

“Ozono para el tratamiento de aguas residuales.”

“Ozone for wastewater treatment.”

Vicente Daniel Treviño-Rodríguez¹, Ma. de Jesús Soria-Aguilar¹, Francisco Raúl Carrillo-Pedroza¹, Elsa Nadia Aguilera Gonzalez², Marco Antonio Sánchez Castillo².

Autor de correspondencia: Vicente Daniel Treviño Rodriguez,

vicentetrevino@uadec.edu.mx

Orcid 0000-0001-6174-8993

¹Facultad de Metalurgia Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Norte, Carretera 57
Km 5, Los Bosques, 25710 Monclova, Coahuila.

²Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. Venustiano
Carranza 935, República, 25280 Saltillo, Coahuila, México.

³Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis
Potosí, Martínez #6, Av. Dr. Manuel Nava, Zona Universitaria, 78210 San Luis Potosí,
México.

Resumen

En los últimos años el ozono ha sido utilizado con más frecuencia para el tratamiento de aguas residuales como agente desinfectante, debido a su alto poder oxidante. Dada la presencia de nuevos contaminantes más difíciles de remover, descomponer u oxidar, el ozono se ha combinado con otros agentes oxidantes y/o materiales que fungen como catalizadores para la generación de radicales más oxidantes. Actualmente, la literatura especializada permite conocer información sobre los tratamientos más utilizados con la aplicación de ozono, por lo tanto, en el presente trabajo se hace una revisión de la información más reciente con respecto al ozono aplicado en el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales industriales. Los temas que se trataran son las generalidades del ozono, sus ventajas y riesgos, su toxicidad, además los tipos de aguas residuales y los componentes de estas. Así como los tratamientos o métodos que usan ozono, tanto de manera individual como las combinaciones con otros reactivos y catalizadores.

Palabras clave: Ozono, aguas residuales, tratamiento.

Abstract

In recent years, ozone has been used more frequently for wastewater treatment as a disinfectant agent, due to its high oxidizing power. Given the presence of new contaminants that are more difficult to remove, decompose or oxidize, ozone has been combined with other oxidizing agents and/or materials that act as catalysts for the generation of more oxidizing radicals. Currently, the specialized literature provides information on the most widely used treatments with the application of ozone, therefore, in the present work a review of the most recent information regarding ozone applied in the treatment of different types of industrial wastewater is made. The topics to be covered are the generalities of ozone, its advantages and risks, its toxicity, as well as the types of wastewaters and their components. As well as the treatments or methods that use ozone, both individually and in combination with other reagents and catalysts.

Keyword: Ozone, wastewater, treatment.

1. Introducción

En la actualidad, uno de los principales problemas a los que se enfrenta la humanidad es el creciente aumento de la escasez del agua. Por lo que se requiere un enfoque global con respecto al uso y contaminación de este vital líquido, ya que la mayoría de las actividades diarias realizadas por el ser humano generan este tipo de problemas y los filtros naturales no cuentan con la capacidad necesaria para la eliminación de los contaminantes presentes en los vertidos.

Una medida que puede ayudar a contrarrestar tanto la contaminación como el uso excesivo de este recurso es el tratamiento o reutilización de recursos hídricos, recuperando el agua contaminada por medio de diversos métodos o sistemas que la hagan apta para uso tanto en la industria o para el consumo de los seres vivos. Todos estos procesos necesitan contar con un agente que sea capaz de eliminar los contaminantes que contienen estas aguas para su potabilización y recuperación.

El ozono, es utilizado como un potente y eficaz desinfectante para el tratamiento de aguas, tanto que puede ser usado en la potabilización o en la eliminación de compuestos nocivos de aguas provenientes de la industria gracias a su alto poder oxidante.

2. Ozono

Es un gas que se encuentra presente en la atmósfera a presión y temperatura ambiente, puede ser incoloro o azul, con un olor parecido al azufre incluso a bajas concentraciones (Pohanish, 2017); está constituido de tres átomos de oxígeno (Figura 1). El ozono se forma de manera natural por la reacción del oxígeno (O_2) con oxígeno elemental (O) proveniente de la desintegración del oxígeno por radiación UV y tormentas eléctricas (Pohanish, 2017; Gad, 2014).

