this work, the process of solar water distillation is analyzed with the Red 28, Red 81, Blue 21, Blue 198 and Black dyes, for which experimental tests were performed, using a solar still, in which temperature and solar radiation measurements were obtained, likewise, distillate samples were collected at the beginning, at the middle of the test and at the end of the test, to analyze pH, turbidity, and absorptivity by spectrophotometry. The laboratory results indicate that the pH was 5 on average for each test, on the other hand the turbidity was reduced by 70% reaching 0.7 NTU on average and finally the dye concentration at the end of the tests was 1.4×10^{-3} mol/L, 1.5×10^{-3} mol/L, 9.3×10^{-4} mol/L, 7.7×10^{-4} mol/L and 1×10^{-3} mol/L for: Red 28, Red 81, Blue 21, Blue 198 and Black B5 respectively, which indicates that the presence of dye in each distillates was removed by 99%.

Introducción

La energía solar es definida como la energía radiante producida por el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio. No obstante, la radiación solar puede ser empleada en una gran variedad de procesos industriales que demanden energía térmica tales como la generación de vapor, lavado, secado, destilación y pasteurización, (Estrada y Samperio, 2010), así la energía solar es una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales, las cuales tienen una composición variada, por ejemplo: sustancias químicas disueltas o sólidos suspendidos en distintas concentraciones. Estas son provenientes de las descargas de uso público urbano, doméstico, industrial, comercial, etc. Si este tipo de aguas son vertidas sin tratamiento, se ocasiona la contaminación de los cuerpos de agua superficiales. Se cree que a nivel mundial entre 85 y 95% del agua residual se descarga directamente a los ríos, lagos y océanos sin recibir tratamiento previo (CONAGUA 2016), y más de diez mil diferentes tipos de pigmentos y colorantes sintéticos son usados en diferentes industrias como la textil, papelera, cosmética y farmacéutica, entre otras. Muchas actividades industriales liberan grandes cantidades de efluentes contaminados con colorantes al ambiente. La principal fuente emisora de colorantes es la industria textil (Anjaneyulu et al., 2005; Días et al., 2007).

Existen métodos que se utilizan en el tratamiento de aguas residuales con colorantes que pueden aplicarse de manera eficiente y se encuentran disponibles comercialmente. Algunas tecnologías son altamente específicas y con costos elevados, por lo que no se aplican para una amplia variedad de colorantes y no resuelven totalmente el problema de la decoloración, (Kuhad et al., 2004; Anjaneyulu et al., 2005). Algunos de los métodos efectivos que se han usado para remover colorantes son la adsorción, transformación química, incineración, ozonación y fotocatalisis, aunque estas tecnologías resultan costosas (De Moraes et al., 2000). Los sistemas biológicos aplicados a la degradación de colorantes se consideran como una alternativa menos costosa y menos agresiva con el ambiente.

Así, el uso de energías renovables como lo es la energía solar es una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales, a continuación, se muestran algunas aportaciones sobre investigaciones en el tema.

Garcés y Peñuela (2007), utilizaron un colector solar cilíndrico parabólico compuesto para la investigación de la degradación del colorante naranja reactivo 84, seleccionaron las mejores condiciones de degradación y mineralización de dicha investigación para ser aplicada en agua residual real de una industria de teñido de

tejidos de punto que contuvieran este colorante. Encontraron que las concentraciones óptimas para la degradación del colorante naranja reactivo 84 en una concentración de 340 mg/L son: 40 mg/L de dióxido de titanio y 2ml/L de peróxido de hidrógeno sin inyección de aire, a través del proceso de Fenton y Foto-Fenton, el colorante se oxida con una combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso (reactivo Fenton), en condiciones ácidas. El agente responsable de la oxidación es el radical hidroxilo, el cual es muy reactivo; que se forma por la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno en un medio ácido. Los radicales hidroxilo oxidan el tinte, y el compuesto formado se precipita con el ion férrico y compuestos orgánicos.

