

## **APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE OZONO Y OZONO/UV EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE EFLUENTES SANITARIOS**

**Real Buffelli, José**<sup>A,B</sup>

<sup>A</sup>*Instituto del Desarrollo Tecnológico para la Industria Química INTEC-UNL-CONICET*  
<sup>B</sup>*Facultad de Ingeniería FIQ-UNL*

**Área:** Ingeniería  
**Sub-Área:** Química  
**Grupo:** X

**Palabras clave:** Ozono, Oxidación, Lixiviados

### **INTRODUCCIÓN**

Desde las últimas décadas, la presencia de contaminantes orgánicos en efluentes municipales e industriales es una situación compleja y en constante aumento. El mayor impacto negativo sobre los recursos hídricos se debe al aumento en las descargas con un efecto cuantitativo y la aparición de nuevos compuestos residuales con efectos nocivos. Los lixiviados de relleno se definen como el líquido que se filtra a través de residuos sólidos en un relleno conteniendo cargas orgánicas, así como sustancias inorgánicas y metales pesados. Muchos de estos compuestos orgánicos son difícilmente degradables por métodos convencionales y así su presencia en agua resulta acumulativa y persistente. A medida que estos problemas fueron ganando importancia, se comenzaron a estudiar procesos como alternativas de tratamiento a aquellos contaminantes refractarios. De esta manera surgen los Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs) que se caracterizan por la generación de radicales hidroxilo muy reactivos, con un alto potencial de oxidación, y que son particularmente atractivos como métodos para eliminar contaminantes recalcitrantes del agua. Entre los PAOs se destacan los procesos que combinan Ozono con Peróxido de Hidrógeno, Peróxido de Hidrógeno y Radiación UV, y Ozono con Radiación UV, los cuales se consideran como los que tienen mayor potencial para su aplicación real.

En base a lo descripto, este trabajo se centró en el estudio de los procesos que utilizan ozono y radiación UV para la eliminación de contaminantes, en efluentes caracterizados por la presencia de lixiviados coloreados, previéndose ensayos de laboratorio, optimización del sistema de contacto gas-líquido y de la configuración del reactor. Los resultados esperados del trabajo tienen implicancias sociales, ya que permitirán avanzar en el conocimiento de métodos de tratamiento de problemas de contaminación ambiental y por otro lado, tienen impactos directos al tratarse de procesos que pueden ser adoptados a nivel industrial para el tratamiento de efluentes, siendo relevante la componente de optimización prevista, que incursiona en la evaluación de factibilidad tecnológica, incluyendo de manera integrada las variables económica y ambiental.

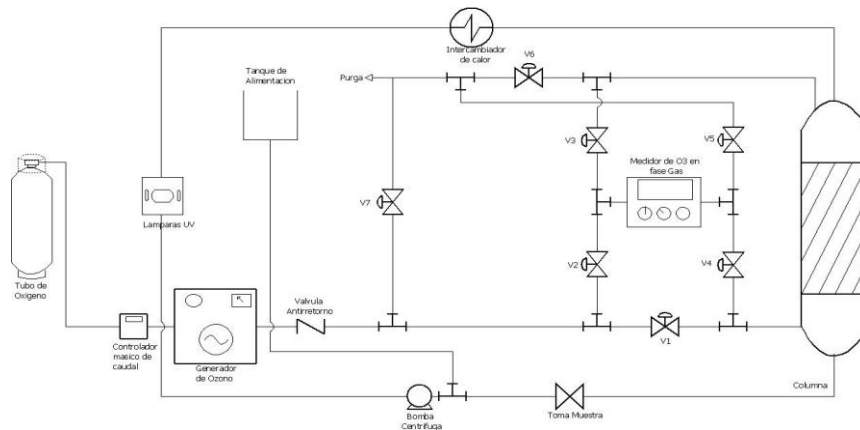
Proyecto: Aplicaciones de la tecnología ozono y ozono/uv a la oxidación de compuestos resistentes presentes en distintos efluentes industriales  
Director del proyecto: Martín, Carlos Alberto  
Director del becario/tesista: Lovato, María Eugenia

## OBJETIVOS

- Encontrar alternativas a los procesos microbiológicos convencionales de degradación, debido a que estos no son efectivos por la baja biodegradabilidad de los lixiviados, mediante la aplicación de los Procesos de Oxidación Avanzados (PAOs), con implementación de la tecnología  $O_3$  y  $O_3/UV$ .
- Investigar la respuesta de las principales características de los lixiviados (DQO, DBO, TOC, Color y Toxicidad) frente a distintas concentraciones de ozono de entrada, variaciones de pH del medio, aplicación de técnicas conjuntas al Ozono (UV), variación de tipos de lixiviados, etc.
- Mejorar la aprovechabilidad del Ozono generado *in situ* ya que la descarga eléctrica necesaria para producirlo genera altos costes
- Mejorar el contacto gas-liquido del reactor mediante la adopción de distintas variables operativas y estructurales

## SET-UP EXPERIMENTAL

Para realizar las experiencias se utilizó un sistema tal como el que se detalla en la Figura 1.