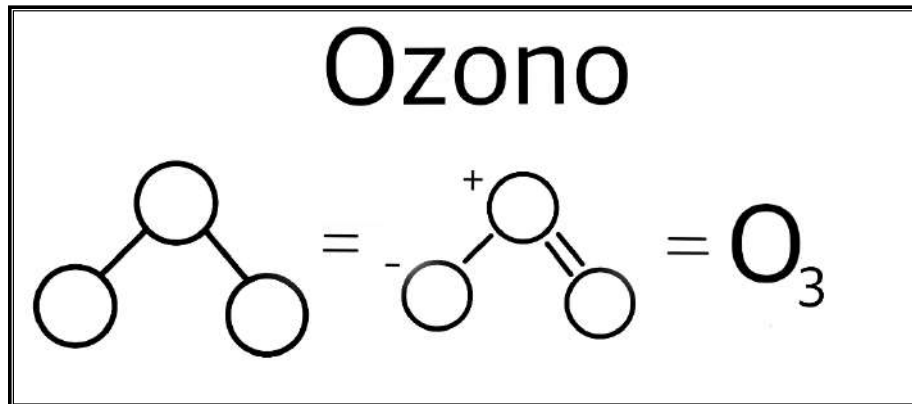


Figura 1. Estructura del ozono, fuentes: elaboración propia

Este gas es conocido principalmente por su función como protector ante la radiación ultravioleta proveniente del sol hacia el planeta; aunque por su propia naturaleza es un compuesto altamente oxidante, por lo que es utilizado como un potente oxidante y desinfectante en una amplia cantidad de actividades, donde destacada la descomposición de contaminantes en el agua. Puede eliminar los malos olores y no deja residuos químicos como puede ocurrir con otros desinfectantes ya que este se descompone con facilidad en presencia de radiación solar, calor y otras causas formando oxígeno (Takeuchi, 2005; Askenaizer, 2002).

2.1 Datos generales del ozono

El ozono como cualquier elemento o compuesto, tienen sus características y propiedades que lo caracterizan, las cuales se encuentran englobadas en la Tabla 1:

Tabla 1. Datos generales del ozono (adaptada de Ozone Solutions, 2021).

Producto/material	Ozono
Fórmula molecular	O ₃
Característica principal	Gas oxidante – CAS no. 10028-15-6 / EG no. 233-069-2
Masa molecular	48.0

Producción	Efecto corona
Concentración	Hasta el 18 % en peso en aire enriquecido con oxígeno/oxígeno
Punto de ebullición	-111.0°C
Punto de fusión	-192.7°C
Solubilidad en el agua por peso (a 20°C)	570 mg/L
Densidad del vapor	1.6 (1 = aire)
Inflamabilidad	No es inflamable/apoya vigorosamente la combustión
Punto de ignición	No aplica
Temperatura de autoignición	No aplica

2.2 Ventajas y riesgos.

El ozono presenta una gran cantidad de ventajas entre las cuales destacan los costos bajos que representa su uso a largo plazo, por su vida útil y eficiencia energética, es un material liviano y es de gran confiabilidad. Pero también presenta algunos riesgos su uso como irritación, daño ocular, afecta a las vías respiratorias, también presenta la posibilidad de reaccionar con sustancias inflamables al igual que puede producir reacciones químicas peligrosas al reaccionar con productos químicos, en cuestión económica la inversión principal puede llegar a ser alta ya que depende del precio del ozono en el país donde se utilizará (García, 2020; Ozonotecnia, 2019).

3. Toxicología

La organización mundial de la salud en el año 2005 estableció: que cuando las concentraciones de ozono son superiores a 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en un periodo de ocho horas pueden existir repercusiones hacia la salud (OMS, 2005). En el ambiente los niveles seguros de

ozono que se deben encontrar en el ambiente están en torno a 0.12 ppm de ozono, pero para la realización de una desinfección se requieren niveles hasta 100 veces superiores (García, 2020).

En cuanto a la exposición a largo plazos, el ozono es considerado como un agente radiomimético; es decir, los efectos que estos presentan son comparados con la exposición a los largos periodos de tiempo a la luz solar. Estos efectos serian resequedad y el envejecimiento de los tejidos a los que estuvo expuesto, aunque no es considerado como carcinógeno.

