

# DECOLORACIÓN OXIDATIVA POR OZONIZACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS CRUDOS DE LA INDUSTRIA TEXTIL

## **Autores:**

Agustín Leiva Pérez\*, Roy Leonardo Barre Zambrano\*\*, Joffre Andrade Candell\* y Edison Fabián Macías Andrade\*

\* Docentes e Investigadores de la escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López"

\*\* Docente e Investigador de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador

## **RESUMEN**

Se desarrolló el estudio de la oxidación de los residuos líquidos de la industria textil mediante aplicación de ozono en reactores batch completamente mezclados, con tiempos de reacción entre 10 y 60 minutos, según pruebas de observación realizadas anteriormente. Se utilizó un equipo Generador de Ozono SEFILTRA, fabricado en Madrid, España, que se caracteriza por un flujo aire de 2 dm<sup>3</sup>/min), concentración de ozono de 9,50 mg/dm<sup>3</sup>, una producción de O<sub>3</sub> de 19 mg/min y un porcentaje en peso de 0,8. Los parámetros indicadores de la contaminación Color y Turbidez, mostraron niveles oxidativos satisfactorios, particularmente el primero. El Color denotó un 90% de eliminación al cabo de la hora de oxidación; en cambio, la Turbidez registró una eficiencia de remoción del 60%, significativamente menor, desde casi la hora de tratamiento. Todos los parámetros indicadores de la contaminación estudiados resultaron oxidados vía ozonización, según comportamientos polinómicos de segundo grado, con coeficientes de correlación al menos de 0,99; lo cual es suficientemente alto como para justificar esta afirmación.

## **INTRODUCCIÓN**

Aprovechando el hecho probado de que el gas ozono (O<sub>3</sub>) constituye un estado alotrópico del oxígeno (O<sub>2</sub>), generado por el paso de la corriente eléctrica a través de un conductor, preferentemente metálico, se han desarrollado y comercializado una gran variedad de equipos productores de ozono, que incluso, combinan líquidos con la corriente de aire (contiene un 20% de O<sub>2</sub> gaseoso) o de oxígeno ozonizada, que provoca una oxidación enérgica de los diferentes tipos de materiales contenidos en dicho líquidos.

Leiva, Peñafiel, Andrade, Aveiga, Brito y Zambrano (2016) reportaron la decoloración del licor negro generado en el proceso de producción de pulpa y papel de bagazo de caña, que poseen altos contenidos del polifenol lignina, obteniendo resultados de entre 53 y 94% de eliminación del color entre 10 y 60 minutos de reacción ozono – colorantes y; entre 46 y 90% de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) al cabo de los mismos

intervalos de tiempo, reduciéndose dichas eficiencias en la medida en que aumentaba el nivel de Sólidos Suspendidos Totales (SST) entre 50 y 300 mg/dm<sup>3</sup>.

Según De Jesús (2016) y Bolaños (2010), los residuos líquidos de las industrias textiles también se caracterizan por elevadas concentraciones de color, DQO y otros parámetros indicadores de la contaminación de las aguas como Conductividad eléctrica, Carbono Orgánico Total (COT), Agentes Tensoactivos Catiónicos, Nitrógeno, Grasas y Cloruros, entre otros.

El estudio realizado tuvo el objetivo de evaluar la capacidad oxidativa del ozono en la estabilización de residuos líquidos de la industria textil, empleando un equipo generador de ozono e indicadores de la contaminación como los mencionados anteriormente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un equipo generador de Ozono de la firma madrileña SEFILTRA, que utiliza aire como insumo de O<sub>2</sub> y cuyas características principales de interés para el estudio se muestran en el cuadro 1 y que ya fue empleado por Leiva *et al.* (2016). Asimismo se dispuso de:

**Cuadro 1. Características principales utilizadas del equipo Generador de Ozono SEFILTRA, Madrid, España.**

Flujo aire (dm <sup>3</sup> /min)	c(O <sub>3</sub> ) (mg/dm <sup>3</sup> )	Producción de O <sub>3</sub> (mg/min)	% Peso
2	9,50	19	0,8

