



PRISMA ODS
REVISTA MULTIDISCIPLINARIA
SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE
ISSN: 3072-8452

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DESTRUCCIÓN ELECTROQUÍMICA DE FORMALDEHÍDO EN AGUA

*DETERMINATION OF
THE
ELECTROCHEMICAL
DEGRADATION RATE
OF FORMALDEHYDE IN
WATER*

AUTOR

MARCO ARTURO
ARCINIEGA GALAVIZ
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE OCCIDENTE
MÉXICO

Determinación de la Velocidad de Destrucción Electroquímica de Formaldehído en Agua

Determination of the Electrochemical Degradation Rate of Formaldehyde in Water

Marco Arturo Arciniega Galaviz
marco.arciniega@uadeo.mx
<https://orcid.org/0000-0001-8532-7130>
Universidad Autónoma de Occidente
Los Mochis – México

Artículo recibido: 11/02/2026
Aceptado para publicación: 18/03/2026
Conflictos de Intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

La destrucción de formaldehído por métodos electroquímicos utilizando un electrolito de cloruro de sodio (NaCl) es un proceso avanzado de oxidación ambiental. Se basa en la generación in situ de agentes oxidantes fuertes, principalmente hipoclorito de sodio, a partir de la electrólisis de la salmuera (NaCl), que luego oxidan el formaldehído. El formaldehído es el más sencillo de los aldehídos con fórmula $H_2C=O$, es usado para producir adhesivos y aglutinantes en la industria de la madera, papel y fibras sintéticas, en solución acuosa es utilizado como desinfectante y conservador de tejidos orgánicos, en ámbitos laborales es posible causa de cáncer a nivel de senos paranasales, naso-orofaringe y pulmón en personas, el formaldehído puede ser descargado dentro de aguas residuales. El objetivo fue estudiar la velocidad de destrucción del formaldehído por método electroquímico, se evaluaron dos distintas concentraciones del analito (formaldehído), dos diferentes concentraciones del electrolito soporte (cloruro de sodio), cuatro distintos voltajes (2.0, 2.5, 3.0 y 3.5 volts) y tiempos de reacción (desde 0 hasta 90 minutos). Se tiene una mayor velocidad de destrucción de formaldehído al utilizar voltajes más grandes, al aplicar 3.5 volts se necesitaron entre 8 y 10 minutos para destruir un porcentaje tal que si se utilizara 2.5 volts se necesitaría 60 minutos. Hay mayor velocidad de destrucción al utilizar concentraciones mayores del electrolito soporte y al utilizar los voltajes más grandes.

Palabras clave: contaminación, electroquímica, electrofiltro, tratamiento

ABSTRACT

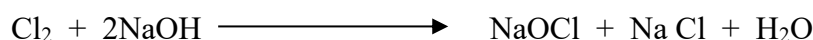
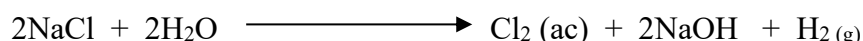
The electrochemical destruction of formaldehyde using a sodium chloride (NaCl) electrolyte is an advanced environmental oxidation process. It is based on the in-situ generation of strong oxidizing agents, mainly sodium hypochlorite, produced through the electrolysis of brine (NaCl), which subsequently oxidize formaldehyde. Formaldehyde is the simplest aldehyde, with the molecular formula $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$, and is widely used in the production of adhesives and binders in the wood, paper, and synthetic fiber industries. In aqueous solution, it is employed as a disinfectant and preservative of organic tissues. In occupational settings, formaldehyde exposure has been associated with carcinogenic effects, particularly affecting the paranasal sinuses, naso-oropharynx, and lungs, and it may be discharged into wastewater streams. The objective of this study was to evaluate the rate of formaldehyde destruction using an electrochemical method. Two different formaldehyde concentrations, two supporting electrolyte (sodium chloride) concentrations, four applied voltages (2.0, 2.5, 3.0, and 3.5 V), and reaction times ranging from 0 to 90 minutes were investigated. The results showed a higher formaldehyde destruction rate at higher applied voltages. At 3.5 V, a comparable level of formaldehyde removal was achieved within 8–10 minutes, whereas at 2.5 V, approximately 60 minutes were required. Additionally, higher destruction rates were observed when higher concentrations of the supporting electrolyte and higher voltages were used.