4. Aguas Residuales

Estas son aguas que contienen impurezas ya sean sólidos o disueltas en ella. El origen de estas aguas puede ser de diferentes vertederos, ya sean domésticos e industriales que son las principales fuentes de origen, así como las aguas dentro de la naturaleza que hayan estado en contacto con las anteriores (Fundación ECOMAR, 2020; Liu y Liptak, 2000).

4.1 Análisis de las aguas residuales

Previo a su tratamiento, a las aguas residuales se les realizan tres tipos análisis, los cuales corresponden a los tipos de componentes que se encuentran presentes: (Fundación ECOMAR, 2020; Thai Parkerizing, 2022).

- **Físicos:** Esta basada principalmente en la observación de las características del agua, este inicia con una observación directa de la fuente del agua, olfatear la fuente y tomar una muestra para observar el color, olor, sólidos presentes y la temperatura de las aguas, aunque analizar directamente de la fuente es la forma con la que se obtiene un mejor resultado.

- **Químicos:** Un análisis común para la calidad del agua, es por medio de la adición de químicos utilizando un kit de pruebas químicas en una muestra de agua previamente recolectada de la fuente, estos químicos reaccionan con el agua causando un cambio en la coloración del agua la cual es comparada con la carta de colores dentro del kit; determinando de esta forma el pH del agua. Además la muestra puede ser llevada a laboratorio para analizar propiedades del agua; como los sólidos totales, los sólidos totales disueltos. Los más comunes son de origen orgánico (carbohidratos, grasas animales, aceites, pesticidas, fenoles, proteínas, compuestos orgánicos volátiles,); los inorgánicos (alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, PH, fósforo, contaminantes prioritarios y azufre); gases (sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno).
- **Biológicos:** La finalidad de este análisis es comprobar la presencia de bacterias y cantos grupos específicos de bacterias en el agua, para esto se realizan análisis a fondo, donde se anota paso a paso la fecha y hora de toma de la muestra durante el procedimiento de calidad de agua para obtener los resultados más precisos y detallados Los más habituales en estas aguas son animales y plantas muertas.

5. Tratamiento de agua residuales

Son procesos que tienen como finalidad la eliminación de contaminantes presentes en el agua, estos procesos dependen del tipo de contaminante presente será el proceso que empleará (USGS, 2018). Entre los diversos tipos de tratamientos de aguas residuales se clasifican en tratamientos físicos, químicos y biológicos, de los cuales tienen que pasar por diversas etapas para lograr su objetivo. (Akansha y col., 2021).

Rodríguez de Jorge menciona que estas tres clasificaciones de tratamientos tienen diversos de procesos característicos, al igual que el tipo de contaminante al que va dirigido; todo esto se puede observar en la Tabla 2:

Tabla 2: Tipos de tratamientos de aguas residuales (basado en Rodríguez de Jorge, 2020).

Tipo	Descripción	Procesos
Físicos	Se aplica una separación física (sólidos).	Tamizado, precipitación, separación y filtración de sólidos.
Químicos	Depende de las propiedades químicas del contaminante o reactivo incorporado al agua.	Eliminación del hierro y del oxígeno, eliminación de fosfatos y nitratos, coagulación, procesos electroquímicos, oxidación, intercambio de iones.
Biológicos	Pretende eliminar los contaminantes coloidales.	Lodos activos, filtros percoladores, biodigestión anaerobia, lagunas aireadas

5.1 Etapas

Los tratamientos de aguas residuales están divididos en diversa fase, pero las más comunes: (Akansha y col., 2021; Fibras & normas de Colombia, 2018).

- Fase 1: Tratamiento mecánico de las aguas: En esta fase se elimina alrededor de un 20- 30% de los sólidos, este se realiza por medio de rejillas o tamices giratorios de diferentes aberturas para lograr eliminar la mayor cantidad de impurezas sólidas; todas estas impurezas se recuperan se dejan secar para una posterior calcinación.
- Fase 2: Depuración biológica: Esta fase consiste en colocar las aguas en áreas ventiladas donde pueda ocurrir la generación de microorganismos y bacterias que se alimentan de los contaminantes orgánicos aun presentes en el agua y los convierten en otras sustancias inorgánicas (lodos o fangos), los cuales se vierten retirando el agua ya depurada.
- Fase 3: Tratamiento químico de aguas y aguas residuales: Tiene como finalidad la depuración de las aguas por medio de procesos químicos para alcanzar los valores estándar establecidos, algunos de los tratamientos pueden ser:
 - Neutralización: Uso de ácidos o bases para estabilizar o lograr lo niveles de pH que se necesitan.

