



Evaluación del tamaño de porosidad de una membrana polimérica a partir de acetato de celulosa con nanopartículas de óxido de silicio

Evaluation of the porosity size of a polymeric membrane made from cellulose acetate with silicon oxide nanoparticles

Ceras, Caty ¹; Ingaruca, Ever F. ¹; Vilca, Orlando A. ¹; Rojas, Edgar L. ¹ y Caro, Esaú ¹

¹Facultad de Ingeniería Química,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

Cómo referenciar:

Ceras, C., Ingaruca, E. F., Vilca, O. A., Zacarías, E. L., y Caro, E. T. (2023). Evaluación del tamaño de porosidad de una membrana polimérica a partir de acetato de celulosa con nanopartículas de óxido de silicio. *Prospectiva Universitaria*, 20(01), 48-53. <https://doi.org/10.26490/uncp>

Resumen

Las membranas poliméricas de celulosa se utilizan en los procesos de ultrafiltración para la retención de partículas de tamaños superiores a 2.5 μm ; sin embargo, la porosidad de las fibras en las membranas no es homogénea dejando pasar a las bacterias durante la purificación de agua de consumo humano. En la presente investigación se adicionó nanopartículas de SiO_2 a las fibras de las membranas de nitrato de celulosa para evaluar la capacidad de disminución de la porosidad. Se utilizaron membranas de porosidad entre 0.29 y 17.74 μm cuya distribución entre las fibras de la celulosa no fueron homogéneas. La adición de las nanopartículas de SiO_2 a las membranas de nitrato de celulosa disminuyeron la porosidad hasta un tamaño de poro de 0.82 y 3.02 μm .

Palabras clave: porosidad, nanopartículas SiO_2 , membranas.

Abstract

Polymeric cellulose membranes are used in ultrafiltration processes for the retention of particles larger than 2.5 μm ; however, the porosity of the fibers in the membranes is not homogeneous, allowing bacteria to pass through during the purification of water for human consumption. In the present investigation, SiO_2 nano-particles were added to the fibers of cellulose nitrate membranes to evaluate the porosity decreasing capacity. Membranes of porosity between 0.29 and 17.74 μm whose distribution among the cellulose fibers were not homogeneous were used. The addition of SiO_2 nano-particles to the cellulose nitrate membranes decreased the porosity to a pore size of 0.82 and 3.02 μm .

Keywords: porosity, SiO_2 nano-particles, membranes.

1 Introducción

Las membranas por su composición polimérica es uno de los materiales de gran uso en la separación no solo de metales, sino de otros componentes orgá-

nicos presentes en los cursos de aguas subterráneas y superficiales que disminuyen la calidad del agua de consumo.

La otra dificultad es la presencia de bacterias en el agua a potabilizar; por todo ello, es necesario que

se utilice las membranas de separación combinadas con nanopartículas para una disminución completa de los contaminantes presentes en las aguas de uso doméstico. Las nanopartículas vienen aplicándose en diferentes tratamientos de agua potable debido a los siguientes factores.

Efecto de agregación y concentración: el aumento de la concentración de nanopartículas promueve un estado de agregación. La mayoría de los agregados de nanopartículas de tamaños micrométricos no pueden penetrar en las células y de este modo pierden su toxicidad.

Efecto de pre exposición: la actividad fagocítica celular puede ser estimulada por un tiempo de exposición más corto o por la exposición previa de concentraciones más bajas de nanopartículas

1.1 Concentración de acetato de celulosa para la formación de una película de membrana polimérica

Los nano materiales por tener una mayor área superficial son capaces de trabajar a baja concentración, y al combinarlos con las estructuras poliméricas se forman membranas catalíticas nano estructuradas que sirven para eliminar los contaminantes de las aguas residuales y a la vez son ecológicas y eficientes. Estas bondades de la combinación entre nanopartículas y membranas facilitan el tratamiento de las aguas residuales y son de bajo costo para su comercialización (Yaqoob et al., 2020).

Al unirse las nanopartículas a las membranas forman una película gomosa, que al calentarse por encima de su temperatura de transición vítrea pueden generar nuevas porosidades de las membranas. Las propiedades de las membranas utilizadas en nano filtración deben tener un corte de peso molecular inferior a 500 g/mol y una baja tendencia al ensuciamiento (Marchetti et al., 2015).