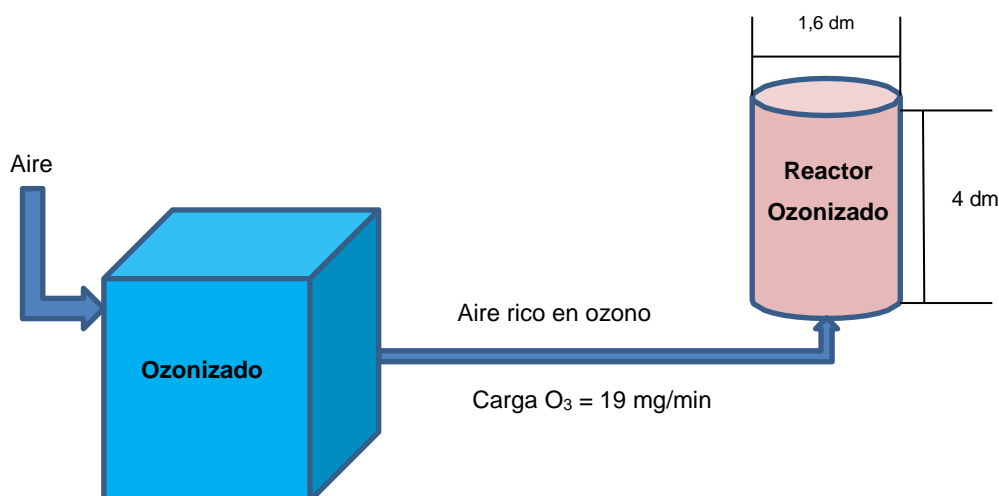
- Equipo de filtración común.
- Filtros para análisis gravimétrico: AP40 Millipore.
- Mangueras plásticas de PVC de 0,5 cm de diámetro interior.
- Reactor batch, descrito por Levenspiel (2004), plástico oscuro de forma cilíndrica circular recta, de 8 dm<sup>3</sup> de volumen total (1,27 dm de diámetro de la base y 2 dm de altura) con entrada y salida de gases y toma de muestra en el punto central de su altura efectiva (3,2 dm), algo más pequeño que el empleado por Leiva *et al.* (2016) en la ozonización de licor negro residual de la producción de pulpa y papel de bagazo de caña. Para propiciar la representatividad de la muestra de la población de residuos líquidos a tratar, se mezclaron 30 dm<sup>3</sup> de los efluentes de cada una de la empresas textiles JHONATEX ubicada en Leonardo Pérez 01-90 y Homero Hidrovo, Ambato, Tungurahua; TEXTIL BUENAÑO, en la calle 4 del Parque industrial de la misma ciudad y; MODATEX, situada en Bolívar y Mariano Cuevas esq. Cuenca, Azuay. En total, 90 dm<sup>3</sup>, a los que se les realizaron tres repeticiones de análisis después de la mezcla (muestras A, B y C) del cuadro 2; utilizando los

valores medios como iniciales del proceso de ozonización. Según los resultados de varias pruebas de observación se seleccionaron tiempos de ozonización de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, repitiéndose tres veces cada proceso, nominados como P<sub>10</sub>, P<sub>20</sub> y P<sub>30</sub>, P<sub>40</sub>, P<sub>50</sub> y P<sub>60</sub>, respectivamente.

**Cuadro 2. Características principales del agua residual textil mezclada utilizada en los tratamientos basados en la ozonización.**

Parámetro	Unidad	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Media	Desv. Estánd.	Cofic. de Variac. (%)
pH	----	10,1	9,8	9,6	9,83	0,25	2,56
Color	Unidades Hazen (patrones de Pt – Co simulados según Haze)	2736	2858	2791	2795,00	61,10	2,2
Turbidez	UNT	437	396	428	420,33	21,55	5,13

Para cada tiempo de ozonización el reactor trabajó con 5 dm<sup>3</sup> de volumen en cada una de las tres réplicas con cada tiempo. De esta forma, en el reactor siempre quedaron 3 dm<sup>3</sup> de volumen libre para evitar pérdidas por derrames debido a la espuma. En la figura 1 se muestra un esquema del reactor que fue empleado en los seis procesos batch, almacenándose en frío, el líquido que va quedando sin usar hasta el batch en función y que se utilizó después en los restantes.



