

**Remoción de Color en Aguas Contaminadas con tintas, pretratadas electroquímicamente mediante Ozono en medio alcalino.**

**Francisco Xavier Zaldumbide Ortiz<sup>1</sup>  
Carlos Barrera Díaz<sup>2</sup>**

**Resumen**

En este artículo de investigación se muestran los resultados obtenidos en el tratamiento de aguas residuales que contienen disueltas tintas flexográficas, las cuales son empleadas en las industrias de colorantes. De inicio se propuso tratar este tipo de aguas electroquímicamente, pero los resultados mostraron que es necesario realizar un pretratamiento como primer paso, que en este caso particular fue el empleo de un coagulante, el policloruro de aluminio, para posteriormente aplicar el proceso electroquímico y finalmente como etapa de pulimiento se utilizó un tratamiento vía Ozono. Los resultados obtenidos fueron interesantes, ya que dan un pauta de es lo que está sucediendo con los tratamientos propuestos para este tipo de agua residual.

**Palabras Clave:** Aguas Contaminadas, Ozono, Electroquímica

**Abstract**

In this article of investigation are to the results obtained in the residual water treatment that contains dissolved red flexográficas, which are used in the industries of colorantes. Of beginning one seted out electrochemically to deal with this type waters, but the results showed that it is necessary to make a pre-cure like first step, that in this particular case was the use of a coagulant, policloruro of aluminum, later to apply the electrochemical process and finally as pulimiento stage I am used a treatment via Ozone. The obtained results were interesting, since they set a standard of is what it is happening to the treatments proposed for this type of residual water.

**Key Word:** Contaminated waters, Ozone, Electrochemical

---

<sup>1</sup> Alumno del Programa de Maestría de Ciencias Ambientales de la Facultad de Química de la UAEM

<sup>2</sup> Coordinador del Centro de Investigación de Química Sustentable de la UAEM. email. cbd@yahoo.com.mx

## **I.- Introducción**

En las actividades humanas, tanto domésticas como industriales, existe la generación de residuos, que traducidos hacia el campo industrial, todo proceso que involucre la transformación de materia prima en producto terminado inevitablemente generara residuos. (Zaldumbide, 2008: 1)

El desarrollo tecnológico ha ocasionado un vertiginoso crecimiento de la demanda de los recursos naturales. Los efectos no se hacen esperar y poco a poco, el hombre está experimentado diferentes hechos palpables que pueden originar alteraciones naturales de repercusiones.

Un ejemplo de este desarrollo es el empleo de sustancias empleadas en los procesos de impresión o coloración, a las cuales se les denominan tintas, que en general son una combinación o mezcla de diferentes compuestos que dependiendo de sus características darán lugar a diferentes técnicas de proceso de coloración. (Cifuentes y otros, 1999: 1)

Las industrias en general utilizan grandes cantidades de agua y constituyen el principal factor en el incremento continuo de la contaminación de la misma. Los diversos componentes en las aguas de procesos industriales son cada vez más complejos y variables, por consiguiente, se tendrá que desarrollar la tecnología de control de la contaminación industrial que asegure un tratamiento efectivo y económico de la contaminación causada. (Kent, 1987:693)

De aquí surge la importancia de realizar un tratamiento de efluentes industriales aplicando diversos procesos o técnicas con el objetivo de devolver al medio el agua utilizada dentro de los diferentes procesos tecnológicos en condiciones óptimas de descarga. Logrando que gran parte de los agentes contaminantes no terminen en el medio. (Zaldumbide, 2008: 3)

Por lo general las aguas residuales son tratadas con procesos encargados de retirar los pigmentos de la solución. Este tipo de procesos consta, por lo habitual de tres etapas: 1) coagulación, 2) floculación y sedimentación y 3) filtrado o separación por membrana. Se tiene otras técnicas como la eliminación por adsorción con carbón activado y tratamiento mediante sistemas biológicos, aunque este último no es una completa solución al problema debido ala resistencia biológica de algunas tintas. (Lucas y Peres, 2006:235)

Debido a esta problemática se han desarrollado los procesos de oxidación avanzada (POA), que son tecnologías basadas en procesos de destrucción de los contaminantes por medio de sustancias químicas conocidas como radicales hidroxilo ( $\text{OH}\bullet$ ), los cuales tiene la propiedad de ser altamente oxidantes. En estos tratamientos los radicales hidroxilo reaccionan con el contaminante y lo transforman en compuestos inofensivos al medio ambiente. Los POA pueden ser combinaciones de  $\text{O}_3/\text{UV}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ,  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}/\text{II}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  y  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ . ( Papadopoulos y otros. 2006)

El objetivo principal en este artículo es mostrar el grado de remoción de color de un agua residual que ha sido tratada previamente electroquímicamente y que contuvo tintas empleando el sistema  $O_3/H_2O_2$  como un tratamiento de pulimento, estableciendo las condiciones óptimas de dicho proceso.