Keywords: pollution, electrochemistry, electrofilter, treatment

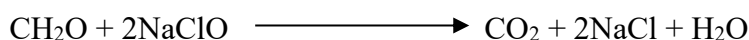
INTRODUCCIÓN

El formaldehído es el más sencillo de los aldehídos con fórmula $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$, altamente volátil e inflamable (ATSDR, 2016). Es muy soluble en agua (40 % v/v de agua a 20 °C), su disolución en agua recibe el nombre de formol y es un compuesto con un 37% de formaldehído y un 63% de agua. El formaldehído es usado para producir adhesivos y aglutinantes en la industria de la madera, papel y fibras sintéticas, así como en la producción de plásticos, recubrimientos y acabado textil. En solución acuosa es utilizado como desinfectante y conservador de tejidos orgánicos. Los trabajadores mayormente expuestos son los que barnizan muebles y suelos de madera, los que tratan pieles, embalsamadores, patólogos y en la industria del papel (Gobierno de España, 2018). El formaldehído en ámbitos laborales es posible causa de cáncer a nivel de senos paranasales, naso-orofaringe y pulmón en personas (Molina et al, 2018). De acuerdo la OSAH (2021), el límite de exposición permisible es de 0.75 ppm como promedio ponderado en el tiempo (TWA) durante una jornada laboral de 8 horas.

Claramente existe la necesidad de desarrollar métodos para la destrucción del formaldehído, una opción es generar electroquímicamente un oxidante en exceso que al mezclarse con una solución acuosa con formaldehído se lleve a cabo una reacción química para destruirlo y convertirlo en compuesto inerte como CO_2 y H_2O . Uno de los oxidantes más usados para eliminar contaminantes en agua es el hipoclorito, el cual podría ser generado electrolíticamente y adicionado a efluentes industriales. La generación de este oxidante se puede obtener mediante la electrólisis de una solución cloruro de sodio (sal común) mediante la siguiente reacción química:



En la reacción en la cual el formaldehído es destruido por el hipoclorito de sodio, se obtienen los productos CO_2 , NaCl y H_2O .



Aunque el cloro gas o hipoclorito pueden ser comprados para estos tratamientos, representan un costo más alto en comparación al costo de cloruro de sodio.

Durante la destrucción del formaldehído (CH_2O) de manera electroquímica y utilizando una solución soporte de cloruro de sodio se produce de acuerdo a las siguientes reacciones anódicas y catódicas:

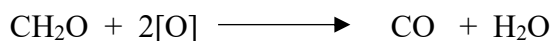
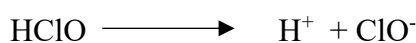
Reacción anódica:



Reacción catódica:



Reacción química en el compartimento anódico:



El objetivo fue estudiar la velocidad de destrucción del formaldehído mediante una matriz formada por las siguientes variables: concentración del analito, concentración del electrolito de soporte, voltaje aplicado y tiempo de reacción.

METODOLOGÍA

Para conocer la velocidad de destrucción de formaldehído se evaluaron dos distintas concentraciones del analito (formaldehído), dos diferentes concentraciones del electrolito soporte (cloruro de sodio), cuatro distintos voltajes y tiempos de reacción.

El cloruro de sodio utilizado fue grado reactivo marca Fagalab y la fuente de poder para producir la electrolisis fue marca Furnell Instruments 0-30 Volts y 5 Amperes. La solución de formaldehído fue grado reactivo de la marca Baker.

Los tiempos de reacción se aplicaron con intervalos de 10 minutos, para el caso donde se utilizaron 3 volts los intervalos de tiempo fue cada 5 minutos y para 3.5 volts cada dos minutos. Los intervalos fueron diferentes debido a que al utilizar los voltajes más grandes (3 y 3.5 volts) la velocidad de destrucción aumentó.

Ya que se desconocía la velocidad de destrucción del formaldehído, se realizaron pruebas que sirvieron como referencia para poder determinar los rangos de voltaje, la concentración de NaCl y los tiempos de reacción.

