



V Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental  
Argentina y Ambiente 2023



4° Simposio Iberoamericano de Adsorción

*Ambiente y Adsorción integrados para la comprensión y solución de problemas específicos*

## **Comparación de los procesos de electrocoagulación y electrocoagulación–Fenton para el tratamiento de colorantes textiles**

**E.G. De Seta<sup>a,b\*</sup>, J.M. Meichtry<sup>b,c</sup>, B.L. Marchisio<sup>a</sup>, P.C. Sánchez<sup>a</sup>, A. Enrico<sup>c</sup>, N. Vera<sup>a,c</sup>, J. Coelho<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> UDB Química, UTN-FRBA, Mozart 2300, CABA, Argentina

<sup>b</sup> Centro de Tecnologías Químicas, UTN-FRBA, Medrano 951, CABA, Argentina

<sup>c</sup> Dpto. Ing. Química, UTN-FRBA, Medrano 951, CABA, Argentina  
egdeseta@frba.utn.edu.ar

### **Resumen**

En el presente trabajo se evaluó la eficiencia de la electrocoagulación con ánodo de hierro, solo (RC) o combinada con la adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (EC-Fenton), para el tratamiento de soluciones acuosas de un colorante textil reactivo (negro de Synozol, NS) y un colorante textil disperso (rojo Dianix, RD), analizándose los tiempos de reacción y el consumo eléctrico (CE).

Los resultados muestran que, bajo las condiciones experimentales ensayadas, la EC y la EC-Fenton son eficientes para tratar efluentes que contengan estos contaminantes tóxicos y persistentes, siendo EC más eficiente para RD (CE  $\approx$  0.5 kWh m<sup>-3</sup>) y EC-Fenton para NS (CE  $\approx$  0.005 kWh m<sup>-3</sup>), lo cual permitiría su acoplamiento a un proceso biológico para reducir así la DQO, habilitando el reuso parcial del agua en el proceso textil.

**Palabras clave:** efluentes textiles, colorantes, electrocoagulación, electro-Fenton.

### **Introducción**

El sector textil es una de las principales actividades que aporta al crecimiento económico en los países en desarrollo, pero ocasiona graves impactos ambientales ya que hace uso intensivo del agua (de 200 a 400 L por kg de producto terminado) y genera grandes volúmenes de efluentes que contienen elevadas concentraciones de sales, surfactantes y, especialmente, colorantes sintéticos, siendo estos últimos los que mayor impacto generan en la biota<sup>1-3</sup>. Estos efluentes impactan negativamente a los cuerpos de agua receptores, degradando este recurso limitado e insustituible, lo que junto con el aumento de los costos del agua y la obligación de respetar las normas ambientales exige a los fabricantes repensar la gestión de sus aguas residuales de manera de aportar a la economía y al cuidado del medio ambiente<sup>4,5</sup>.

Los tratamientos convencionales resultan inadecuados o ineficientes para la eliminación de los colorantes debido a su toxicidad y características bactericidas<sup>6</sup>. Sin embargo, existen algunos antecedentes exitosos de su tratamiento mediante electrocoagulación (EC) con ánodos de sacrificio de hierro o aluminio, donde los colorantes son removidos de la solución mediante adsorción/precipitación en los oxo-hidróxidos generados. Más recientemente, se propuso la combinación de la EC con ánodo de hierro con la adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, lo cual genera radicales hidroxilo (HO•), especie muy reactiva virtualmente capaz de mineralizar cualquier sustancia orgánica<sup>7,8,9</sup>, a partir de la reacción entre el Fe(II) (generado en el ánodo) y el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; este Proceso Avanzado de Oxidación (PAO) se conoce como EC-Fenton.

Este trabajo se estudia la eficiencia de la electrocoagulación (EC) con ánodo de hierro y la adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (EC-Fenton) para la degradación de negro de Synozol (NS), un colorante reactivo, y de rojo Dianix, un colorante disperso, utilizados en la industria textil. Estos procesos se comparan a partir de las velocidades de reacción y del consumo eléctrico (CE).