## **II.- Metodología**

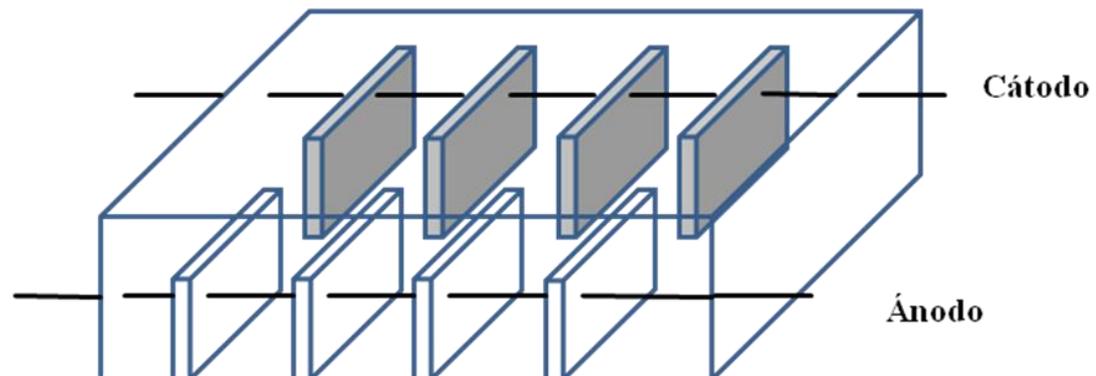
### ***II.1.- Aguas pretratadas electroquímicamente.***

Se recolectaron muestras de agua de una empresa que emplea tintas flexográficas, dichas muestras trataron de ser lo más homogéneas posibles, estas muestras presentaron diferentes coloraciones como son azul, negro, amarillo rojo, con un pH entre 8.5 y 9.5.

Posteriormente estas muestras fueron tratadas por un tratamiento electroquímico empleando electrodos de aluminio tanto cátodos como ánodos, aplicando una corriente directa entre 3 - 4 A, realizando la reacción con aireación constante.

Se implementó una celda con cuatro cátodos y cuatro ánodos de aluminio conectados mediante remaches a un soporte de aluminio, las dimensiones de cada placa fueron de 15 cm por 10 cm. El material de la celda fue de plástico de un volumen de 3 L y la disposición de los electrodos fue intercalando cátodo y ánodo respectivamente. El dispositivo se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Dispositivo de la Celda electroquímica.



Al inicio y al final del pretratamiento se monitoreó el proceso, determinando los parámetros fisicoquímicos de color, turbiedad y demanda química de oxígeno, con la finalidad de analizar el grado de remoción de contaminantes orgánicos que estuvieron disueltos en el agua.

### ***II.2.- Tratamiento $O_3$***

Para la ozonización, se implementó un equipo que suministra 5g/H de ozono de marca Pacific Ozone Technology y los experimentos se realizaron en dos trampas de vidrio acopladas de manera que en una de ellas se colocó la muestra y la otra yoduro de potasio a fin de atrapar el yodo residual. Las trampas estuvieron provistas de difusores para llevar la mezcla ozono-aire y asegurar el contacto entre la muestra y el ozono.

## *Quivera 2009-1*

Se monitoreo el proceso durante 40 minutos, determinando los parámetros fisicoquímicos de color, turbiedad y demanda química de oxígeno (DQO).

### ***II.3.- Condiciones ideales***

Una vez definidas las condiciones de tratamiento más eficientes, se determinaron solamente para esas condiciones los parámetros de DQO, color, turbiedad y DBO<sub>5</sub>.

## **III.- Resultados**

### ***III.1.- Aguas pretratadas electroquímicamente***

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua cruda se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros físico-químicos iniciales de las muestras de Agua

<b>Parámetro</b>	<b>Intervalo</b>
Color (U Pt-Co)	350,000 – 5,700,000
Turbiedad ( U FAU)	22,000 – 800,000
DQO (mg/L)	89,000 – 530,000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	< 3,000
SST (g/L)	20 - 50
pH	8.5 -9.5
Coloración	Amarilla, Celeste, Roja, Azul, Negra, Verde, etc.

