

# REMOCIÓN DE COLORANTES TEXTILES EN DESCARGAS DE AGUA INDUSTRIAL POR ELECTROCOAGULACIÓN

Lilia Margarita Herrera Ibarra, Rafael Lucho Chigo, Luis Armando de la Peña Arellano, Alfredo Martínez Roldán y María Dolores Josefina Rodríguez Rosales

Maestría en Sistemas Ambientales/División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Durango. México.  
E-mail: liliahi\_92@hotmail.com, posgradosisamb@gmail.com, herrdelapena@gmail.com, ajmartinezroldan@gmail.com, mdjrr1958@gmail.com

## Introducción

La industria textil es de las mayores contaminantes en términos de volumen de descarga y características. La preparación de los colorantes y las operaciones de tinturado y acabado de las telas contribuyen a la complejidad total de los efluentes haciendo de estos efluentes muy difíciles de tratar. Debido al contenido de color de los efluentes se genera una interferencia del paso de luz en los cuerpos de agua receptores generando daños y disturbios en los procesos biológicos que ahí se presentan (Shore, 1995). Además, los efluentes de la industria textil contienen asistentes de teñido tales como (limpiadores, blanqueadores, ablandadores, ácidos, agentes anti incrustación, gran cantidad de sales, etc.), que son en la mayoría de sus casos agentes biológicos inhibidores, tóxicos o elementos refractantes lo que genera un impacto eco toxicológico importante en los cuerpos de agua receptores (Arslan-Alaton, 2003).

En la actualidad se ha comprobado que los procesos fisicoquímicos tales como la electrocoagulación son altamente eficientes para el tratamiento de este tipo de efluentes. La electrocoagulación es un proceso complejo con múltiples mecanismos operando sinérgicamente para remover contaminantes en el agua (Holt et al., 2002). El proceso se basa en la aplicación de una corriente eléctrica que genera coagulantes in situ, iones metálicos en el ánodo e hidroxilos en el cátodo, que al unirse se desestabilizan formando un precipitado capaz de arrastrar por adsorción o precipitación los contaminantes en solución y se caracteriza por una escasa producción de lodo, el nulo requerimiento de químicos y por su fácil operación. (Orozco & Castro, 2012).

## Metodología

Se evalúa el proceso de electrocoagulación para el tratamiento de un agua sintética preparada con los colorantes textil azul de metileno, amarillo reactivo 145 y negro reactivo 5. Se realizaron 80 experimentos (20 por cada colorante y 20 con una mezcla de los 3 colorantes) y las muestras fueron sometidas a tratamiento en un reactor rectangular de vidrio con un volumen de 2 l conectado a una fuente de poder (Figura 1). Se utilizaron como electrodos de sacrificio 2 placas de hierro con separación entre ellas de 1 cm y un área total de reacción de 465.6 cm<sup>2</sup>. La concentración de color, la conductividad y la densidad de corriente fueron seleccionadas como variables de operación en el proceso, para observar sus efectos en la remoción de color. Se prepararon soluciones con concentraciones de 25, 112.5 y 200 ppm y para controlar la conductividad se utilizó NaCl en concentraciones de 2, 3 y 4 g/l, equivalentes a conductividades de ≈3700, ≈5600 y ≈7200 μs/cm respectivamente. El amperaje al que se sometió el proceso fue de 4, 5 y 6 A, equivalentes a densidad de corriente de 85.91, 107.38 y 128.86 A/m<sup>2</sup> respectivamente.

Para la realización de los experimentos se colocó un volumen de 2 l de la muestra sintética con colorantes dentro del reactor y se comenzó a dejar fluir la corriente eléctrica durante un tiempo de 10 minutos, se tomaron alícuotas de 10 ml cada para realizarles la medición de absorbancia, las mediciones se realizaron en un espectrofotómetro de luz visible modelo HATCH DC/4000V.