- **Desinfección:** Agregando cloro o dióxido cloro se eliminan los organismos patógenos, una alternativa es el uso de la luz ultravioleta y un producto químico, pero se usa con menor frecuencia
- **Precipitación de fosfatos:** Este va enfocado a las aguas contaminadas con fosfatos provenientes de detergentes, fertilizantes y heces, estos son eliminados con procesos de precipitación y flotación.
- **Eliminación de nitrógeno:** Consiste en agregar microorganismos anaerobios para descomponer los nitratos que formaron gracias al amonio, estos nitratos se descomponen en gas nitrógeno que se disuelve en la atmósfera.
- **Desferrización:** Para la reducción de los contenidos de hierro en las aguas se utilizan sosa caustica y oxígeno.
- **Desmanganización:** Al igual que la reducción de hierro se utiliza oxígeno para la reducción de manganeso, al descomponer hidrogenocarbonato de manganeso que se puede encontrar en las aguas residuales.

5.2 Tratamientos con ozono

Son procesos que ofrecen la posibilidad de reducir o eliminar por completo todos los microorganismos, además de ser una forma económica de purificación del agua. Es considerada como una de las mejores opciones gracias al gran poder oxidante que tiene el ozono. El ozono es más eficaz que la utilización del cloro por su capacidad de eliminar de forma más activa los contaminantes, además de que el cloro es un compuesto que afecta el pH del agua y puede generar compuestos nocivos al medio ambiente y seres vivos (Joseph y col., 2021).

Este tratamiento tiene un gran campo de aplicación en los que destacan la agricultura, la desinfección de alimentos, aguas residuales, potabilización del agua y el riego; aunque también tiene otras aplicaciones en las lavanderías industriales, limpieza y desinfección de balnearios, piscinas y spas (Eurozon, 2021).

6. Trabajos relacionados.

A lo largo de historia una gran cantidad de investigadores ha realizado trabajos utilizando ozono para tratar las aguas residuales de distintos orígenes en los que se puede destacar la industria textil, las aguas residuales de procesos de extracción de minerales como la cianuración, la desinfección de agua para consumo entre otras. A continuación, se describirán algunas de las investigaciones más actuales de este tema:

Para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil en el año 2020, se efectuó un postratamiento a escala laboratorio basado en ozono; donde utilizaron un reactor para colocar la solución con capacidad aproximada de dos litros, se aplicaron dosis de ozono de 0.05 y 0.5 g/min, la experimentación generó residuos los cuales se vertieron en una solución de yoduro de potasio de manera preventiva para evitar la formación de otros compuestos dañinos. En este trabajo llegaron a tres conclusiones, una de ellas es utilizando ozono como postratamiento para eliminar

impurezas residuales mejora la calidad del agua, la coloración que puede llegar a presentarse fue reducida; ya que se mostró un decrecimiento en espectro de absorbancia y otros compuesto o parámetros mostrados en estas aguas como el fenol y el amoníaco total, fueron eliminados un 30.8% y 62% respectivamente (Suryawan y col., 2020).

En 2019 Ding y colaboradores realizaron una investigación acerca de la desinfección utilizando ozono de agua de consumo proveniente de la purificación de agua utilizado cloro como desinfectante, ya que se notó que en este proceso ha llevado a la formación de bacterias resistentes al cloro; lo que representa un problema para el ser humano.

Uno de los objetivos de este estudio fue explorar las características fisiológicas y bioquímicas y la influencia que tiene en el ambiente como el pH y la temperatura, las pruebas se realizaron a siete cepas de bacterias resistentes al cloro del agua potable. La desinfección con ozono fue utilizada para investigar el efecto de inactivación de las bacterias y esporas presentes; para

determinar su mecanismo de activación inactivación fueron escaneadas por microscopia de electrones.