Garcés et al. (2015) utilizan el dióxido de titanio (TiO_2) como fotocatalizador, en la degradación de colorante aplicando un colector solar cilindro parabólico, en el cual realizaron pruebas experimentales durante 8 horas, haciendo un análisis de color cada hora una vez iniciada la prueba. Como resultados encontraron que la mejor concentración de TiO_2 es de 100 mg/L y 2% de H_2O_2 , obteniendo un porcentaje de degradación del colorante de aproximadamente el 98%. Por otro lado, Blanco (2009), estudió el efluente textil por los procesos de Fenton ($Fe(II)/H_2O$), Foto-Fenton ($UV/Fe(II)/H_2O_2$) y la combinación de proceso biológico con Fenton, este último resultó ser el más adecuado ya que se obtuvo la máxima reducción de DQO con un 85.6% y un 92.2% en la eliminación de COT. El análisis de la influencia de las variables permitió obtener las condiciones de operación más favorables para todos los casos, tanto desde el punto de vista técnico económico como ambiental, en base a la eficacia final del tratamiento y a la calidad del efluente tratado.

Peláez (2013), estudió y analizó el tratamiento de adsorción, la utilización de desechos vegetales, ya sea directamente como adsorbentes o como precursores para la preparación de carbones activados, disminuyendo la generación de residuos sólidos y encontró que la remoción del color de los efluentes textiles es posible mediante la utilización de adsorbentes naturales, preparados a partir de residuos abundantes y de fácil adquisición en la región donde se ubican las fábricas textiles interesadas en la aplicación de un método eficiente y económico para el tratamiento de sus efluentes.

La evaluación de la calidad del agua se realiza conforme a la normatividad mexicana y los parámetros a evaluar están contemplados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, para descargas en cuerpos nacionales, para las aguas residuales que se descargan en el alcantarillado los parámetros a evaluar están contemplados en la NOM-002-SEMARNAT-1996.

En la presente investigación se evaluaron los siguientes parámetros: Volumen destilado, turbidez y absorbancia en la región visible, se evaluaron solamente estos parámetros considerando el uso que se le da al agua residual estudiada.

Metodología

En este trabajo, se emplea el destilador solar más sencillo que consiste en un recipiente cerrado con una cubierta transparente de vidrio de 3 mm de espesor y un ángulo de inclinación de 40°, el cual permite el paso de la radiación solar. En el interior de la zona del destilador se encuentra un recipiente absorbedor (charola) de aluminio pintado de negro mate, donde se deposita el fluido a destilar (agua residual textil), con un área de 0.36 m², la capacidad máxima para este prototipo a destilar es de 20 L.

El recipiente absorbedor es colocado en una base de vidrio de 6 mm, entre las paredes del recipiente absorbedor y del soporte de vidrio de 6 mm, se tienen 4 canaletas de vidrio de 3 mm con un ángulo de inclinación de 5° aproximadamente, de tal manera que el condensado que se adhiere a cada una de las paredes de la cubierta de vidrio sea recolectado en las canaletas, en la base del soporte de vidrio de 6 mm, se tienen dos barrenos en contra esquina con un diámetro de 9 mm, donde se coloca una manguera de plástico para la recolección de agua destilada, Figura 1.

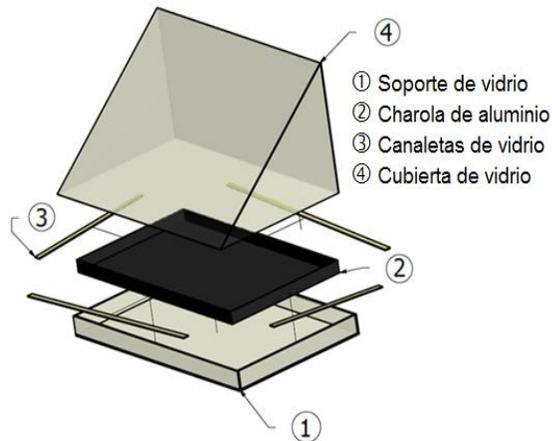


Figura 1. Destilador solar tipo caseta.

El agua residual textil, proveniente del proceso de tintura que se lleva a cabo en las materias del área de Textiles y Acabados de la Escuela Superior de Ingeniería Textil (ESIT) del IPN, es colocada en la charola de aluminio, posteriormente se coloca la cubierta de vidrio y es

sellado con silicón para evitar fugas de vapor, la radiación solar incide en el dispositivo y atraviesa la superficie transparente, generándose el efecto invernadero al tiempo que también retiene la humedad. La radiación solar en contacto con el recipiente negro eleva la temperatura del recipiente, del agua en su interior y del aire favoreciendo la evaporación. De esta manera en el interior del destilador se crea una atmósfera muy cálida y saturada de humedad. El vapor de agua asciende por convección natural hasta tocar con la superficie transparente, que por estar en contacto con el exterior está a una temperatura más fría que el resto del destilador. En esta superficie se condensa el agua formando pequeñas gotas y conforme continúa el proceso y van aumentando de tamaño, se deslizan por gravedad hacia un recipiente donde se recoge el agua destilada. Mientras dure la radiación solar y exista agua que destilar el proceso se mantiene.