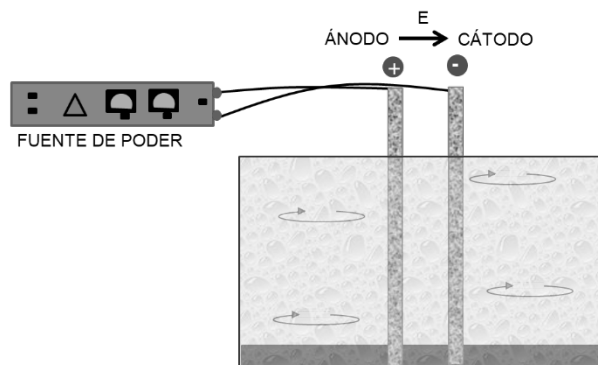


Figura 1.- Diagrama del sistema de tratamiento utilizado.

## Tiempo óptimo de reacción

Se realizaron curvas de relación entre el tiempo de reacción y el porcentaje de remoción de color en cada uno de los experimentos (Figura 2) y se obtuvo el tiempo óptimo de la reacción para cada uno de los colorantes estudiados.

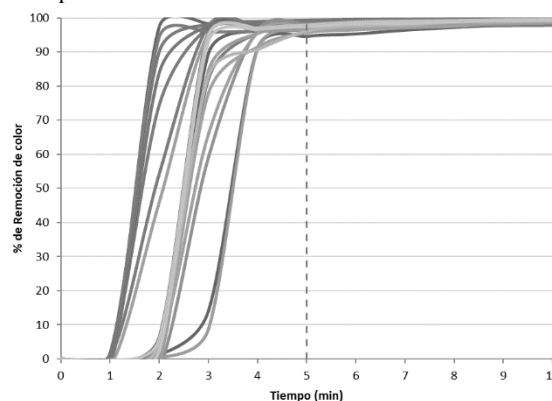


Figura 2.- Tiempo óptimo de reacción para azul de metileno.

## Cinética de electrocoagulación

Se supone que el proceso de electrocoagulación sufre una reacción de primer orden. Por lo tanto, la velocidad de reacción de un proceso de este tipo puede ser expresada haciendo un balance de masa diferencial en las especies reactivas (Ec. 1). Mediante integración se obtiene el modelo (Ec. 2) donde:  $C_0$  es la concentración inicial de colorante (ppm),  $C$  es la concentración al tiempo  $t$  (ppm),  $k$  es la constante de velocidad de primer orden (ppm/s),  $A$  es el área activa del ánodo (m<sup>2</sup>),  $t$  es el tiempo de electrolisis (s) y  $V_s$  es el volumen de la solución tratada (m<sup>3</sup>).

$$-V_s \frac{dC}{dt} = kAC \quad [1]$$

$$\ln \frac{C_0}{C} = \frac{kAt}{V_s} \quad [2]$$

## Optimización de variables

Siguiendo una cinética de reacción de primer orden y graficando el proceso presentado por  $\ln(\text{Co}/\text{C})$  (Ec. 2) contra el tiempo de reacción se analizan cada una de las variables de control a las cuales se trabajaron los experimentos y la optimización de las mismas, es decir, a qué nivel de cada una de las variables estudiadas se obtiene una máxima remoción del colorante.

## Masa de metal consumido en el proceso

Realizando un despeje en la fórmula de la Ley de Faraday se encuentra la ecuación para el cálculo de la masa de metal que se consume durante la electrocoagulación (Ec.3) donde:  $m$  es la masa del electrodo (g),  $i$  es la corriente eléctrica (A),  $t$  es el tiempo de electrólisis (s),  $M$  es el peso molecular específico del electrodo ( $\text{g mol}^{-1}$ ),  $n$  es el número de electrones involucrados en la reacción,  $V$  es el volumen de solución (l) y  $F$  es la constante de Faraday ( $96485.34 \text{ mol}^{-1}$ ).

$$m = \frac{i \cdot t \cdot M}{F \cdot n \cdot V} \quad [3]$$

## Resultados

Se encontró que el tiempo óptimo de reacción fue de 5 minutos para todas las pruebas realizadas, alcanzando a ese punto remociones en su mayoría superiores al 90% de color en el agua.

Las condiciones óptimas de tratamiento para cada uno de los colorantes se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Condiciones óptimas de tratamiento por colorante.

