

TRATAMIENTO DE EFLUENTES ACUOSOS MEDIANTE PROCESOS ELECTROQUÍMICOS DE OXIDACION AVANZADA

Alejandro Bedolla Guzmán (1), Juan Manuel Peralta Hernández (2)

1 [Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [alexbg91@gmail.com]

2 [Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [juan.peralta@ugto.mx]

Resumen

Este trabajo describe los resultados obtenidos en el uso de un reactor electroquímico tubular donde dicho reactor fue usado para llevar a cabo la producción in situ de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) en un medio ácido (pH 3) y el uso de un electrolito 0.050 M de $NaSO_4^{2-}$ sumado a esto el uso de 0.5 mM de Fe^{2+} , con el fin de llevar a cabo dos procesos electroquímicos de oxidación avanzada (PEOA): Oxidación Anódica (OA) y electro-Fenton (EF) usando los parámetros de concentración de 100, 200, 300 ppm y un flujo de 7 L/min a temperatura ambiente. Los procesos fueron evaluados por su capacidad para degradar un colorante comercial empleado en la curtiduría, Reactive Yellow 160 (Amarillo HF), en solución. Para ello, se empleó el espectrofotómetro UV-Vis para el seguimiento en el porcentaje de pérdida de color en solución. La comparativa entre procesos nos muestra que el uso de EF es más eficiente al presentar una mayor remoción de color a diferencia de la OA lo que nos lleva a que los PEOA ofrecen una alternativa ambientalmente amigable al tratamiento de efluentes ya que en ellos se implica la electro-generación de radical hidroxilo, evitando la adicción de algún otro reactivo químico peligroso para el ambiente.

Abstract

This work describes the results using a tubular electrochemical reactor to carry out the in situ hydrogen peroxide production (H_2O_2) in an acidic medium at pH 3 using 0.05 M of Na_2SO_4 as supporting electrolyte to promote Anodic oxidation (AO) and adding 0.5 mM Fe^{2+} to promote electro-Fenton process (EF). Both processes were tested to degradation of solutions Reactive Yellow 160 (Yellow HF) at 100, 200, 300 ppm, flow rate of 7 L/min, current density 50 mA/cm² at room temperature. UV-Vis spectrophotometer were used for monitoring the percentage of discoloration. The comparison between processes shows that the use of EF is more efficient to have higher color removal than OA process.

Palabras Clave

Procesos Electroquímicos de Oxidación Avanzada; Oxidación Anódica; Electro-Fenton; Reactor electroquímico, Peróxido de hidrogeno.

INTRODUCCIÓN

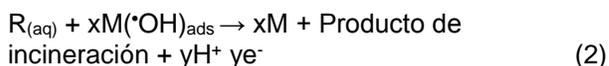
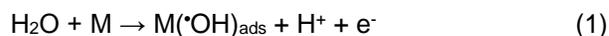
Los efluentes provenientes de algunas industrias presentan altos niveles de contaminación de los sistemas acuosos como lo son los colorantes sintéticos que por lo general los reactivos químicos utilizados en las operaciones de teñido y acabado, muestran una amplia diversidad de estructuras químicas y composiciones variables de compuestos orgánicos e inorgánicos, que inclusive a una baja concentración pueden comportarse como una gran fuente de contaminación debido a que ocasionan problemas como la disminución en la luminosidad de las aguas y en consecuencia inducen a la disminución de la actividad fotosintética, lo cual produce a su vez una disminución en el contenido de oxígeno disponible en el agua y así el crecimiento de la biodiversidad acuática. Se estima que entre el 10-15% de los colorantes usados en estas industrias son arrojados en las aguas residuales [1,2].