El destilador solar fue instrumentado mediante módulos ADAM, que sumado a una interface en LabView, se logran registrar las temperaturas con termopares tipo K y la radiación solar con un piranómetro Eppley modelo 8-48, cada 10 minutos en un intervalo de tiempo de 10:00 a 18:00 hrs, conjuntamente se midió el volumen destilado con ayuda de probetas graduadas. En la Figura 2, se muestra la ubicación de los termopares tipo K.

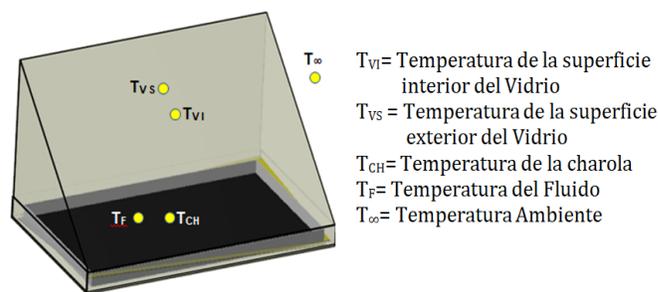


Figura 2. Ubicación de termopares.

Una vista esquemática de la experimentación es mostrada en la Figura 3, donde el destilador solar es colocado y ubicado hacia el sur, esto con la finalidad de aprovechar la máxima energía y radiación del sol durante la experimentación.

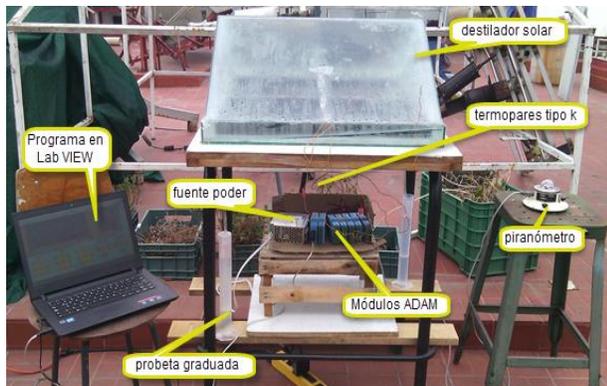


Figura 3. Destilador solar y equipo de instrumentación.

Se llevó a cabo la destilación de 5 muestras de agua residual, las cuales contenían 3 L de los colorantes: Rojo 28, Rojo 81, Azul 21, Azul 198 y Negro B5, para las cuales se realizó la medición del pH, para determinar la concentración de los iones de hidrógeno (+H) en el agua, cuanto mayor sea la concentración de los iones de hidrógeno en el agua, menor será el valor del pH. Por ejemplo, la norma 127-SSA1-1994, marca como límite máximo permisible para el agua potable entre 6.5 y 8.5.

Debido a que la presencia de partículas en suspensión ocasiona menos transparencia, se realizó un estudio de turbidez, cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez y menor será la calidad del agua, también se analizaron sus propiedades espectrofotométricas, midiendo la absorbancia (A) en la región visible y la longitud de onda máxima (MAX), para poder calcular la absorptividad molar, debido a que este es el parámetro que permite medir la cantidad de colorante presente en la muestra a analizar.

Resultados y discusión

Los resultados que se obtuvieron experimentalmente, en el proceso de destilación solar de colorantes, son mostrados en la figura 4 y 5.

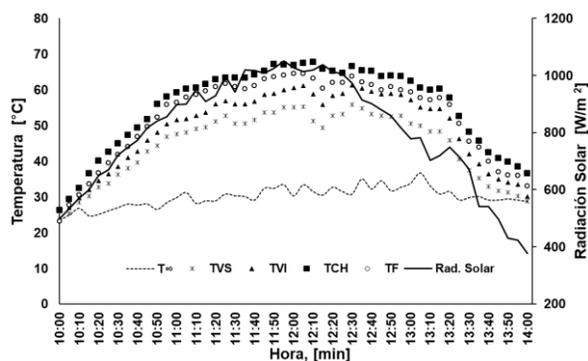


Figura 4. Distribución de temperaturas y radiación solar para la prueba con colorante Azul 21.