*Ambiente y Adsorción integrados para la comprensión y solución de problemas específicos*

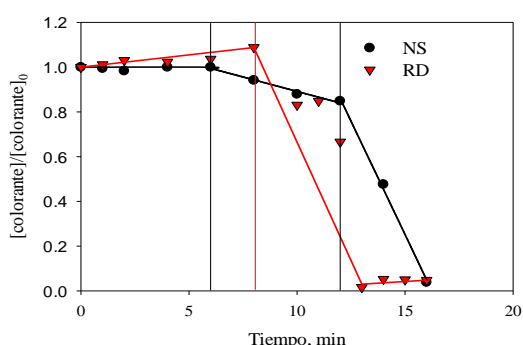
## Materiales y métodos

Se emplearon electrodos de hierro SAE 1010 ( $\leq 0.13\%$  C,  $\leq 0.60\%$  Mn,  $\leq 0.04\%$  P,  $\leq 0.05\%$  S), y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (pH),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (conductividad  $\kappa$ ) y  $\text{H}_2\text{O}_2$  de calidad analítica. Los colorantes negro de Synozol IB 150 (NS) y rojo Dianix AC-E (RD) fueron de calidad técnica, y se midieron por espectrofotometría directa, luego de centrifugar las muestras, a 574 nm (NS) y 582 nm (RD). Los experimentos se realizaron por triplicado en una celda de 300 mL (250 mL de solución) equipada con electrodos de 19,5 cm<sup>2</sup> a 9 cm de distancia, bajo agitación magnética a 250 rpm; la intensidad de corriente (I) varió entre 0,01 y 0,10 A aplicando una tensión ( $\tau$ ) entre 2,5 y 10 V utilizando una fuente Futuenergy HY3003D DC. El consumo eléctrico CE se calculó según  $\text{CE} = I \times \tau \times t / \text{Vol}$ , donde t es el tiempo de reacción requerido para una remoción completa.

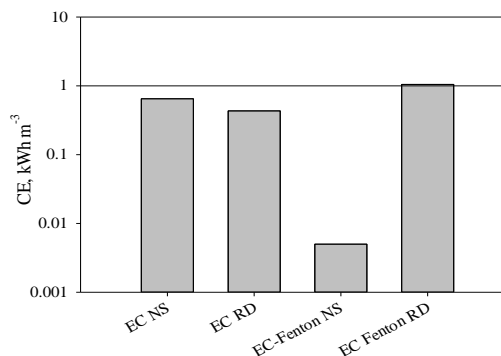
## Resultados y discusión

### Experimentos de electrocoagulación

La remoción de NS y RD con EC se evaluó usando  $[\text{NS}]_0 = [\text{RD}]_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$  a pH 6 y con  $I = 0.05 \text{ A}$ . Los resultados se pueden observar en las Figuras 1 y 2.



**Figura 1.** Remoción de NS y RD por EC. Condiciones:  $[\text{NS}]_0$  o  $[\text{RD}]_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$ ; pH = 6,  $\kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}$ ,  $I = 0,05 \text{ A}$ ,  $\tau = 10 \pm 2 \text{ V}$ ,  $T = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ .



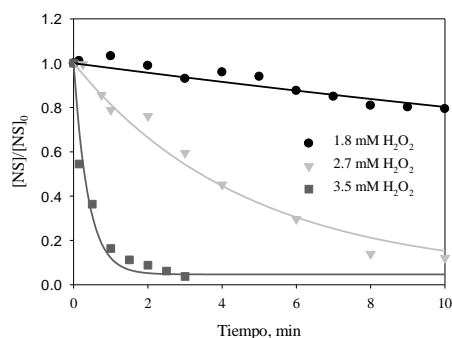
**Figura 2.** Valores de CE para EC y EC-Fenton de NS y RD, calculados para las mayores velocidades de reacción para cada proceso.

Para NS se observan tres períodos claramente diferenciados: una etapa inicial sin remoción ( $t \leq 6 \text{ min}$ ), luego una intermedia de remoción lenta y finalmente una etapa de remoción rápida ( $12 \leq t \leq 15 \text{ min}$ ), mientras que para RD se observa una etapa sin remoción más larga ( $t \leq 8 \text{ min}$ ), y luego una etapa rápida ( $8 \leq t \leq 13 \text{ min}$ ). El período de inducción observado para ambos colorantes puede asociarse al complejamiento de los iones Fe(II) y/o Fe(III) por los colorantes<sup>8</sup>. Por su menor tiempo de tratamiento, CE fue menor para RD, tal como se aprecia en la Fig. 2.