Tabla 1. Variables utilizadas para destrucción de formaldehído

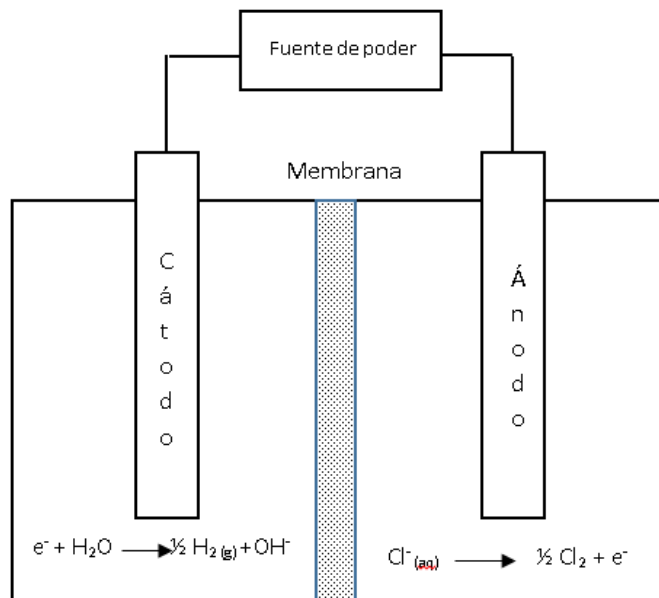
CONCENTRACIÓN DEL ANALITO	CONCENTRACIÓN DEL ELECTROLITO SOPORTE	VOLTAJE APLICADO	TIEMPO DE REACCIÓN
100 ppm CH ₂ O	0.1M NaCl	2.0 volts	0,10,20,30,40,50,60 minutos
		2.5 volts	0,10,20,30,40,50 minutos
		3.0 volts	0,5,10,15,20 minutos
		3.5 volts	0,2,4,6,8 minutos
	0.2M NaCl	2.0 volts	0,10,20,30,40,50,60 minutos
		2.5 volts	0,10,20,30,40,50 minutos
		3.0 volts	0,5,10,15,20 minutos
		3.5 volts	0,2,4,6,8 minutos
CONCENTRACIÓN DEL ANALITO	CONCENTRACIÓN DEL ELECTROLITO SOPORTE	VOLTAJE APLICADO	TIEMPO DE REACCIÓN
300 ppm CH ₂ O	0.1M NaCl	2.0 volts	0,10,20,30,40,50,60,70,80,90 minutos
		2.5 volts	0,10,20,30,40,50,60,70,80,90 minutos
		3.0 volts	0,5,10,15,20,25 minutos
		3.5 volts	0,5,10,15,20,25 minutos
	0.2M NaCl	2.0 volts	0,10,20,30,40,50,60,70 minutos
		2.5 volts	0,10,20,30,40,50,60,70 minutos
		3.0 volts	0,5,10,15,20,25 minutos
		3.5 volts	0,2,4,6,8 minutos

Fuente: Elaboración propia.**Procedimiento de los tratamientos.**

Para realizar los tratamientos se construyó un electrofiltro, en donde los electrodos (cátodo y ánodo) fueron barras de grafito por ser un buen conductor de la electricidad, los electrodos se conectaron con cables de cobre a una fuente de poder 0-30 V 5A. Los compartimentos de

fueron separadas por una membrana microporosa de polisufona por su resistencia a un amplio rango de pH.

Figura 1. Procedimiento de los tratamientos con Electrofiltro



Fuente: Elaboración propia.

Primeramente, en el compartimiento anódico se colocó la solución acuosa de formaldehído y en el compartimiento catódico la solución acuosa de cloruro de sodio, posteriormente, se colectó la fuente de poder para aplicar el voltaje correspondiente de acuerdo al diseño experimental, esta operación se realizó dentro de una campana de extracción por la cantidad de hidrogeno gaseoso producido en el cátodo y gas cloro en el ánodo.

