

## DEPURACIÓN ELECTROQUÍMICA DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE VINAZAS TEQUILERAS

*Jiménez López José Eduardo, del Real Olvera Jorge*

Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia y Diseño de Tecnología del Estado de Jalisco A.C. Av. Normalista 800 Col. Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco, C.P. 44270, México,  
[jdelreal@ciatej.net.mx](mailto:jdelreal@ciatej.net.mx)

### Resumen

La capacidad de depuración de efluentes en una planta de tratamiento de vinazas tequileras se ve afectada debido a las fluctuaciones en la producción de tequila y a la intermitencia en operación del sistema de tratamiento, trayendo como consecuencia que los efluentes obtenidos sean vertidos al río con alto contenido en color, turbiedad y carga orgánica. En el presente estudio se analiza la cinética de depuración de los efluentes provenientes una planta de tratamiento de aguas residuales biológica (PTAR) de una industria tequilera, aplicando la electrocoagulación con electrodos de aluminio. Los resultados obtenidos para la remoción de color alcanzo el 95%, la turbiedad en 98% y la DQO disminuyo en 85%, utilizando 80 minutos de electrólisis.

### Introducción

La electrocoagulación surge como una de las mejores alternativas para el tratamiento de efluentes de todo tipo y se caracteriza por el uso de un equipo simple y fácil de operar, el tiempo de operación es corto, no se utiliza ninguna cantidad de reactivo químico y se puede aplicar para la remoción de contaminantes expresados como color, turbidez y DQO [1]. En la electrocoagulación, el coagulante es formado *in situ* por disolución de iones aluminio del electrodo de sacrificio. La generación de iones aluminio tiene lugar en el ánodo y en el cátodo hay liberación de burbujas de hidrógeno las cuales ayudan a la flotación de los flóculos formados [2]. Durante el proceso intervienen tres etapas: inicialmente se forma el coagulante por oxidación electrolítica del metal del ánodo, luego se da la desestabilización de los contaminantes y emulsiones, finalmente se produce la formación de flóculos por agregación de partículas del contaminante o adsorción de éstas en los coagulantes [3].

La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la inestabilidad de las moléculas contaminantes. Por lo general este estado de inestable produce partículas sólidas menos coloidales y menos emulsionadas o solubles. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos se liberan y dispersan en el medio líquido y tienden a formar óxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido desestabilizados [2].

En los últimos años, y debido a la imperante necesidad de investigar, adaptar e implementar tecnologías eficientes en la remoción de contaminantes de diversas clases de aguas residuales, se ha vuelto a considerar a la electrocoagulación (EC) como una alternativa viable en el tratamiento de los efluentes líquidos, cobrando un importante interés científico e industrial, hecho que permitirá avanzar sobre los escollos que han dejado a esta tecnología rezagada durante varias décadas [1]. Es así como actualmente se enfrenta el reto de investigar los parámetros que controlan el proceso de electrocoagulación de manera organizada y sistemática, de forma que permita diseñar el proceso en su totalidad, desde su requerimiento de energía hasta el diseño del reactor para así optimizarlo, adaptarlo y

aplicarlo, ubicando dicho proceso como una tecnología de punta que brinde sus ventajas en la protección y conservación del recurso hídrico [3].

### Metodología

El sistema electroquímico consistió de una celda cilíndrica de vidrio de 1,200 mL, operado por lotes con agitación constante mediante parrilla magnética a 200 rpm, como se muestra en la figura 1. Se utilizaron dos electrodos de aluminio con un área total efectiva de 18 cm<sup>2</sup> cada una, conectados a una fuente de poder convencional [1]. La separación entre los electrodos fue de 0.5 cm. La cinética de depuración fue analizada mediante el cambio de la DQO a través del tiempo, junto con el color y la turbiedad. Las tomas de muestra se efectuaron cada 10 minutos, por un periodo mínimo de 120 minutos para cada ensayo experimental. El vertido empleado en este estudio fue colectado a la salida de una planta biológica de tratamiento operada en continuo por una industria tequilera. Las condiciones de operación propuestas para el estudio fueron: pH de 5 a 9, mientras que la intensidad de corriente aplicada fue de 0.5, 1.0 y 1.5 A con temperatura variable de 15, 25 y 40 °C.

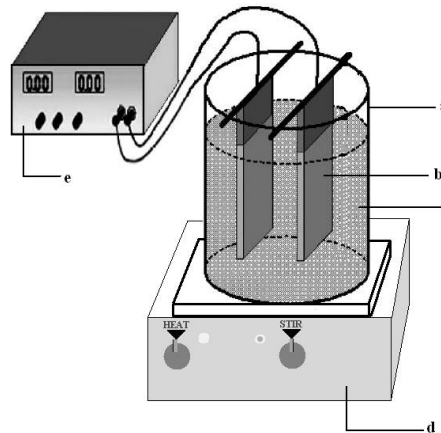


Figura 1. Esquema del reactor

### Resultados

En la figura 2, se puede observar la fracción de remoción de color cuando se aplicaron 0.5 A y pH de 5 variando la temperatura, mientras que en la figura 3, se muestra el cambio en la turbiedad bajo las mismas condiciones de operación anteriores.