**Figura 1:** Esquema general del proceso (Flow Sheet)

El mismo está compuesto por un Generador de Ozono (Fisher Ozon, Model 503) capaz de producir hasta  $20 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  de ozono. El reactor consiste en una columna de Acrílico de 18 cm de diámetro por 70 cm de alto, del tipo fluido-fluido, recirculando parte de la corriente líquida, una bomba centrífuga (Simes, 0,5HP) capaz de bombear hasta  $0,5 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Un medidor de Ozono en fase gas (Ozone Solution, model 454H) y un controlador-regulador másico de caudal de oxígeno (AALBORG, model GFC17). El generador se alimenta con oxígeno puro y seco de calidad 99,2%, a la velocidad de  $400 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ . El sistema se encuentra equipado con lámparas UV. Por medio del mismo se estudió la eficiencia de degradación del Ozono frente al cambio de variables duras, como ser la concentración o dosis de ozono, la concentración de lixiviado, el tipo de lixiviado, la utilización o no de UV, entre otras

## TECNICAS ANALITICAS

Dentro de los parámetros que caracterizan a los lixiviados, y que fueron medidos, se pueden citar:

- DQO (Demanda Química de Oxígeno): Ensayo colorimétrico de reflujos cerrados. Se midió la Absorbancia con un Espectrofotómetro lambda 35, Perkin Elmer

- TOC (Carbono Orgánico Total): Se utilizó un Shimadzu 5000A TOC.
- Color: se informa como la Absorbancia de las muestras en la longitud de onda de la región visible con el máximo de absorción (380 a 750 nm), que se considera como una estimación cuantitativa del color de la solución, como indican Amaral-Silva y Col (2015). Medido con un Espectrofotómetro lambda 35, Perkin Elmer.
- Aromáticos e Insaturados: Se mide el valor puntual de la Absorbancia,  $UV_{254}$ , como informan Cortez y Col (2010), teniendo en cuenta la preferencia del ozono para el ataque de dichos compuestos por vía electrofílica. Medido con un Espectrofotómetro lambda 35, Perkin Elmer.

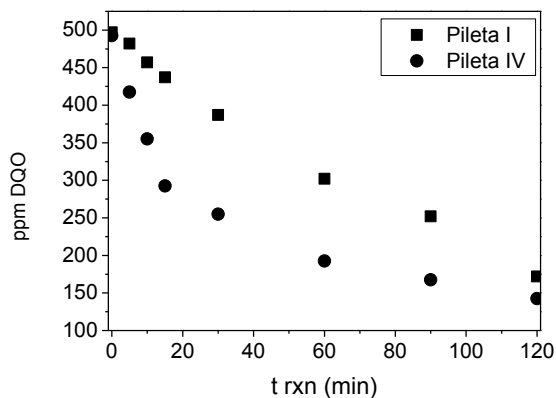
## RESULTADOS y CONCLUSIONES

Se realizaron las corridas experimentales con el sistema antes citado contando con lixiviados de 2 piletas diferentes provistos por la empresa Resicom Ingeniería Ambiental S.R.L. El tren de tratamiento consiste en una piqueta aeróbica y dos anaeróbicas. Se tomaron muestras a la entrada (Piqueta I) y a la salida (Piqueta IV). En la Tabla 1 se puede observar la caracterización de los mismos. Resulta de interés estudiar la degradación de la

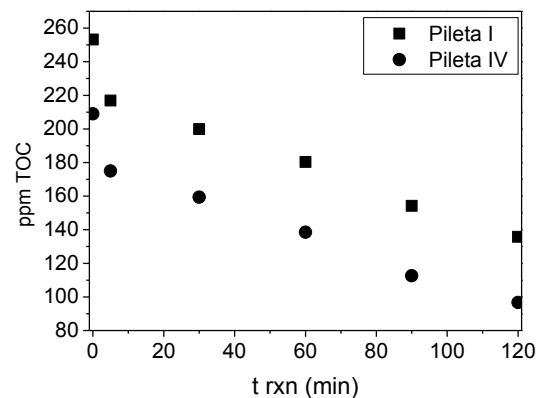
**Tabla 1:** Caracterización de los Lixiviados