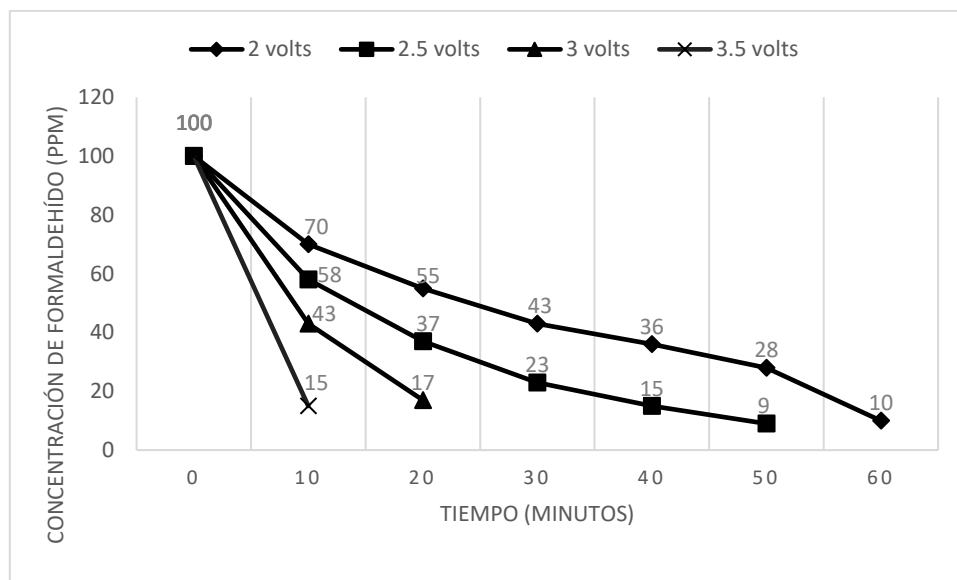
De acuerdo a los tiempos de reacción estipulados, se tomaron muestras de la solución en el compartimiento anódico para medir las concentraciones de formaldehído que permanecía sin destruir.

Para determinar las concentraciones de formaldehído después de los tratamientos, se utilizó el método MBTH (3-metil-2-benzotiazolin hidrazona), el cual es muy usado para determinar aldehídos alifáticos. Este método es una prueba colorimétrica para medir concentraciones pequeñas de aldehídos, siendo muy sensitivo para formaldehído. La concentración fue determinada por la absorbancia de color azul a 635 nm por espectrofotometría. Para esta investigación se utilizó el espectrofotómetro Spectronic 21 D Milton Roy.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se muestran por medio de graficas como varia la velocidad de destrucción del formaldehído al utilizar diferentes voltajes y distintos tiempos de reacción, para cada grafica se indica la concentración de formaldehído inicial y la concentración del electrolito soporte.

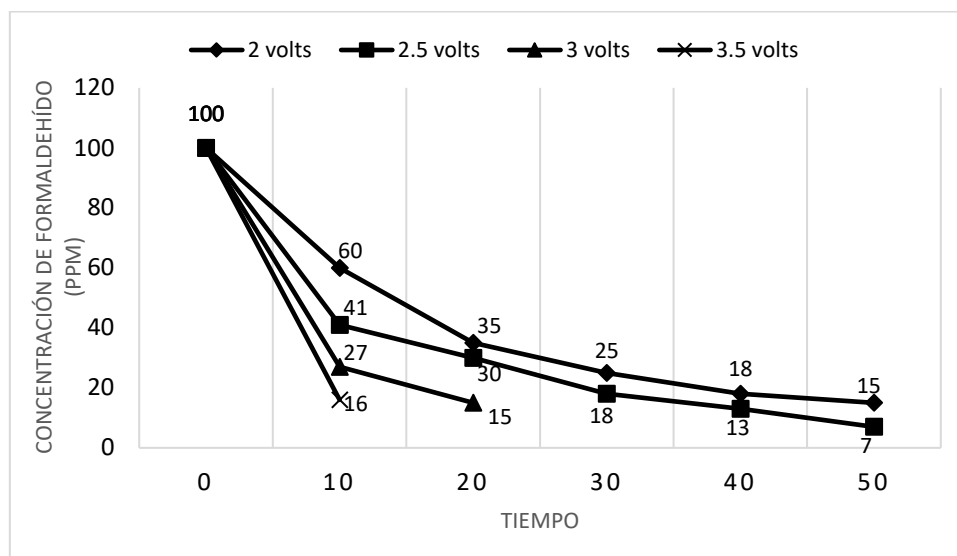
Figura 2. Variación de la concentración de formaldehído con respecto al tiempo al aplicar diferentes voltajes $[\text{CH}_2\text{O}]_0 = 100 \text{ ppm}$ $[\text{NaCl}] = 0.100\text{M}$



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura 2, al ser mayor la cantidad de voltaje aplicado la velocidad de destrucción del formaldehído también aumenta, la concentración inicial de 100 ppm de formaldehído y al usar un voltaje de 2volts se destruye e 30% en 10 minutos, mientras que, en ese mismo tiempo de reacción, al aplicar un voltaje mayor (3.5 volts) el porcentaje de destrucción fue del 85%. La velocidad destrucción del formaldehído aumenta conforme avanza el tiempo de reacción, al aplicar un voltaje de 2 volts, en los primeros 10 minutos se elimina el 30%, en los siguientes 10 minutos (20 minutos de reacción) el 45% es destruido, al pasar otros 10 minutos (30 minutos de reacción) la eliminación del formaldehído es del 57% y a los 60 minutos de reacción se destruyó el 90% (Figura 2).