**Figura 1. Esquema general del proceso de ozonización.**

Todos los análisis se realizaron con base en APHA, AWWA, WPCF (2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

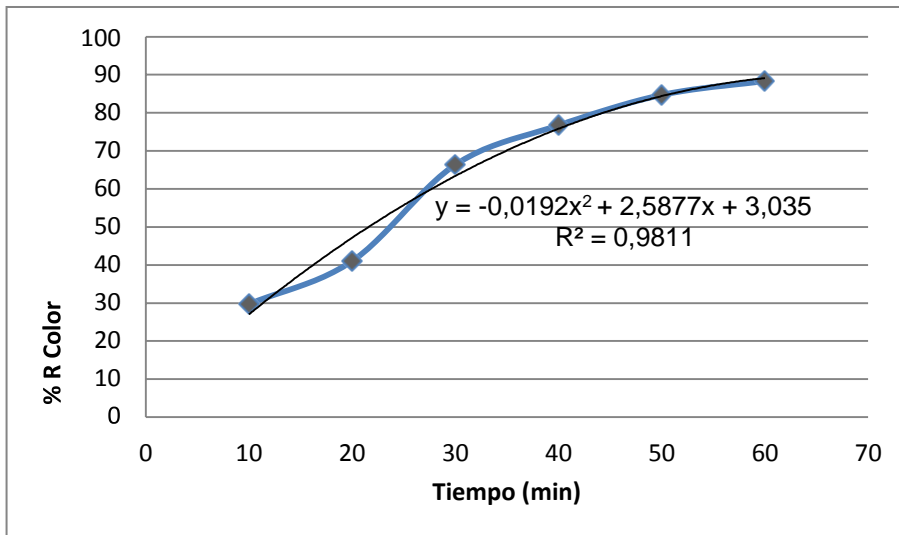
En el cuadro 3 se presentan los resultados de los procesos P<sub>10</sub>, P<sub>20</sub>, P<sub>30</sub>, P<sub>40</sub>, P<sub>50</sub> y P<sub>60</sub> promedios de las tres réplicas, con sus correspondientes eficiencias de remoción de los dos parámetros indicadores de la contaminación estudiados, sus valores medios, desviaciones estándar y coeficientes de variación. En las discusiones siguientes debe observarse que los valores de los coeficientes de correlación que aparecen insertados en los gráficos son cuadráticos, por lo que es necesaria la extracción de las raíces cuadradas.

**Cuadro 3. Resultados de procesos con 10 – 60 min de tiempo de ozonización (P<sub>10</sub>, P<sub>20</sub>, P<sub>30</sub>, P<sub>40</sub>, P<sub>50</sub>, P<sub>60</sub>; tres réplicas para cada tiempo).**

TRATAMIENTO	%R <sub>Color</sub>	%R <sub>TU</sub>	TRATAMIENTO	%R <sub>Color</sub>	%R <sub>TU</sub>
P <sub>10-1</sub>	29	13	P <sub>40-1</sub>	78	46
P <sub>10-2</sub>	26	15	P <sub>40-2</sub>	78	45
P <sub>10-3</sub>	34	17	P <sub>40-3</sub>	74	48
<b>MEDIA</b>	<b>29,67</b>	<b>15,00</b>	<b>MEDIA</b>	<b>76,67</b>	<b>46,33</b>
D.E.	<b>4,04</b>	<b>2,00</b>	D.E.	<b>2,31</b>	<b>1,53</b>
C.V.	<b>13,62</b>	<b>13,33</b>	C.V.	<b>3,01</b>	<b>3,30</b>
P <sub>20-1</sub>	44	19	P <sub>50-1</sub>	83	57
P <sub>20-2</sub>	36	22	P <sub>50-2</sub>	87	55
P <sub>20-3</sub>	43	22	P <sub>50-3</sub>	84	54
<b>MEDIA</b>	<b>41,00</b>	<b>21,00</b>	<b>MEDIA</b>	<b>84,67</b>	<b>55,33</b>
D.E.	<b>13,06</b>	<b>6,05</b>	D.E.	<b>2,08</b>	<b>1,53</b>
C.V.	<b>31,84</b>	<b>28,80</b>	C.V.	<b>2,46</b>	<b>2,76</b>
P <sub>30-1</sub>	67	34	P <sub>60-1</sub>	89	61
P <sub>30-2</sub>	69	36	P <sub>60-2</sub>	86	59
P <sub>30-3</sub>	63	30	P <sub>60-3</sub>	90	63
<b>MEDIA</b>	<b>66,33</b>	<b>33,33</b>	<b>MEDIA</b>	<b>88,33</b>	<b>61,00</b>
D.E.	<b>3,06</b>	<b>3,06</b>	D.E.	<b>2,08</b>	<b>2,00</b>
C.V.	<b>4,61</b>	<b>9,17</b>	C.V.	<b>2,36</b>	<b>3,28</b>