Particularmente, las aguas residuales textiles han llamado la atención debido a que estas descargas se caracterizan por sus altos contenidos de color y demanda química de oxígeno (DQO), con valores de pH entre 2 a 12 [3]. Este problema medioambiental se destaca por la estimación de una carga de hasta 50,000 toneladas de colorantes residuales descargados anualmente a través de estas instalaciones alrededor del mundo [5]. Además, algunos de estos colorantes son tóxicos, mutagénicos o cancerígenos. Por lo tanto, el tratamiento de los efluentes que contienen tales compuestos es importante para la protección de las aguas naturales y del medio ambiente, para disminuir los problemas ambientales causados por este tipo de contaminantes y sus efectos peligrosos sobre los seres vivos, se requieren métodos robustos para su tratamiento.

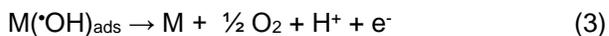
Por lo que los progresos recientes en la eliminación de los colorantes en aguas residuales han llevado al desarrollo de procesos electroquímicos de oxidación avanzada (PEOA), estos se basan en la generación del radical libre hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) como oxidante principal y han resultado tecnologías atractivas tanto por su eficiencia en la degradación de innumerables compuestos orgánicos como por sus bajos costos, además que no generan residuos ya que los

contaminantes se mineralizan en gran medida [6]. Estos radicales al entrar en contacto con el contaminante conducen a su degradación mediante tres diferentes metodologías: la abstracción del átomo de hidrógeno, la adición electrofílica a los sistemas π o mediante las reacciones de transferencia de electrones (redox) [4].

La oxidación anódica consiste en la generación del radical ($\bullet\text{OH}$) a partir de la oxidación del agua (1) en los sitios activos de la superficie del material anódico empleado (M), de modo que los ($\bullet\text{OH}$) electro-generados reaccionan directamente con los contaminantes orgánicos presentes (R) en la solución acuosa en moléculas más pequeñas (2) y de ser posible hasta su total oxidación hasta CO_2 y agua. Al mismo tiempo, la reacción de combustión (2) de la materia orgánica presente entra en competición con la descomposición del ($\bullet\text{OH}$) en la evolución de oxígeno (3) [5].



“x” y “y” son coeficientes estequiométricos



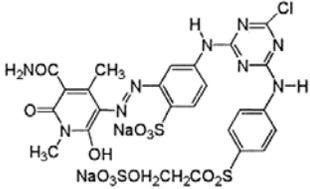
El proceso llamado Electro-Fenton (EF) es un proceso basado en la electro-generación del reactivo de Fenton, en donde una continua regeneración del catalizador se lleva a cabo a través del cátodo por la reducción del ion Fe^{3+} a partir de la reacción (4) evitando así su acumulación en el medio, esta ventaja permite mejorar la reacción de Fenton (5) y la oxidación de los compuestos orgánicos con el exceso de radicales hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) producidos [6].



El colorante sintético Reactive Yellow 160 fue seleccionado debido a que este es un compuesto orgánico el cual es ampliamente utilizado en la industria del teñido del cuero. Este compuesto es además muy persistente y altamente soluble en agua, por lo que su eliminación es también un tema de gran importancia en la protección del medio

ambiente. La Tabla 1 nos muestra las propiedades físico-químicas de este compuesto [7].

Tabla 1. Propiedades del colorante Reactive Yellow 160

Propiedades del colorante Reactive Yellow 160	
Fórmula Química	C ₂₅ H ₂₂ ClN ₉ Na ₂ O ₁₂ S ₃
Estructura Química	
Peso Molecular (g mol ⁻¹)	818.13
Número de Registro (CAS)	129898-77-7

MATERIALES Y MÉTODOS

Reactivos químicos

El colorante empleado fue el Reactive Yellow 160 (RY160), Sulfato de Hierro (FeSO₄•7H₂O 99%, KEM), Ácido Sulfúrico (H₂SO₄ 98%, Karal), Sulfato de Sodio (Na₂SO₄ 99%, Karal) y Hidróxido de Sodio (NaOH 97%, Karal).