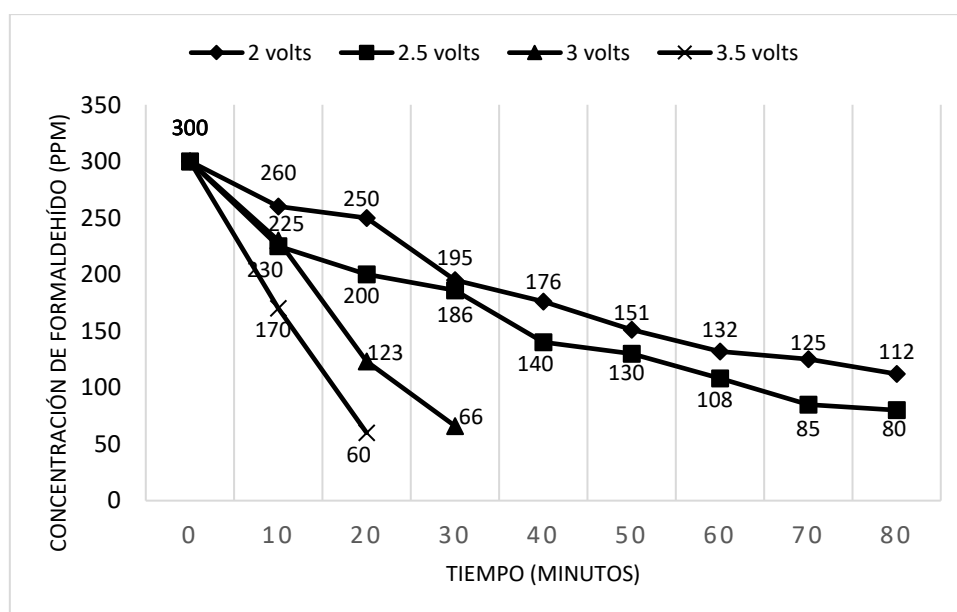
Figura 3. Variación de la concentración de formaldehído con respecto al tiempo al aplicar diferentes voltajes $[\text{CH}_2\text{O}]_0 = 100 \text{ ppm}$ $[\text{NaCl}] = 0.200\text{M}$



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3, se muestra una tendencia de la velocidad de destrucción del formaldehído similar al mostrado en la figura 2, al ser mayor el voltaje aumenta la velocidad de destrucción, así como al ser mayor el tiempo de reacción aumenta el porcentaje de eliminación. Se puede observar que al tener una concentración del electrolito soporte (NaCl) mayor, los porcentajes de destrucción también aumentan, ya que al existir una mayor cantidad de moléculas de cloruro de sodio la producción del oxidante (hipoclorito de sodio) aumenta.