Analizando los resultados de la Tabla 1, se puede observar que los parámetros iniciales son muy elevados, presentando un índice de biodegradabilidad ( relación DBO<sub>5</sub>/DQO) próximo al valor de cero; esto indica que la muestra no presenta biodegradabilidad debiendo ser tratada mediante técnicas electroquímicas con la finalidad de disminuir estos valores iniciales.

Los resultados del pretratamiento electroquímico con electrodos de Aluminio, se muestran en la Tabla 2.

## Quivera 2009-1

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del agua pretratada con electrodos de Aluminio.

Parámetro	Intervalo
Color (U Pt-Co) (% remoción)	N.D.
Turbiedad ( U FAU) (% remoción)	N.D.
DQO (mg/L) (% remoción)	N.D.
DBO <sub>5</sub> (mg/L) (% remoción)	N.D.
SST (g/L) (% remoción)	N.D.
pH	N.D.

N. D. ( No Determinado)

Como detectarse estas pruebas no se determinaron, ya que a los cinco minutos de tratamiento, la gran cantidad de sólidos en suspensión que tenía la muestra se adhirieron a los electrodos formando recubrimientos que los pasivan, lo cual ocasionó la disminución de la corriente eléctrica hasta el punto de llegar a cero, inhabilitando el proceso.

Por esta razón se descartó aplicar el tratamiento con electrodos de aluminio directamente sobre el agua cruda y se procedió a usar un pretratamiento a través de un agente coagulante que fue el policloruro de aluminio.

### III.1.2.- Pretratamiento con agente coagulante

La dosis optima con la cual se debe de trabajar con el policloruro de aluminio fue determinada mediante una prueba de jarras, respetando el pH de la muestra original, la cual después de varios ensayos se manejaron dos cantidades, la cual fue 17.5 mL/L, posteriormente se analizaron los parámetros fisicoquímicos de dicha agua, los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Parametros iniciales de la muestra utilizada, en el proceso de coagulación con 17.5 ml/L

	pH	Color (U Pt-Co)	Turbiedad (U FAU)	DQO (mg/L)
Muestra Cruda	8.3	5,685,000	315,000	530,000
Muestra después de Coagular	7.5	2.070	16	9,876

### III.1.3.- Acoplamiento de tratamientos coagulación- electroquímico

Una vez que adiciono el agente coagulante al agua residual, esta genero gran cantidad de lodos, los cuales fueron filtrados y posteriormente se aplico el tratamiento electroquímico con electrodos de aluminio, con 33.3 A/m<sup>2</sup> de densidad de corriente. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos se monitorearon cada 10 minutos, estos se muestran en la Tabla 4.

### *Quivera 2009-1*

Tabla 4. Resultados del tratamiento electroquímico

<b>Variables</b>	<b>10 min</b>	<b>20 min.</b>	<b>30 min.</b>	<b>40 min.</b>	<b>50 min.</b>
pH	8.05	8.52	8.6	8.44	8.7
Color (U Pt-Co)	1,446	1,300	1,020	952.38	915
Turbiedad (U FAU)	12	4	3	3	3
DQO (mg/L)	7,169	7,000	5,285	3,976	3,750

En base a los resultados de la Tabla 4 se observa que el tiempo de tratamiento optimo es a los 40 minutos, ya que transcurrido este tiempo de electrocoagulación las eficiencias de remoción de DQO logradas no son muy significativas, es decir después de este tiempo la variación de valores de DQO es casi nula.

### **III.2.- Tratamiento O<sub>3</sub>**

La ozonización es una de las más atractivas alternativas para resolver problemas de color en efluentes. El ozono es extremadamente oxidante y reacciona rápidamente con la mayoría de los compuestos orgánicos.( Salome y otros. 2006)

Basándonos en esta referencia, se realizaron varias pruebas combinando el pretratamiento citado anteriormente ( a las condiciones señaladas ) y el proceso de Ozonización para varias muestras de agua, ya que la coloración como se menciona anteriormente varia de un color a otro, estos resultados se muestran en las Tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Resultado del Proceso de tratamiento para Agua con Coloración Roja

<b>Variable</b>	<b>Agua Cruda</b>	<b>Proceso de Tratamiento</b>
pH	8.3	5.6
Color ( U Pt-Co)	5,685,000	142
Turbiedad (U FAU)	315,000	11
DQO (mg/L)	530,000	3,003