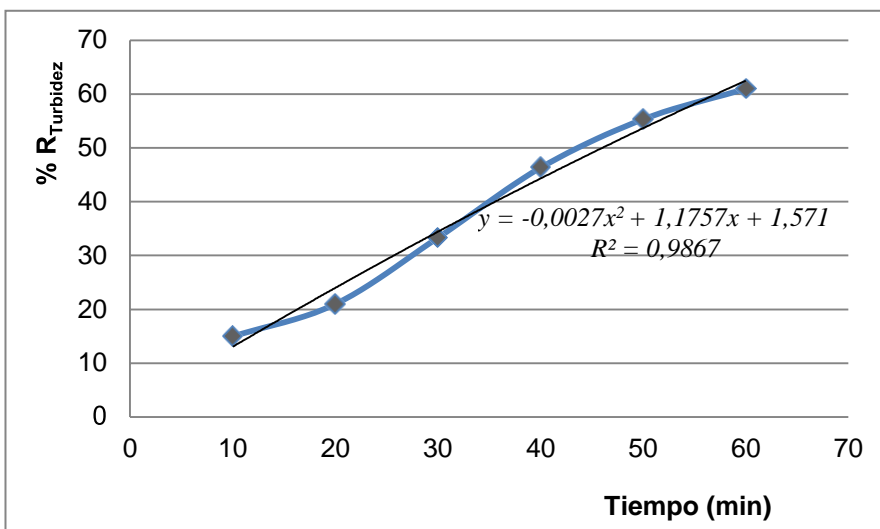
Cabe destacar que los valores del pH se mantuvieron en el rango perteneciente a disoluciones básicas, aunque relativamente cercanos a la neutralidad.

La eficiencia de eliminación del color se incrementó de forma polinómica de segundo grado ( $y = -0,0192x^2 + 2,5877x + 3,035$ ), según la ecuación de mejor ajuste que se presenta, con coeficiente de correlación  $R = 0,99$ ; se comportó por sobre el 80% a partir de los 45 minutos de reacción; a partir de este tiempo de oxidación, el proceso no aumentó significativamente, tendiendo al 90% de eficiencia a partir de los 60 minutos de reacción (figura 2).



**Figura 2. Eficiencia de Remoción de Color**

La turbidez se redujo con eficiencia incrementada, también polinómicamente, según una función de segundo grado ( $y = -0,0027x^2 + 1,1757x + 1,571$ ), con coeficiente de correlación  $R = 0,99$ ; se comportó por sobre el 60% a partir de los 57 minutos de reacción; al cabo de este tiempo de oxidación, el proceso de remoción de turbidez no aumentó significativamente, tendiendo al 65% de eficiencia al alcanzarse los 60 minutos de reacción (Figura 3).



**Figura 3. Eficiencia de Remoción de Turbidez**

## CONCLUSIONES

Los diferentes parámetros indicadores de la contaminación cuya oxidación por ozonización fueron estudiados, es decir, Color y Turbidez, mostraron niveles oxidativos satisfactorios. El Color denotó un 90% de eliminación al cabo de la hora de oxidación; en cambio, la Turbidez registró una eficiencia de remoción del 60%, significativamente menor, desde casi la hora de tratamiento.

Todos los parámetros indicadores de la contaminación estudiados resultaron oxidados vía ozonización, según comportamientos polinómicos de segundo grado, con coeficientes de correlación al menos de 0,99; lo cual es suficientemente alto como para justificar esta afirmación.

Es recomendable llevar a la práctica este proceso, a través del correspondiente scale up (escalado), para caudales industriales del residuo líquido estudiado.

## BIBLIOGRAFÍA

- APHA, AWWA, WPCF. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition; Editors: E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton; American Water Works Association/American Public Works Association/Water Environment Federation
- Bolaños A. R. A. 2010. Propuesta de recuperación del agua residual proveniente de la industria textil. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- De Jesús, T., Rodríguez, H. y Masó, A. 2016. Caracterización de las aguas residuales generadas en una industria textil cubana. Ingeniería Hidráulica, RIHA Vol. 37, No. 3. La Habana, Cuba.
- Leiva, A., Peñafiel, S. E., Andrade, J. A., Aveiga, A. M., Brito, G. G y Zambrano, T. R. 2016. Estudio preliminar sobre la decoloración del residual líquido de la producción de papel mediante ozonización. European Scientific Journal, February, Vol.12, No.9.
- Levenspiel, O. 2004. Ingeniería de las reacciones químicas. Ed. Limusa – Wiley, 3ra. Edición. México, D.F.