La resistencia de las bacterias fue más baja a comparación de las esporas a una concentración de ozono de 1.5 mg/L, donde el 99.99% fueron desactivadas por el incremento de la concentración de ozono y la duración del tratamiento, el ozono fue producido por un generador de ozono (Ding y col., 2019).

Otro trabajo relacionado con la utilización de ozono en el tratamiento de aguas residuales fue el realizado por Gulde y colaboradores en el año 2021. Este estudio está enfocado en la oxidación de microcontaminantes durante la ozonación de una planta piloto de agua potable seguida de una filtración biológica con arena.

Durante el proceso de ozonación se detectaron alrededor de 227 productos de transformación provenientes de 39 de los 51 microcontaminantes después de un proceso de cromatografía para la extracción de sólidos. Para la formación de productos de transformación se realizaron mediante la combinación de la cinética de la formación de radicales hidroxilos y la formación de ozono.

Mediante procedimientos analíticos se pudo diferenciar los productos de transformación que se formaron como productos primarios por la oxidación con ozono, aunque hubo algunos que se esperaran que se formaran, pero no lo hicieron. Durante la filtración con arenas se redujeron 187

productos de transformación. La ozonación se realizó en 4 reactores con un volumen de 2.2 metros cúbicos a una transferencia de ozono de 1 mg/L (Gulde y col., 2021).

6.1. Industria metalúrgica

En cuanto las aguas residuales provenientes de la industria metalúrgica; son principalmente debido a sus procesos de extracción, un ejemplo de ellos es el proceso de cianuración el cual es uno de los más utilizados para la extracción de metales preciosos como el oro, la plata o las aleaciones de estos. Las aguas residuales de este proceso al igual que las de los diversos

procesos u orígenes antes mencionados presentan las mismas dificultades como los son el manejo, descarga y su tratamiento; ya que estas aguas pueden formar compuestos nocivos para el ser humano y el ambiente.

Entre los trabajos que se mencionaran a continuación, se destaca el uso del ozono como agente oxidante principal y su combinación con otro agente oxidante como los es el peróxido de hidrogeno y el uso de un catalizador al combinar estos procesos.

Martino y colaboradores, realizaron una prueba piloto de la eliminación de cianuro utilizando solamente ozono con aguas de lavado de alto horno. Donde realizaron dos pruebas una donde se inyectaba en ozono de forma continua y la segunda se realizaba en lotes de 4-5 horas, obtuvieron como resultados que la prueba que se realizó en lotes la eliminación de cianuro fue mayor que en la continua debido a las limitaciones que presentaba la prueba y que para para obtener una mayor eliminación se requiere más tiempo e inyección de ozono para lógrala (Martino y col., 2018).

En cuanto a la combinación de dos procesos de oxidación Pueyo y colaboradores compararon la eficiencia del proceso de ozonación y la combinación de este con peróxido de hidrogeno en aguas residuales del proceso de coquización. Este caso concluyó que la remoción de cianuro no aumento con la combinación de ozono con peróxido de hidrogeno (90%); aunque si aumenta si se realiza un tratamiento previo los que dieron mejores resultados fueron la coagulación-floculación-decantación y ablandamiento con Lime Soda Ash Softening (hidróxido de calcio y carbonato de sodio) (Pueyo y col., 2016).

Además de la combinación de agentes oxidantes, también se ha estudiado el uso de catalizadores, donde Morillo y colaboradores realizaron una comparación del uso del ozono-peróxido de hidrogeno- carbón activado la remover el cianuro de aguas residuales. En el cual evaluaron el comportamiento por separado y la combinación de estos , se midió principalmente la concentración de cianuro y consumo de ozono después de cada prueba, también la concentración de cianuro se usó en varios pH, cuidando que no se formaran compuestos peligrosos y obtuvieron como resultados que la reducción de cianuro con un pH

de 11 fue la de mejores resultados en todos los casos, al igual concluyeron que la remoción fue mayor añadiendo peróxido de hidrogeno en una razón de 10 mg H_2O_2 /mg O_3 y que el uso de carbón activado no mostro una mejoría; ya que la mayor remoción resulto de la combinación de peróxido de hidrogeno con ozono (Morillo y col., 2018).