Reactor Electroquímico

Los experimentos fueron realizados en un sistema con capacidad de 3 litros continuamente recirculado mediante una bomba centrífuga donde el flujo utilizado es de 7 litros por minuto. La celda electroquímica tipo filtro-prensa está equipada con una placa de 64 cm² de una película de BDD como ánodo y 64 cm² de otra placa de Acero Inoxidable como cátodo para el caso de la OA y para el EF se utiliza para ambos electrodos el BDD además de un difusor de aire para la formación continua de H₂O₂ en el reactor.

Metodología

Las degradaciones efectuadas consisten en una solución de 100, 200 y 300 ppm de colorante RY160 y un electrolito 0.050 M de Na₂SO₄ a un pH 3 ajustado con H₂SO₄ para un volumen de 3 litros bajo la influencia de una intensidad corriente de 50 mAcm⁻² durante 180 minutos y muestreando cada 20 minutos para su seguimiento en el caso de OA.

Para el EF previamente debe oxigenarse la solución de 0.050 M de Na₂SO₄ durante 40 minutos

para después comenzar la generación de H₂O₂ hasta 60 min a una intensidad de corriente de 50 mAcm⁻² y proseguir la degradación al adicionar 0.5 mM de Fe⁺² y los respectivos mgL⁻¹ de colorante de igual manera a lo largo de 180 min y ser muestreada en intervalos de 20 min.

Procedimientos analíticos

El pH de la solución fue medido con el uso de un pH-metro y la decoloración de la solución fue monitoreada mediante el decaimiento de la absorbancia (A) con una longitud de onda máximo de absorbancia (λ_{MAX}) de 450 nm, determinando mediante el espectrofotómetro UV/Vis a temperatura ambiente. La eficiencia de la decoloración o el porcentaje de pérdida de color fue calculada de la siguiente manera:

$$\text{Remoción de color (\%)} = \frac{A_o - A_t}{A_o} * 100$$

donde A_o y A_t son la absorbancia a un tiempo inicial y la absorbancia después de un determinado tiempo de electrolysis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Decoloración por Oxidación Anódica

Los resultados obtenidos acorde al tratamiento nos muestra que la oxidación anódica en efecto favorece la degradación de materia orgánica al disminuir la coloración de la solución siendo removido hasta un 66% de su color para una concentración de 100 ppm (Figura 1), debido a la generación de oxidantes en la superficie de los electrodos.

Decoloración por Electro-Fenton

De acuerdo al análisis realizado, el uso de este proceso electroquímico de oxidación avanzado hace notar un incremento en la eficiencia en cuanto a la remoción de color al obtenerse un 87% de decoloración de la solución para una concentración de 100 ppm (Figura 2), ya que en dicho tratamiento se presenta una regeneración continua de oxidantes además de su generación en la superficie de los electrodos lo que hace que este proceso sea comúnmente utilizado en aplicaciones ambientales [8].

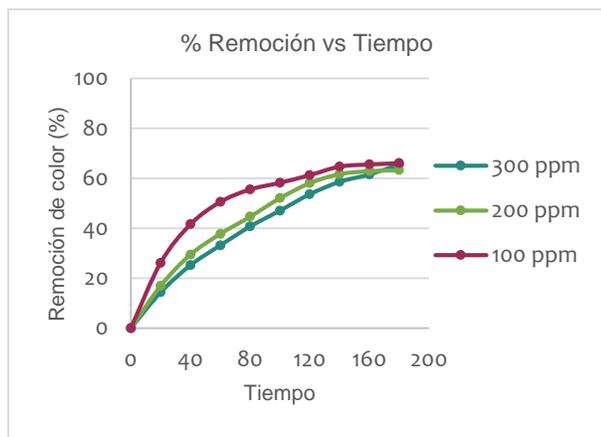


Figura 1. Degradación de x ppm de Reactive Yellow 160 en H_2SO_4 0.05M a pH 3 a temperatura ambiente por Oxidación Anódica, Flujo de 7L/min y 50 $mAcm^{-2}$