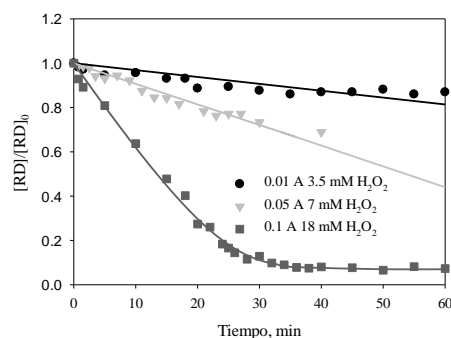
### Experimentos de EC-Fenton

Los resultados de las Figs. 3 y 4 muestran que la remoción de NS y RD con EC-Fenton a pH 3 presentan una fuerte dependencia de  $[\text{H}_2\text{O}_2]$ , siendo NS más fácilmente degradado con  $[\text{H}_2\text{O}_2] = 3.5 \text{ mM}$ , completándose su remoción al cabo de 3 min (Fig. 3) con una cinética de pseudo-primer orden. Las condiciones para la degradación de RD resultaron más exigentes, requiriéndose aproximadamente 36 min para la remoción de  $\approx 95\%$  con  $I = 0,1 \text{ A}$  y  $[\text{H}_2\text{O}_2] = 18 \text{ mM}$  con una cinética de orden cero, no lográndose una remoción completa aún a tiempos mayores a 60 min. La menor degradabilidad de RD puede atribuirse a su naturaleza dispersa, que dificulta la degradación del colorante por los radicales  $\text{HO}\cdot$  generados en el medio homogéneo.

*Ambiente y Adsorción integrados para la comprensión y solución de problemas específicos*



**Figura 3.** Concentración normalizada de NS durante EC-Fenton bajo diferentes concentraciones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Condiciones: [NS]<sub>0</sub> = 50 mg L<sup>-1</sup>, pH 3,  $\kappa$  = 3,5 mS cm<sup>-1</sup>, I = 0,01 A, T = 24 °C,  $\tau$  = 2,5 V



**Figura 4.** Concentración normalizada de RD durante EC-Fenton bajo diferentes I y concentraciones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Condiciones: [RD]<sub>0</sub> = 50 mg L<sup>-1</sup>, pH 3,  $\kappa$  = 3,5 mS cm<sup>-1</sup>, T = 24 °C, 2,5 V ≤  $\tau$  ≤ 7,9 V.

Para NS, los valores de CE con EC-Fenton son 2 órdenes de magnitud menores respecto a los de EC, mientras que para RD el valor de CE es más del doble al obtenido mediante EC.

### Conclusiones

Los resultados muestran que los procesos electroquímicos estudiados son eficientes para remover NS y RD, con valores de CE ≤ 1 kWh m<sup>-3</sup>. Para NS EC-Fenton es el proceso más eficiente, con remoción completa en 3 min a I = 0.01 A, mientras que para RD el proceso más conveniente es EC, con remoción completa en 13 min a I = 0.05 A. El tratamiento por EC muestra una etapa de inducción para ambos colorantes, con remoción completa a t ≤ 15 min. La degradación de NS y RD por EC-Fenton muestra una fuerte dependencia con [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>], siendo RD mucho más resistente a este tratamiento al requerir un tiempo de reacción y una I 10 veces mayores que para NS. La completa degradación de estos colorantes permite considerar el eventual acoplamiento de estos procesos a un tratamiento biológico para disminuir la DQO y lograr así un agua de calidad suficiente para su reuso en el proceso textil.

### Referencias

- 1- Jaafarzadeh N., Takdastan A., Jorfi S., Ghanbari F., Ahmadi M., Barzegar G. *The performance study on ultrasonic/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for degradation of azo dye and real textile wastewater treatment.* J. Mol. Liq. 256, 462–470 (2018).
- 2- Erkanli M., Yilmaz L., Çulfaz-Emecen P.Z., Yetis U. *Brackish water recovery from reactive dyeing wastewater via ultrafiltration.* J. Clean. Prod. 165, 1204–1214 (2017).
- 3- Soares P.A., Souza R., Soler J., Silva T.F.C.V., Guelli S.M.A., Boaventura R.A.R., Vilar V.J.P. *Remediation of a synthetic textile wastewater from polyester-cotton dyeing combining biological and photochemical oxidation processes.* Sep. Purif. Technol. 172, 450–462 (2017).
- 4- Hua Yin, Peiwen Qiu, Yuange Qian, Zhuwen Kong, Xiaolong Zheng, Zhihua Tang and Huafang Guo. *Textile Wastewater Treatment for Water Reuse: A Case Study.* Processes, 7(1), 34 (2019).
- 5- Rodríguez, D. J.; Serrano, H. A.; Delgado, A.; Nolasco, D. y Saltiel, G. *De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe.* Banco Mundial, Washington, DC (2020).
- 6- Kaur, P., Kushwaha, J. P. and Sangal, V. K. *Transformation products and degradation pathway of textile industry wastewater pollutants in Electro-Fenton process.* Chemosphere 207, 690–698 (2018).
- 7- Nidheesh, P., Zhou, M. and Oturan, M. A. *An overview on the removal of synthetic dyes from water by electrochemical advanced oxidation processes,* Chemosphere 197, 210–227 (2018).
- 8- Pignatello, J. J., Oliveros, E., MacKay, A. *Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on Fenton Reaction and Related Chemistry,* Critical Rev. Environ. Sci. Technol. 36, 1–84 (2006).