El proceso de filtración con membranas nanocompuestas mejoran la matriz de una membrana polimérica gracias a la adición de nanopartículas de óxidos metálicos. La mejora de las propiedades en cuanto a su antiincrustante, antimicrobianas y permeabilidad es adecuada con respecto a las membranas desnudas o sin la adición de nanopartículas.

Las membranas nanocompuestos generalmente muestran mejores propiedades antiincrustantes debido a las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas y la menor rugosidad de la membrana. El efecto a la mejora de la permeabilidad es por dispo-

ner de una mayor porosidad y una distribución más estrecha por el tamaño de los poros que son los aportes de los nano conductores.

La concentración de las nanopartículas aumenta el rendimiento de las membranas, y estas concentraciones óptimas depended de las propiedades de las nanopartículas como de la composición de las membranas. Las membranas poliméricas compuestas tienen las mejores propiedades fisicoquímicas para la utilización en los procesos de microfiltración y nano filtración del tratamiento y desinfección de aguas.

Los materiales inorgánicos de nanopartículas de TiO_2 , ZnO , Ag y Cu dan los mejores rendimientos en los procesos de separación por la mejora de sus propiedades de estabilidad antiincrustante, mecánica, térmica y física y química. Estos nano materiales muestran una actividad biológica específica hacia virus, bacterias y protozoos que se encuentran en las aguas.

Esta combinación de membranas compuestas y de nuevos materiales híbridos se utilizan en la desinfección del agua (Castro-Muñoz, 2020). Las membranas de acetato de celulosa disminuyen la rugosidad a medida que la concentración de polímeros aumenta hasta un 15% de peso, por otra parte, la membrana disminuye el contenido de agua y su porosidad a diferencia que aumenta su resistencia hidráulica que es analizada con microscopía electrónica de barrido según su morfología (Shoba et al., 2020).

Cuando se aumenta el peso hasta un 20 % de las nanopartículas de óxido de sílices, también aumentan la permeabilidad de las membranas nano compuestas para la selectividad de CO_2/N_2 (Najafi et al., 2018). Las membranas nano fibrosas electro hiladas están revolucionando los procesos de filtración en la purificación de agua potable y aguas residuales con un menor consumo de energía y alta eficiencia en comparación con las membranas convencionales.

Al tener una alta porosidad, cercano al 80%, con respecto a las membranas convencionales de porosidad entre 5 - 35%. Estas membranas nanocompuestas son modificadas sus superficies para mejorar los problemas de incrustaciones y el tratamiento de aguas residuales (Tili & Alkanhal, 2019). Los nanocompuestos de membranas y nanopartículas que conforman una matriz polimérica aumentan una mayor eficiencia de eliminación de metales como es el caso de la disminución de arsénico con una membrana de acetato de celulosa y nanopartículas ZnO (Potla et al., 2018). En la obtención de membranas poliméricas un aumento de la concentración de

acetato de celulosa y la composición de los disolventes como la acetona aumentan las fibras de las membranas y se modifica su morfología con el aumento del peso molecular (Crabbe-Mann et al., 2018).

1.2 Concentración de nanopartículas de óxido de silicio en membranas poliméricas de celulosa

La preparación de membranas nano compuestas tiene varios métodos de preparación. Las propiedades de estas nuevas membranas son modificadas al cambiar el tipo y la concentración de los monómeros que reaccionan, así como las variables del proceso de obtención de las membranas.

Las nanopartículas de acuerdo a sus estructuras hacen modificar las propiedades de las membranas con diferentes concentraciones y el proceso de mezclado de los componentes. Las principales modificaciones se realizan a las condiciones de reacción de polimerización y la concentración de monómero (Adamczak et al., 2019). La filtración del agua a través de membranas es un método alternativo en el tratamiento del agua para uso poblacional.

La membrana actúa como una barrera selectiva que bloquea el paso de algunos componentes tóxicos presentes en las aguas. En el trabajo de (Ribeiro et al., 2007) utilizaron una inoculación de 107 a 108 unidades formadoras de colonias (UFC) de *Escherichia coli* por ml. En el proceso de separación de estas bacterias se realizó por inversión de fase, y las membranas se prepararon con soluciones poliméricas, incluyendo polisulfona y fluoruro de polivinilideno. En ambos casos se adicionó polimetacrilato de metilo a las soluciones poliméricas, utilizando N, N-dimetilformamida como disolvente.