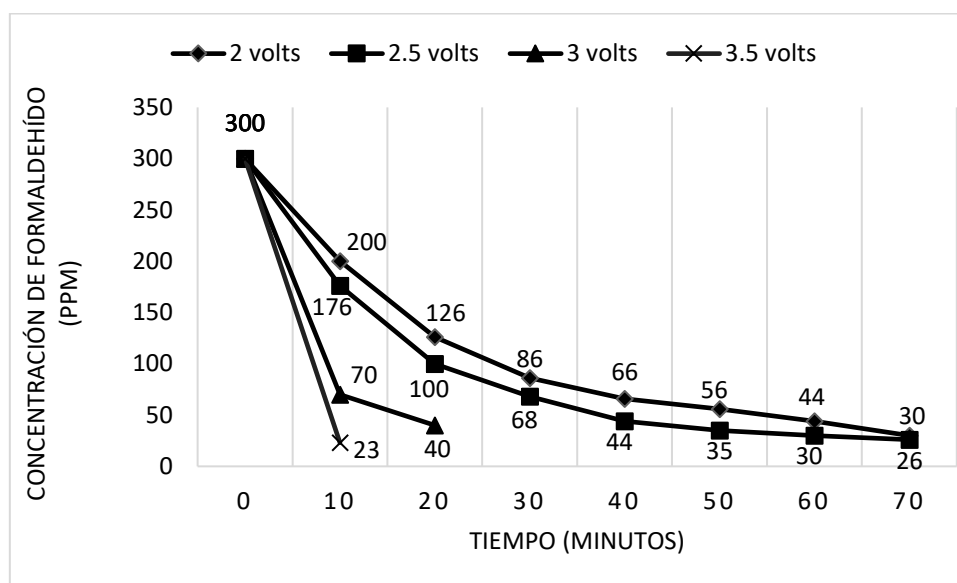
Figura 4. Variación de la concentración de formaldehído con respecto al tiempo al aplicar diferentes voltajes $[\text{CH}_2\text{O}]_0 = 300 \text{ ppm}$ $[\text{NaCl}] = 0.100\text{M}$



Fuente: Elaboración propia.

Al modificar la concentración de formaldehído (aumentarla de 100 ppm a 300 ppm) (Figura 3), existe una mayor cantidad de formaldehído destruido al ser menor la cantidad de éste y utilizando la misma cantidad de cloruro de sodio, al usar la misma cantidad de NaCl y la misma corriente eléctrica, la cantidad de especies oxidantes generadas es prácticamente la misma; por lo tanto, a mayor concentración inicial de formaldehído, hay menos oxidante disponible por molécula, reduciendo el porcentaje de destrucción.

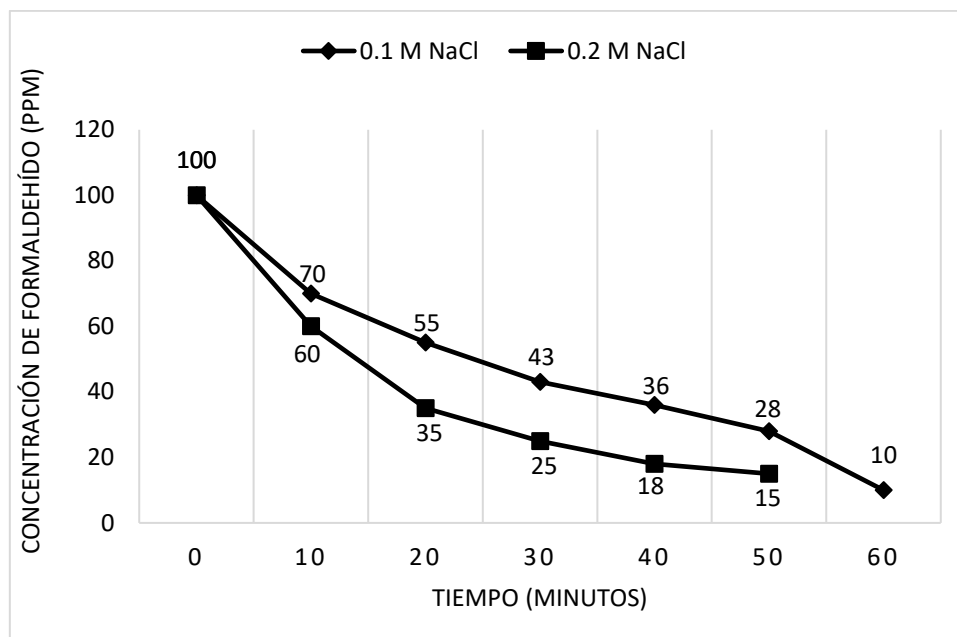
Figura 5. Variación de la concentración de formaldehído con respecto al tiempo al aplicar diferentes voltajes $[\text{CH}_2\text{O}]_0 = 300 \text{ ppm}$ $[\text{NaCl}] = 0.200 \text{ M}$



Fuente: Elaboración propia.

Si comparamos las velocidades de destrucción utilizando la misma cantidad de formaldehído (300 ppm) y dos diferentes cantidades de cloruro de sodio (0.200 M y 0.100 M) (Figura 5), se presenta una mayor velocidad de destrucción de formaldehído al usar una concentración de 0.200 M en comparación a 0.100 M. Esto se entiende que al haber mayor cantidad de cloruro de sodio del cual se obtiene el oxidante (HOCl), la cantidad de oxidante también aumenta y por lo tanto el porcentaje de destrucción del formaldehído.