*Quivera 2009-1*

Tabla 6. Resultado del Proceso de tratamiento para Agua con Coloración Azul

<b>Variable</b>	<b>Agua Cruda</b>	<b>Proceso de Tratamiento</b>
pH	8.3	6.45
Color ( U Pt-Co)	630,000	12
Turbiedad (U FAU)	28,000	0
DQO (mg/L)	88,939	3,179

Tabla 7. Resultado del Proceso de tratamiento para Agua con coloración Negra

<b>Variable</b>	<b>Agua Cruda</b>	<b>Proceso de Tratamiento</b>
pH	8.3	6.3
Color ( U Pt-Co)	1,646,250	0
Turbiedad (U FAU)	345,000	0
DQO (mg/L)	93,829	2,984

Como puede apreciarse el tren de tratamiento de las aguas residuales que contienen tintas, proporciona resultados muy prometedores, ya que en las tres tablas se puede apreciar excelentes porcentajes de remoción que oscilan entre 95 y 99%.

Dado que este tipo de agua que contiene la tinta color negra es la que presenta mayor problemática para las empresas que utilizan tintas flexográficas, se determinaron pruebas adicionales de DBO<sub>5</sub> y el índice DBO<sub>5</sub>/DQO a dicha agua con la finalidad de monitorear su comportamiento. Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de DBO<sub>5</sub> e índice de DBO<sub>5</sub>/DQO, para agua residual con tinta negra,

<b>Variable</b>	<b>Agua Cruda</b>	<b>Proceso de Tratamiento</b>
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	2,592	747
Índice DBO <sub>5</sub> /DQO	0.02	0.25

## *Quivera 2009-1*

Como puede apreciarse el valor de la DBO<sub>5</sub>, disminuyo, no así el del índice, esto significa que aumenta el grado de biodegradabilidad de la muestra tratada, mediante el tren de tratamiento que siguió y se señalo en este artículo.

### **IV.- Conclusiones**

En base a los resultados obtenidos de este trabajo, las conclusiones a las cuales llegamos son las siguientes:

- El tratamiento de electroquímico (electrocoagulación), por si solo, no promueve eficiencias significativas, debido a la aglomeración de sólidos en los electrodos inhabilitando el proceso.
- El empleo del policloruro de Aluminio puro en solución acuosa ( como pretratamiento), provoca la remoción de una cantidad considerable de contaminantes, provocando con ello la disminución de los valores de Color, Turbiedad y DQO.
- El tratamiento con Ozono provoco un aumento en la DBO<sub>5</sub>, ayudando a la biodegradabilidad de la muestra que puede ser removida mediante la aplicación del tratamiento electrocoaguloación (post-ozono) logrando eficiencias cercanas al 45% con respecto a la DQO.
- Para el caso especifico de las aguas residuales que contienen tintas flexográficas, no es posible remover los contaminantes empleando un solo tratamiento, es necesario proponer un tren que combine varios de ellos, con la finalidad de remover los contaminantes orgánicos disueltos en dichas aguas residuales.

### **Bibliografía**

- Cifuentes, M., Durand G. M., Sepúlveda C. L. (1999) Degradación fotoquímica de tintas flexográficas con radiación UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Revista Ciencia Abierta* Vol. 7
- Kent J. (1987) Biblioteca Riegel de Química Industrial. Tomo III. Editorial Continental. México. Pp. 693-706
- Lucas, M. S., Peres, J. A. (2006) Decoloration of Azo dye Reactive Black 5 by Fenton and Photo-Fenton. *Dyes Pigm.* 71: 235-243
- Papadopoulos, A., F.atta, D., Mentzis, A. (2006) Study on the use of Fenton`s reagent for the treatment of refractory organics contained in a textile wastewater. 1<sup>st</sup> European Conference of Enviromental Applications of Advanced Oxidations Processes. Chania-Greece

### *Quivera 2009-1*

- Saloem, O., Soares. G. P., Faria, P. C., Órfao, J., Pereira, F. R. (2006) Ozonation of textile effluents and dye solutions in the presence of activated carbon under continuous operation. 1<sup>st</sup> European Conference of Environmental Applications of Advanced Oxidations Processes. Chania – Greece.
- Zaldumbide Ortiz Francisco Xavier (2008) Remoción de Color en Aguas Contaminadas con Tintas Flexoacuosas mediante un Sistema acoplado Electroquímico-Ozono. Tesis de Maestría de la Facultad de Química de la UAEM. pp 1, 3