Después del proceso de separación con este tipo de membranas se logra reducir la carga bacteriana hasta un 99 y 100% al utilizar un caudal de agua con $300 L/h \times m^2$. Las principales tecnologías para la modificación de las membranas son de tres tipos, en primer lugar, se tiene las modificaciones post fabricadas, luego las membranas electro hilado y finalmente el recubrimiento y plasma; tanto, para las membranas poliméricas y cerámicas. Al realizar las modificaciones se logran nuevas propiedades que permiten comprender los problemas operacionales de la tecnología de separación por membranas que conducen a encontrar nuevas alternativas de procesos de separación (Madalosso et al., 2021). Las membranas compuestas de película delgada se preparan al recu-

brir con nanopartículas de polímeros y que algunos casos pueden ser de poliestireno o polibutadieno para formar un soporte de ultrafiltración hidrófilo. Esta película de nanopartículas proporciona una capa de separación libre de defectos con un espesor de 130 a 150 nm capaz de ser altamente permeable y soportar condiciones de pH agresivas más allá del rango de membranas comerciales disponibles (Marchetti et al., 2015).

Existen variedades de polímeros que se utilizan para la purificación de las aguas de uso poblacional; sin embargo, para la recuperación de las aguas residuales existen muy pocos tipos de membranas, en este contexto los polímeros conductores están siendo utilizadas en la eliminación de contaminantes nocivos presentes en las aguas residuales. Las primeras tecnologías lo realizaban por adsorción de los iones pesados, luego para la adsorción de otros tipos de contaminantes como los colorantes orgánicos.

Últimamente, se vienen utilizando foto catalizadores basados en membranas conductoras para el tratamiento de aguas residuales. Los materiales con base en la celulosa tienen alternativas viables a los polímeros sintéticos debido a sus características físico-químicas y biológicas favorables. Al generarse una matriz orgánica facilita la incorporación de partículas de hidroxiapatita, enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares, así como las interacciones electrostáticas que se forman entre los grupos funcionales en la superficie de las cadenas poliméricas y las nanopartículas inorgánicas. Los métodos de producción de las membranas, como la inversión de fase, el electrohilado o el ensamblaje electrostático gradual, junto con las diversas estrategias empleadas para obtener una dispersión homogénea de las partículas inorgánicas en la matriz polimérica (Oprea & Voicu, 2020).

1.3 Tamaño de porosidad de la membrana polimérica de celulosa con nanopartículas

Las estructuras de las membranas poliméricas constituidas de por un metal y un compuesto orgánico es muy importante por generar nuevas propiedades de flexibilidad y con aplicaciones potenciales en la purificación de las aguas. Una de las mayores dificultades es el transporte de los compuestos a separar durante la filtración por membranas, siendo estos estudios de investigaciones futuras (Jun et al., 2020). Las estructuras de membranas poliméricas compuestas, también son útiles en evitar las sus-

tancias peligrosas, iones metálicos y disolventes orgánicos, esto gracias a la formación de los complejos poliméricos. Las propiedades mejoradas de estos tipos de polímeros pueden fácilmente cumplir con la aplicación de los 12 principios de la química verde principalmente dirigida a los procesos de adsorción y en la terapéutica relacionados con la salud humana (Kumar et al., 2020). El proceso de filtración con membranas nanocompuestas mejoran la matriz de una membrana polimérica gracias a la adición de nanopartículas de óxidos metálicos. La mejora de las propiedades en cuanto a su antiincrustante, antimicrobianas y permeabilidad es adecuada con respecto a las membranas desnudas o sin la adición de nanopartículas. Las membranas nanocompuestas generalmente muestran mejores propiedades antiincrustantes debido a las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas y la menor rugosidad de la membrana. El efecto a la mejora de la permeabilidad es por disponer de una mayor porosidad y una distribución más estrecha por el tamaño de los poros que son los aportes de los nanoconductores. La concentración de las nanopartículas aumenta el rendimiento de las membranas, y estas concentraciones óptimas depended de las propiedades de las nanopartículas como de la composición de las membranas (Wen et al., 2019). Las membranas nanofibras electrohiladas están revolucionando los procesos de filtración en la purificación de agua potable y aguas residuales con un menor consumo de energía y alta eficiencia en comparación con las membranas convencionales. Al tener una alta porosidad, cercano al 80%, con respecto a las membranas convencionales de porosidad entre 5% - 35%. Estas membranas nanocompuestas son modificadas sus superficies para mejorar los problemas de incrustaciones y el tratamiento de aguas residuales (Tlili & Alkanhal, 2019).