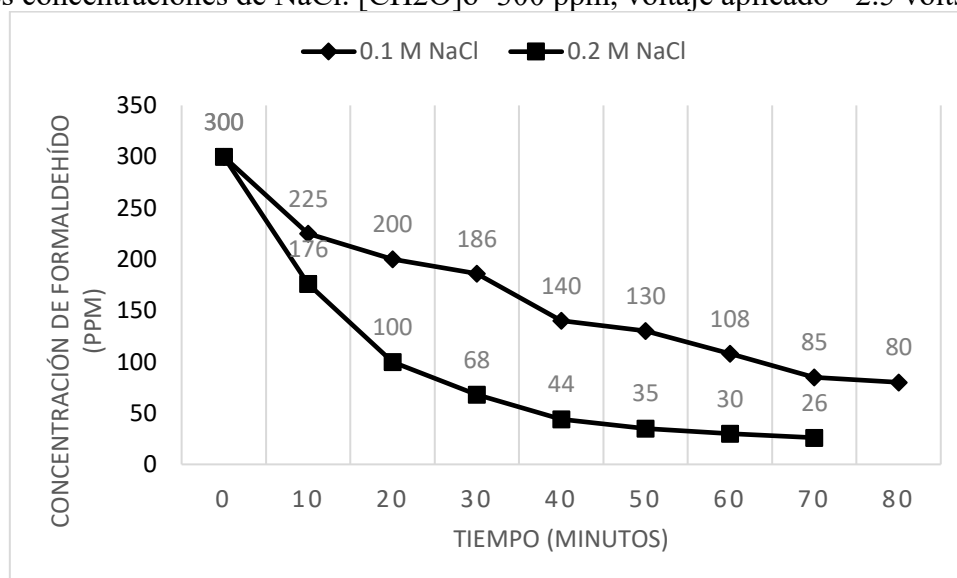
Figura 6. Variación de la concentración de formaldehído con respecto al tiempo al aplicar diferentes concentraciones de NaCl. $[\text{CH}_2\text{O}]_0=100$ ppm, voltaje aplicado= 2.0 volts



Fuente: Elaboración propia.

Se observa la misma tendencia que en los tratamientos anteriores, se puede ver en la Figura 6, que existe una mayor cantidad de destrucción de formaldehído al utilizar una concentración mayor de NaCl lo que implica un aumento de la producción del oxidante (HOCl).

Figura 7. Variación de la concentración de formaldehído con respecto al tiempo al aplicar diferentes concentraciones de NaCl. $[\text{CH}_2\text{O}]_0=300$ ppm, voltaje aplicado= 2.5 volts



Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento es el mismo, la cantidad de destrucción de formaldehído aumenta al ser mayor la cantidad de NaCl, y al hacer una comparación al utilizar diferentes voltajes (2.0 volts y 2.5 volts) para las mismas cantidades de NaCl, se tiene un mayor porcentaje de destrucción de formaldehído al aplicar un voltaje más alto, un factor es que al ser más grande el voltaje, también la producción de oxidante.

Debido a las limitaciones experimentales del sistema, no se realizaron réplicas independientes para cada nivel de voltaje.

CONCLUSIÓN

Se tiene una mayor velocidad de destrucción de formaldehído al utilizar voltajes más grandes, al aplicar 3.5 volts se necesitaron entre 8 y 10 minutos para destruir un porcentaje tal que si se utilizara 2.5 volts se necesitaría 60 minutos.

También hubo una mayor velocidad de destrucción al utilizar concentraciones mayores del electrólito soporte, se necesitó 20 minutos para destruir 66.6% usando una solución 0.200 M de NaCl, mientras que en el mismo tiempo solamente destruyó el 33.3% de formaldehído usando una solución de 0.100 M de NaCl.