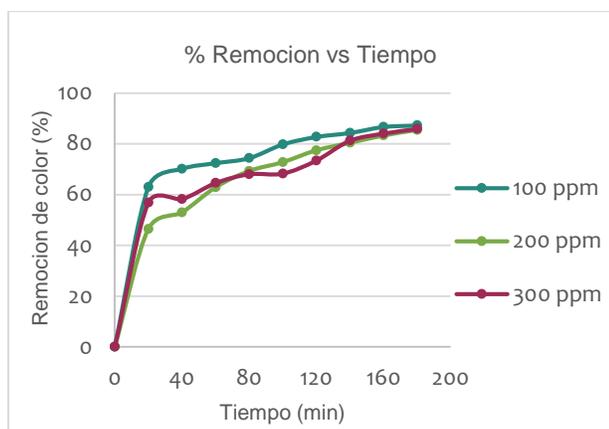


Figura 2. Degradación de x ppm de Reactive Yellow 160 en H_2SO_4 0.05M a pH 3 y 0.5mM $FeSO_4$ a temperatura ambiente por Electro-Fenton, Flujo de 7L/min y 50 $mAcm^{-2}$

CONCLUSIONES

La Oxidación Anódica es capaz de alcanzar una buena degradación del contaminante, sin embargo no es lo suficientemente alta como para no mostrar una marcada tonalidad obteniendo así una reducida calidad del efluente tratado mediante este proceso. Mientras que el proceso Electro-Fenton se ha exhibido como un proceso más apto en la degradación de este contaminante de acuerdo a los resultados, esto es debido principalmente a la producción de una mayor cantidad de especies

oxidativas capaces de mineralizar una mayor cantidad de materia orgánica presente en la solución, a pesar de requerir un mayor tiempo en el tratamiento del efluente este produce una rápida y casi total remoción del color, por lo que su aplicación a este tipo de efluentes es una alternativa favorable además de ser una manera económica y ecológica para la remoción de materia orgánica en solución y con ello su toxicidad.

REFERENCIAS

Artículo:

- [1] Nidheesh, P. V. y Gandhimathi, R. (2012) "Trends in electro-Fenton process for water and wastewater treatment: An overview", *Desal.*, 299, 10, 1-15.
- [2] Pearce, C., Lloyd, J., Guthrie, J. (2003) The Removal Of Colour From Textile Wastewater Using Whole Bacteria Cells. *Dyes And Pigments* 58, 179-196
- [3] L. Szpyrkowicz, C. Juzzolino, S.N. Kaul, (2001) *Water Res.*, 35, 2129
- [4] Özcan, A., Oturan, M. A., Oturan, N. y Sahin, Y., (2009) "Removal of Acid Orange 7 from water by electrochemically generated Fenton's reagent", *J. Hazard. Mater.*, 163, 1, 1213-1220.
- [5] Ramírez, C., Saldaña, A., Hernández, B., Acero, R., Guerra, R., García-Segura, S., Brillas, E. y Peralta-Hernández, J. M. (2013) "Electrochemical oxidation of methyl orange azo dye at pilot flow plant using BDD technology", *J. Ind. Eng. Chem.*, 19, 1, 571-579.
- [6] El-Desoky, H. S., Ghoneim, M. M. y Zidan, N. M. (2010) "Decolorization and degradation of Ponceau S azo-dye in aqueous solutions by the electrochemical advanced Fenton oxidation", *Desal.*, 264, 1, 143-150.
- [7] <http://www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-yellow-160.html> consultada el 13/07/15
- [8] Peralta-Hernández, Juan M., Godínez, Luis A., (2014) Electrochemical hydrogen peroxide production in acidic medium using a tubular photo-reactor: Application in advanced oxidation processes, *J. Mex. Chem Soc.*, 58(3), 349-356.