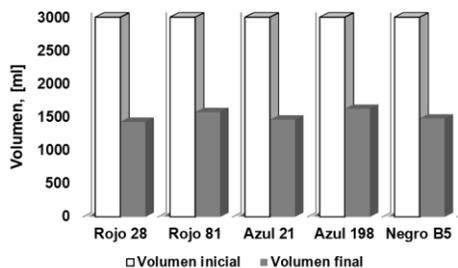


Figura 5. Volumen destilado.

En la Figura 4, se observan las diferentes temperaturas y radiación incidente que se midieron por medio del programa LabVIEW, cabe mencionar que para las pruebas experimentales con color Rojo 28, Rojo 81, Azul 198 y Negro B5, tienen el mismo comportamiento, conforme va transcurriendo el tiempo va aumentando la radiación solar y a su vez la temperatura, alcanzando los máximos de 12:00 a 15:00 hrs después de esa hora la radiación y temperatura van disminuyendo, también en todas las pruebas la temperatura más alta es en la charola y la temperatura más baja es en la superficie interior del vidrio, esto es debido a que el material con el que está fabricado el contenedor absorbedor es aluminio y además está pintado de un color negro mate, lo que permite que la mayor cantidad de radiación sea absorbida, por otro lado, la superficie del vidrio al estar expuesto a la intemperie provoca que haya una mayor pérdida de calor. Se observa también que hay ciertas variaciones en las temperaturas y esto es debido a que la radiación emitida cada 10 minutos es distinta. Por ende, el volumen destilado para cada prueba es diferente, tal y como se muestra en la Figura 5, donde se observa que se lograron recuperar 1428 ml, 1574 ml, 1461 ml, 1624 ml y 1478 ml, para las pruebas con colorante Rojo 28, Rojo 81, Azul 21, Azul 198 y Negro B5 respectivamente, lo que corresponde a un 50% del volumen inicial.

Por otra parte, al volumen destilado de cada prueba se le midió el pH con un potenciómetro Conductronic PC18 previamente calibrado y la turbidez con un Turbidímetro HANNA. Tabla 1.

Tabla 1. Turbidez y pH para cada colorante.

Colorante	10:00 hrs		14:00 hrs		18:00 hrs	
	Turbidez NTU	pH	Turbidez NTU	pH	Turbidez NTU	pH
Rojo 28	3.84	9.53	0.82	5.78	0.79	5.15
Rojo 81	1.47	7.82	0.79	5.2	0.7	4.2
Azul 21	2.61	9.21	0.97	5.89	0.79	5.26
Azul 198	3.05	8.79	1.07	5.39	0.75	5.13
Negro	1.65	8.63	0.61	5.9	0.5	5.13

Como se muestra en la Tabla 1, en general para todas las pruebas la turbidez se redujo en un 70%, alcanzando 0.7 NTU, sin importar el tipo de color presente en la muestra, en cuanto al pH, inicialmente las muestras tenían un pH ligeramente alcalino de 7.8 a 9.5, el cual conforme transcurrió la destilación se redujo en general hasta 5 siendo este ligeramente ácido.

Finalmente, En la Tabla 2, se muestran las propiedades espectrofotométricas más importantes obtenidas experimentalmente, de cada uno de los colorantes a partir de mediciones de absorbancia contra longitud de onda en la región visible del espectro electromagnético (de 400-700 nm), los valores de concentración (mol/L) y absorbancia máxima corresponden a los destilados, mientras que los datos de longitud de onda máxima y Épsilon (L/cm mol) pertenecen al agua de entrada.

Tabla 2. Propiedades de los colorantes.