6.2. Uso de catalizadores

En la actualidad se ha estudiado es uso de catalizadores y/o minerales con una cierta porosidad, para acelerar la reacción o que estos absorban los en mayor cantidad los contaminantes dentro de las aguas. Uno de los trabajos más recientes fue el realizado por Wang y colaboradores en el año 2022, donde utilizaron ferrato de potasio para mejorar el tratamiento de aguas con ozono provenientes de la industria farmacéutica; compararon el uso combinado del ferrato de potasio y ozono con el ozono solamente, también el efecto de la reducción de los productos de ferrato de potasio en la descomposición con ozono, la influencia del orden de implantación de los tratamientos y observar si los productos de ferrato de potasio actúan como catalizador; la cual obtuvo resultados positivos por lo que es una posibilidad su uso combinado con el ozono, ya que los productos de este ferrato de potasio catalizan la ozonación al acelerar la descomposición del ozono en radicales libres de oxígeno; por lo tanto , los productos de ferrato de potasio mejoran la eficacia del tratamiento de las aguas residuales de la industria farmacéutica (Wang y col., 2021).

Otro trabajo que se realizó con catalizadores fue el de Slipko y colaboradores en el 2022, En que emplearon el carbón activado en forma de filtro durante el proceso de ozonación en un estudio piloto a largo plazo; se utilizaron tres reactores de ozono con un volumen de 12 m³, la dosis aplicada de ozono fue de 0.55 g O_3 /g; donde el consumo de la oxidación fue de 3.43 g O_3 /g. Dando como resultado que se requirieron dosis de ozono ≥ 0.6 g O_3 /g de carbón orgánico disuelto para afectar el ADN de los objetivos que eran antibióticos de bacterias y gérmenes (Slipko y col., 2022).

7. Conclusión

Como se menciona con anterioridad el principal problema que presentan todos los procesos que generan aguas residuales son el control de estas debido a los compuestos que se pueden formar con la interacción directa al agua u otros elementos presente dentro de esta, por lo que el ozono gracias a su gran efectividad para eliminar una gran cantidad de compuesto es una gran alternativa, además de que se puede combinar con otros agentes oxidantes o incluso catalizadores, los cuales ayudarían a eliminar compuestos más difíciles de remover.

Referencias

- Akansha, K., Majumber, S., Misra, M. & Ghosh-Sachan, S. (2021). Chapter 4: Role of microorganisms in performance of wastewater treatment plants. In Elsevier (Ed.), *Wastewater treatment cutting-edge molecular tools, techniques and applied aspects*. [En línea]. Disponible en: https://books.google.com.mx/books?id=udPbDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2022
- Askenaizer, D. (2003). Drinking water quality and treatment. In Academic press (Eds.), *Encyclopedia of physical science and technology 3*: 651-671. San Diego, Estados Unidos de America.
- Ding, W., Jin, W., Cao, S., Zhou, X., Wang, C., Jiang, Q., Huang, H., Tu, R., Han, S.F. & Wang, Q. (2019). Ozone disinfection of chlorine-resistant bacteria in drinking water. *Water Research*. 160: 339-349.
- Eurozon (2021). Tratamiento de agua con ozono, en *eurozon.com*. [En Línea]. Disponible en: <https://eurozon.com/tratamiento-agua-ozono/>. Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2022.

Fibras & normas de Colombia S.A.S (2018). Estas son las etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales, en *Blog fibras y normas de Colombia*. [En Línea]. Disponible en: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/etapas-del-proceso-tratamiento-aguas-residuales/>. Fecha de consulta: 22 de septiembre 2022.

Fundación ECOMAR (2020). ¿Qué son las aguas residuales?, en *fundacionecomar.org* [En Línea]. Disponible en: <https://fundacionecomar.org/que-son-las-aguas-residuales/>. Fecha de consulta 18 de septiembre 2022

Gad, S.C. (2014). Ozone. Encyclopedia of toxicology (Third Edition). *Academic press (Eds.): 747-750*.