Colorante	Variables			
	Tiempo (min)	[ ] Color (ppm)	[ ] Sal (g/l)	Corriente eléctrica (A)
Azul de metileno	5	25	4	6
Amarillo Reactivo 145	5	200	3	5
Negro Reactivo 5	5	112.5	3	5
Mezcla de colorantes	5	200	3	6

Las remociones de colorante máximas alcanzadas en la experimentación se observan en la Tabla 2.

Tabla 2.- Remociones máximas de colorante.

Colorante	Concentración de colorante (ppm)		
	25	112.5	200
Azul de metileno	99.26%	97.80%	98.34%
Amarillo Reactivo 145	79.05%	94.87%	96.86%
Negro Reactivo 5	94.69%	96.31%	91.63%
Mezcla de colorantes	90.57%	96.05%	98.46%

La velocidad a la cual se logró la remoción de los colorantes en el agua (cinética de electrocoagulación) se observa en la Tabla 3.

Tabla 3.- Cinética de electrocoagulación (ppm/s).

Colorante	Concentración de colorante (ppm)		
	25	112.5	200
Azul de metileno	0.0011	0.0011	0.0010
Amarillo Reactivo 145	0.0004	0.0007	0.0008
Negro Reactivo 5	0.0005	0.0008	0.0007
Mezcla de colorantes	0.0005	0.0007	0.0008

La masa de metal consumido en el proceso se observa en la Tabla 4.

Tabla 4.- Masa de metal consumido en el proceso.

Tiempo de electrólisis	Corriente eléctrica	Masa de metal consumido
min	A	g/l
5	4	0.174
	5	0.217
	6	0.260

## Conclusiones

La electrocoagulación resulta ser una alternativa viable de tratamiento para remoción de colorantes textiles, obteniéndose porcentajes de remoción en la mayoría de los casos superiores al 90%.

Las muestras a tratar no requieren tratamientos rigurosos antes del tratamiento electroquímico.

Dependiendo del tipo de colorante que constituyen las aguas residuales, las variables que influyen en el tratamiento por electrocoagulación como conductividad o corriente eléctrica aplicada, pueden cambiar.

El colorante "Azul de metileno" se remueve a mayor velocidad con una  $k > 0.001$  ppm/s.

Para la remoción de Azul de Metileno se encontró que las condiciones óptimas de tratamiento son: Tiempo: 5 min., [ ] Color: 25 ppm., [ ] Sal: 4 g/l., Corriente eléctrica aplicada: 6 A. Obteniéndose con estas condiciones remociones superiores al 98%.

Para la remoción de Amarillo Reactivo 145 se encontró que las condiciones óptimas de tratamiento son: Tiempo: 5 min., [ ] Color: 200 ppm., [ ] Sal: 3 g/l., Corriente eléctrica aplicada: 5 A. Obteniéndose con estas condiciones remociones superiores al 79%.

Para la remoción de Negro Reactivo 5 se encontró que las condiciones óptimas de tratamiento son: Tiempo: 5 min., [ ] Color: 112.5 ppm., [ ] Sal: 3 g/l., Corriente eléctrica aplicada: 5 A. Obteniéndose con estas condiciones remociones superiores al 91%.

Para la remoción de color de agua sintética preparada con una mezcla de colorantes textiles se encontró que las condiciones óptimas de tratamiento son: Tiempo: 5 min., [ ] Color: 200 ppm., [ ] Sal: 3 g/l., Corriente eléctrica aplicada: 6 A. Obteniéndose con estas condiciones remociones superiores al 90%.

## Referencias bibliográficas

- Arslan-Alaton, I. (2003). "A review of the effects of dye-assisting chemicals on advanced oxidation of reactive dyes in wastewater." *Coloration Technology*, 119(6), 345–353. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2003.tb00196.x>
- Holt, P. K., Barton, G. W., Wark, M., & Mitchell, C. A. (2002). "A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 211(2–3), 233–248. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00285-6](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00285-6)
- Orozco, A. L., & Castro, S. P. (2012). "Remoción de color en aguas residuales del proceso de tinturado de una curtiembre mediante electrocoagulación." *Ingenium*, 6(12), 51–58.
- Shore, J. (1995). *Cellulosics dyeing*. Bradford, West Yorkshire: Society of Dyers and Colourists.