Color	Concentración mol/L	Longitud de Onda Máxima	Absorbancia Máxima	Diámetro de la celda (cm)	Épsilon L/cm mol
Rojo 28	1.44E-03	560	2.00	1	1393.33
Rojo 81	1.48E-03	610	1.72	1	1164.06
Azul 21	9.26E-04	590	2.00	1	2159.07
Azul 198	7.66E-04	620	1.15	1	1499.22
Negro	1.01E-03	590	0.65	1	644.68

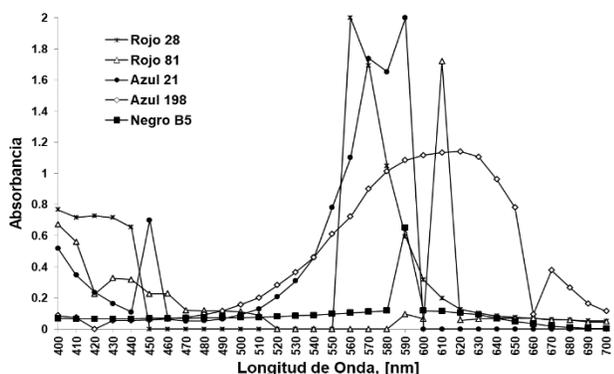


Figura 6. Absorbancia respecto a la longitud de onda para cada colorante.

En base a la Tabla 2 y la Figura 6 se observa que la absorbancia máxima es para el color Rojo 28, Azul 21 y Rojo 81, en una longitud de onda de 560, 590 y 610 nm respectivamente, el color Azul 198 registra una absorbancia máxima de 1.15 a 620 nm y el Negro B5 de 0.65 a 590 nm de longitud de onda. La absorptividad

depende de la concentración de moles que hay en un litro, es decir a mayor concentración, mayor es la absorbancia, por consiguiente, al tener mayor concentración el Azul 21 que el Negro B5, la absorbancia máxima de este último es menor. Además, en la Tabla 2, se observa la concentración final del destilado siendo este de 1.4×10^{-3} mol/L, 1.5×10^{-3} mol/L, 9.3×10^{-4} mol/L, 7.7×10^{-4} mol/L y 1×10^{-3} mol/L para: Rojo 28, Rojo 81, Azul 21, Azul 198 y Negro B5 respectivamente, lo cual indica que la presencia de colorante en cada destilado se removió en un 99%.

Conclusiones

El proceso de descontaminación del agua residual proveniente de la industria textil, haciendo uso de las energías renovables, es muy factible ya que, mediante esta técnica, se pueden recuperar volúmenes de agua limpia, dado que la eficiencia del destilador es del 50%, recuperándose 1.5 L de agua en promedio de los 3 L iniciales de muestra. Si el proceso de destilación solar se lleva a cabo en los meses más calurosos del año y en zonas donde las condiciones climatológicas sean propensas a temperaturas altas, los resultados obtenidos serán mejores, puesto que se tendrá mayor radiación lo que conlleva a obtener mayor volumen de destilado.

Es posible obtener agua tratada de una mejor calidad al hacer uso de la destilación solar en el tratamiento del agua residual, puesto que el colorante es removido en un 99%, lo que permite que ésta pueda reusarse en principio para satisfacer ciertas necesidades en la vida cotidiana, toda vez que los parámetros medidos en el agua tratada sean semejantes a los parámetros registrados en aguas superficiales, como son las aguas de: ríos y lagunas.

Referencias

- Anianeyulu Y. Sridhara Ch.N., Dasary S. (2005). Decolourization of Industrial Effluents-Available Methods and Emerging Technologies: A Review. *Environmental Science and Bio/Technology*, 4, 245-273.
- CONAGUA (2016). Estadísticas del Agua en México. Ciudad de México.
- Dias A.A., Sampaio A., Bezerra R.M., (2007). Environmental Applications of Fungal and Plant Systems: Decolourisation of Textile Wastewater and Related Dyestuffs, *Environmental Bioremediation Technologies*, 445-463.
- De Moraes S. G., Freire R. S., Duran N. (2000). Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation processes. *Chemosphere*, 40, 369-373.

Estrada C.G.A., Samperio I.J. (2010). Energías Alternas: Propuesta de Investigación y Desarrollo Tecnológico para México. Ed. Academia Mexicana de Ciencias.

Garcés G.L.F., Peñuela M.G.A. (2007). Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar. *Lasallista de investigación*, 4, 24-31

Garcés G.L.F., Hernández M.L., Peñuela G.A., Rodríguez R.A., Salazar P.J.A. (2015). Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis. *Lasallista de Investigación*, 2, 15-18.

Kuhad R.C., Sood N. Tripathi K.K., Singh A., Ward O.P. (2004). Developments in Microbial Methods for the Treatment of dye Effluents. *Advances in Applied Microbiology*, 56, 185-213.

Pelaéz C.A.A. (2013). Alternativas de solución para el tratamiento de efluentes textiles. *Academia de Ingeniería*, A.C., México.