García, B. (2020). No te fíes: estos son los riesgos de desinfectar con ozono “casero”. *En El Mundo*. Disponible en: [elmundo.es/ciencia-y-salud/salud/2020/05/17/5ec0088721efa0ae5f8b4572.html](https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/salud/2020/05/17/5ec0088721efa0ae5f8b4572.html). Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2022

Gulde, R., Clerc, B., Rutsch, M, Helbing, J., Salhi, E., McArdell, C. S. & von Gunten, U. (2021). Oxidation of 51 micropollutants during drinking water ozonation: Formation of transformation products and their fate during biological post-filtration. *Water Research*. 207: 117812.

Joseph, C.G., farm, Y., Taufiq-Yap, Y., Pang, C.K., Nga J.L.H. & Li Puma, G. Filip A. (2021). Ozonation treatment processes for the remediation of detergent wastewater: A comprehensive review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9 (5): 106099.

Liu D.H.F. & Liptak B.G. (2000). *Water treatment*. (Primer edición). Estados Unidos de América: Ed. Taylor & Francis. 5 pp.

Martino, I., Colla, V. & Branca T.A. (2018). Extension of pilot test of cyanide elimination by ozone from blast furnace gas washing water through Aspen Plus[®] based model. *Frontiers of chemical science and engineering*. 12 (4): 718-730.

Morillo Esparza, J., Cevallos Cueva, N., Sandoval Pauker, C., Vargas Jentsch, P. & Muñoz Biseti, F. (2018). Combined treatment using ozone for cyanide removal from wastewater: A comparison. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 35 (2):459-467

OMS, Organización mundial de la salud (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, en *WHO publications*. [En Línea]. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf?sequence=1. Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2022

Ozone solutions (2021). Material safety data sheet for ozone, en *ozone solutions*. [En línea]. Disponible en: <https://ozonesolutions.com/blog/material-safety-data-sheet-for-ozone/>. Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2022.

Ozonotecnia (2019). Características del ozono, en *ozonotecnia*. [En Línea]. Disponible en: <https://www.ozonotecnia.cl/caracteristicas-del-ozono/#>. Fecha de consulta 8 de septiembre 2022.

Pohanish, R.P. (2017). O, Sittin´g´s Handbook of toxic and hazardous chemicals and carcinogens (Seventh Edition). *William Andrew Publishing (Eds.)*: 2439-2482.

Pueyo, N., Miguel, N. Ovelleiro, J.L. & Ormad, M.P. (2016). Limitations of the removal of cyanide from cooking wastewater by ozonation and by the hydrogen peroxide ozone process. *Water Science & Technology*. 74 (2): 82-90.

Rodríguez de Jorge, L. (2020). El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes, España, en *iagua.es* [En línea]. Disponible en: www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes. Fecha de consulta: 2 de octubre de 2022.

Slipko, K., Reif, D., Schaar, H., Saracevic, E., Klinger, A., Wallmann, L., Krampe, J., Woegerbauer, M., Hufnagl, P. & Kreuzinger, N. (2022). Advanced wastewater treatment with

ozonation and granular activated carbon filtration: Inactivation of antibiotic resistance targets in long-term pilot study. *SSRN product & services*. 438:129396.

Suryawan, I.W.K., Helmy, Q.& Notodarmojo, S. (2020). Laboratory scale ozone-based post-treatment from textile wastewater treatment plant effluent for water reuse. *Journal of physics conference series*. 1456: 012002.

Thai parkerizing. (2022). The importance of wastewater analysis, Thailandia , en thaiparker.co. [En Línea]. Disponible en: <https://www.thaiparker.co.th/en/articles/laboratory-services/the-importance-of-wastewater-analysis>. Fecha de consulta: 12 de febrero 2023.

Takeuchi, K. (2005). Encyclopedia of analytical science (Second Edition). *Elsevier (Eds.)*. Ozone. .462-471

USGS, Water science school (2018). Wastewater treatment water use, Estados Unidos de América, en usgs.gov. [En Línea]. Disponible en: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/wastewater-treatment-water-use>. Fecha de consulta: 2 de octubre de 2022.

Wang, Y., Wang, N., Li, M., Bai, B. & Wang, H. (2022). Potassium ferrate enhancing ozone treatment for pharmaceutical wastewater – oxidation and catalysis. *SSRN Product & services*. 49: 103055.