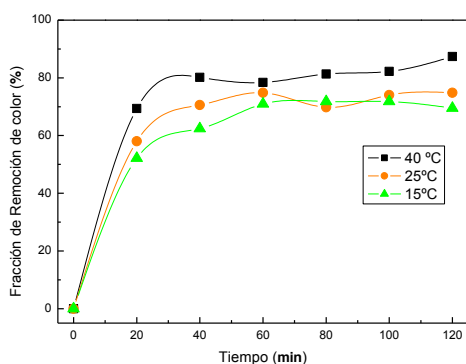


Figura 2. Porcentaje de remoción de color con 0.5 A y pH=5

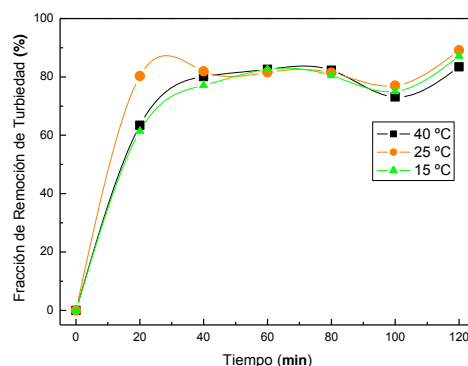


Figura 3. Porcentaje de remoción de turbiedad con 0.5 A y pH=5

Se puede observar que ambos parámetros no son significativamente afectados por el cambio en la temperatura del sistema. Sin embargo, todas las curvas generadas muestran buenos porcentajes de remoción ya que se superan el 75% de eliminación en ambos parámetros, también es fácil apreciar que los cambios más significativos se presentaron durante los primeros 30 minutos de reacción, ya que es en este lapso de tiempo donde se manifiesta el potencial de la técnica de Electrocoagulación. La mayor eficiencia en

remoción de color se presentó a los 40 °C de temperatura, eliminando más del 80% del contenido inicial en la muestra, mientras que la turbiedad genera curvas con tendencias similares a todas las temperaturas.

La disminución de carga orgánica medida como el cambio en la DQO, se muestra en la figura 4 y 5. En el primer caso se emplearon 1.5 A para la intensidad de corriente y pH de 9, mientras que para la figura 5 se utilizaron 0.5 A de intensidad en la corriente.

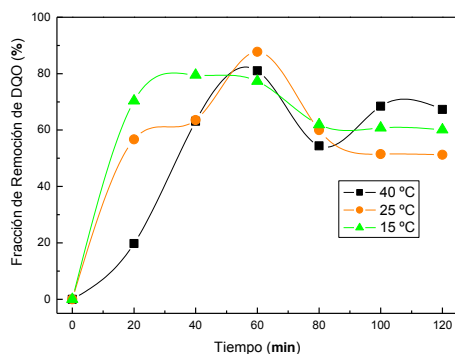


Figura 4. Porcentaje de remoción de DQO con 0.5 A y pH= 5

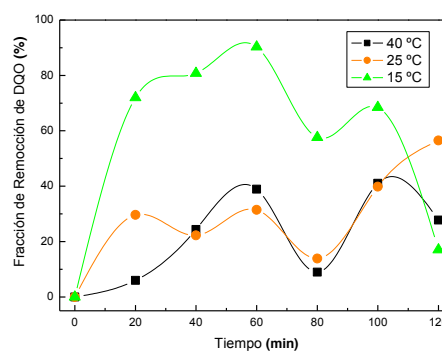


Figura 5. Porcentaje de remoción de DQO con 0.5 A y pH=7

En la figura 4, se puede observar que la disminución de carga orgánica total es aproximadamente de 80% con pH de 5 en tan sólo 60 minutos de electrólisis, mientras que cuando se neutraliza el sistema el factor de la temperatura modifica más el comportamiento (figura 5). De manera general el comportamiento para la remoción de la DQO es menos estable que para el color y la turbiedad, además dicho parámetro se ve fuertemente afectado por el cambio en el pH, generando curvas con mucha variación en su respuesta. Esto último puede ser interpretado si se analizan las especies químicas del Aluminio que se están generando en el proceso de la electrólisis, ya que éstas cambian de acuerdo con el pH. Un punto importante a destacar en estos ensayos, es que el pH siempre incrementaba con el transcurso del ensayo, ya que tendía invariablemente hacia el rango básico, por lo que fue necesario controlarlo de manera manual. Mientras más bajo era el valor del pH inicial, mayor cambio presentaba al final del ensayo.

La mayor eficiencia en remoción en la DQO se presentó a los 15 °C de temperatura y pH neutro, eliminando más del 80% del contenido inicial en la muestra en tan solo 60 minutos de electrocoagulación, posteriormente la eficiencia en la remoción para este parámetro decae significativamente.

## Conclusiones

Los resultados anteriores sugieren que para optimizar el proceso es necesario controlar de manera estricta el pH y los cambios en la temperatura. Así, al modificar las condiciones de operación se afecta sensiblemente la eficiencia de la electrocoagulación. Finalmente, se realizó un análisis de Aluminio residual en la fase acuosa después de la Electrocoagulación y se compararon con los obtenidos en un sistema de prueba de jarras y la diferencia entre ambos sistemas fue menor al 5%.

### Referencias

1. Restrepo Mejía A.M., Arango Ruiz A., Garcés Giraldo L.F. “La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas”, *Producción + Limpia*, Vol. 1 No. 2, 2006.
2. Barboza Palomino, G.I. “Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá – Ayacucho Empleando la Técnica de Electrocoagulación”, *Tesis Maestría*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Peru, 2011.
3. Mollah, M.Y.A, Schennach, R. Parga, J, Cocke, D.L. “Electrocoagulation (EC)—science and applications”, *Journal of Hazardous Materials* Vol. B84, No. 29–41, 2001.