La velocidad de destrucción del formaldehído por medios electroquímicos utilizando NaCl para la obtención del oxidante, no depende únicamente de la concentración inicial del contaminante, sino principalmente de la disponibilidad de especies oxidantes generadas electroquímicamente, la cual está controlada por la concentración de cloruro, la corriente aplicada y el tiempo de reacción

Este tipo de procedimientos para destruir contaminantes en agua es de gran importancia, es necesario nuevas investigaciones con variables de pH y temperatura, el uso de catalizadores con la finalidad de destruir compuestos tóxicos de una manera más eficiente

REFERENCIAS

ASTDR-Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2016). Resúmenes de Salud Pública – Formaldehído (Formaldehyde). https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs111.html

Hladová, M., Martinka, J., Rantuch, P., & Nečas, A. (2019). *Review of spectrophotometric methods for determination of formaldehyde. Research Papers Faculty of Materials*

Science and Technology, Slovak University of Technology, 27(44), 105–120.
<https://doi.org/10.2478/rput-2019-0012>

Hoyos Santos, L. B., Alzate Mejía, O. A., Posada Estrada, A., Benítez Jiménez, D. D., & Muñoz Alzate, J. M. (2024). Efectividad de sustancias alternativas al formol en la fijación y conservación de estructuras y tejidos en laboratorios de patología. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 5(2), 206–225.
<https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i2.133>

Gobierno de España (2018). Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del formaldehído.
<https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+123++Formaldeh%C3%ADdo++A%C3%B1o+2018.pdf/322d8406-0dfd-4c21-9ee1-40c5c63a23f1?version=1.0&t=1551310413093>

Marín, L. (2007). Producción de hipoclorito de sodio mediante electrólisis de una solución de cloruro de sodio [Resumen de Hidrogénesis Vol. 5, N.º 1]. *Revista Hidrogénesis*. En los sistemas productores de hipoclorito de sodio se genera esta solución por electrólisis de una salmuera preparada con cloruro de sodio (sal común), agua y electricidad.

Molina Aragonés, JM, Bausà Peris, R, Carreras Valls, R, Carrillo Castillo, A, Fiblà Nicolau, F, Gaynés Palou, E, Guerrero Monge, J, Inglés Torruella, J, López Muñoz, JA, Martínez Martínez-Carrasco, E, Matllo Aguilar, J, Medina Lavela, JA, Mestre Prad, MT, Peña García, P, Rodríguez Vallecillos, S, Tapias Oller, G, & Vilardell Ynaraja, M. (2018). Toxicidad del formaldehído en trabajadores profesionalmente expuestos. Revisión bibliográfica. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 21(3), 128-157. Epub 21 de septiembre de 2020.
<https://dx.doi.org/10.12961/aprl.2018.21.03.3>

OSHA-Occupational Safety and Health Administration. (1992). Formaldehyde (OSHA Standard No. 1910.1048). United States Department of Labor.
<https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1048>

Peñalver Paolini, M.A., Mazón Cuadrado, L., Rosado María, M., Sánchez-Cifuentes, M.V., Colino Romay, E., & Berrocal Fernández, P. (2016). ¿Se puede controlar el Formaldehído?. *Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo*, 25(4), 204-210. Recuperado en 30 de enero de 2026, de

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S3020-11602016000400002&lng=es&tlng=es

Villadiego-Molinares, M. M., Ramírez-Martínez, J. A., & Rodríguez-Pulido, A. I. (2020). Formaldehyde in occupational environments: Literature review and an occupational health surveillance proposal / Formaldehído en ambientes laborales: revisión de la literatura y propuesta de vigilancia ocupacional. *Revista de la Facultad de Medicina*, 68(3), 425–437. Universidad Nacional de Colombia.

Villalobos Rodríguez, R. (s. f.). *Propiedades de las membranas de polisulfona: rango de tolerancia al pH*. Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). Según Cheryan (1988), las membranas de polisulfona toleran un amplio rango de pH desde aproximadamente pH 1 hasta pH 13, lo que indica su estabilidad química en ambientes tanto ácidos como alcalinos.

© Los autores. Este artículo se publica en Prisma ODS bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Esto permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, incluidos fines comerciales, siempre que se otorgue la atribución adecuada a los autores y a la fuente original.



 <https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i1.170>

Cómo citar este artículo (APA 7ª edición):

Arciniega Galaviz, M. A. . (2026). Determinación de la Velocidad de Destrucción Electroquímica de Formaldehído en Agua. *Prisma ODS: Revista Multidisciplinaria Sobre Desarrollo Sostenible*, 5(1), 331-344. <https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i1.170>