Parámetro	Piqueta I	Piqueta IV
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	4960	1510
DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	575	46,8
TOC	2320	1050
pH	8,2	8,9
DBO <sub>5</sub> /DQO	0,16	0,031

matriz que compone al lixiviado a lo largo del tiempo, variando el tipo de piqueta y manteniendo constante las demás condiciones operativas. Para ello se preparan diluciones acordes de ambos, de manera de partir de una condición de igual valor de DQO, ya que como menciona Beltrán y Col. (2003), este parámetro es característico de la cinética de degradación. Como ejemplo de los resultados, en la Figura 2 se observa la degradación de la DQO con el tiempo y en la Figura 3 la del TOC. Para los ensayos se utilizó una concentración de Ozono de  $50 \pm 3$  g/Nm<sup>3</sup>.



**Figura 2:** Degradación temporal de DQO



**Figura 3:** Degradación temporal de TOC

La eficiencia de remoción de DQO aumentó inicialmente más rápido, probablemente debido a la disponibilidad de compuestos fácilmente oxidables, tales como fenoles, quinonas y ácidos aromáticos. El aumento adicional en el tiempo de reacción condujo a un cambio lento en la degradación, que indica la formación de subproductos tales como ácidos alifáticos y aldehídos, que eran aún más difíciles de degradar. Más allá

de los 120 min no se observan resultados apreciables. En ambas situaciones se aprecian rendimientos satisfactorios, con porcentajes de remoción del 65% y 71 % para la Pileta I y IV respectivamente, para la variable de interés DQO. Si bien se podría pensar que la remoción en la Pileta IV debería de ser menor, ya que la misma ha sufrido un tren de tratamiento previo, la ozonización de los lixiviados que contienen una DQO mayor será dominada por las conversiones de la matriz orgánica (debido a reacciones con elementos ricos de electrones) que conduce a la formación de los intermediarios, que deban ser degradados por el Ozono, ocasionando un consumo adicional del reactivo

Para el caso del TOC el grado de degradación de este fue menor que el de la DQO durante todo el estudio (47 y 53 % respectivamente). Este fenómeno esta probablemente relacionado con la generación y acumulación de ácidos carboxílicos y aldehídos como productos finales, en lugar de CO<sub>2</sub>

Resulta evidente decir también que las concentraciones más elevadas de Ozono producirían tasas de degradación muchos mayores, ya que sería más la cantidad de radicales hidroxilos generados y además la presión parcial más alta del Ozono ofrecería una mayor solubilidad de este y una mejora en la transferencia de masa, pero las dosis altas no son industrialmente factibles por el gran consumo de energía.

Se observó un aumento rápido de la eficacia de eliminación de UV<sub>254</sub> durante los primeros 30 min, pero la velocidad de oxidación disminuyó a medida que transcurre la reacción de oxidación. Estos resultados apoyan la hipótesis de que el ozono molecular reaccionó rápidamente con compuestos aromáticos e insaturados que inducen la disminución de la aromaticidad, pero genera compuestos que reaccionan más lentamente y son resistentes a la oxidación adicional, tales como ácidos carboxílicos y aldehídos en lugar de CO<sub>2</sub>. Se obtuvieron porcentajes de remoción del 72 y 79%. También se observó una rápida degradación del área integrada en la región visible, medida tal como se indicó, producto que el color se origina principalmente en los enlaces insaturados y grupos funcionales específicos (89 y 95 %).

Finalmente la incorporación de UV produjo un incremento de las tasas de remoción de DQO de 65 % a 80% para la Pileta I y del 71% al 81% para el caso de la Pileta IV. Para el caso del TOC fueron de 47% al 67% para la Pileta I y del 53% al 58% para la Pileta IV, con lo cual se puede concluir que sería beneficioso la inclusión de dicha tecnología pero solo en aquellos lixiviados que no han sido tratados previamente, es decir, en los crudos (Pileta I).

Actualmente se están desarrollando estudios con los lixiviados en lo que refiere a test de toxicidad (fitotoxinas) así como también el desarrollo y optimización de una expresión cinética capaz de modelar el comportamiento de los mismos dentro del reactor

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Amaral-Silva N, Martins N, Castro-Silva S, Quinta-Ferreira R**, 2015. Ozonation and perozonation on the biodegradability improvement of a landfill leachate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 527-533
- Beltran J.M**, 2003. *Ozone reaction kinetics in water and wastewater systems*. Lewis Publisher. New York.
- Cortez S, Pilar Teixeira R, Mota M**, 2010. Ozonation as polishing treatment of mature landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 182, 730-734