2 Métodos y materiales

2.1 Equipos

Microscopía Electrónica de Barrido de Emisión de Campo (SEM), marca TESCAN, modelo MIRA3-LMU y el Analizador de Nanopartículas y Analizador de Potencial Z (DLS), marca NICOMP PSS Z3000, ambos del Centro de Investigación de Nanotecnología de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Sonificador, marca BRANSON, Modelo SFX250.

Mufla Horno de Cámara, marca: PROTHERM

modelo: ECO 110/15 con capacidad de 15 litros, temperatura máxima: 1100 °C. Balanza: de precisión modelo 400. 400 g/0.001 g, marca VWR americana

2.2 Materiales

Consumibles para SEM, tubos de ensayo, matraz Erlenmeyer, vasos de precipitación, fiola, lunas de reloj, buretas, máscara de seguridad, papel filtro, pinza, bolsas herméticas, embudo, cuchara y espátula metálica. Se utilizaron los siguientes reactivos: acetato de celulosa químicamente puro, Nanopartículas de dióxido de silicio (SiO₂), Alcohol Etílico Absoluto, Peróxido de Hidrógeno, Agua desionizada (Millipore).

3 Resultados

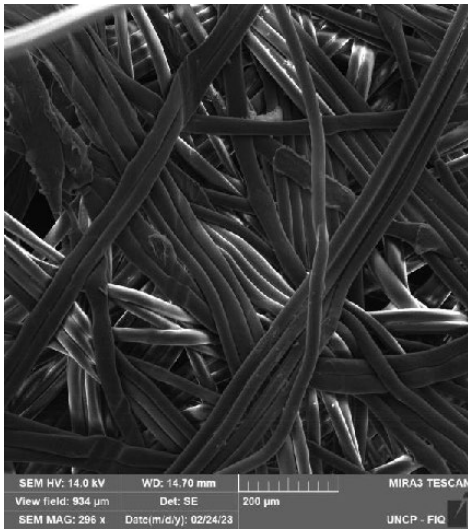
En la determinación del tamaño y la morfología de las membranas se utiliza la técnica fisicoquímica de distribución del tamaño de la porosidad mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) de alta resolución que tienen la Facultad de Ingeniería Química. La solución en la preparación de la celulosa se realiza en un medio ácido para lograr una buena polimerización de la celulosa y la formación adecuada de las membranas a diferentes composiciones de las nanopartículas de óxido de silicio (figura 1).

Figura 1

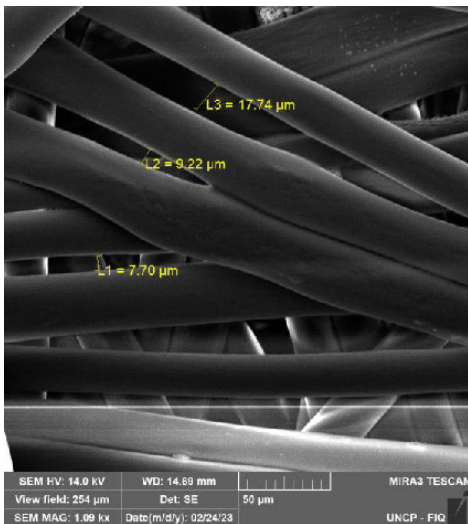
Preparación de muestra de polímero de celulosa



Mediante las observaciones de las imágenes del SEM (figura 2), se evidencia que la formación de las membranas poliméricas a partir del acetato de celulosa tiene una estructura en forma de malla divergente de porosidad no uniforme. La formación de las fibras es entrecruzada lo que dificulta obtener una porosidad homogénea. Esta mala formación de la estructura se obtuvo para una concentración de acetato de celulosa de 2 mg/l.

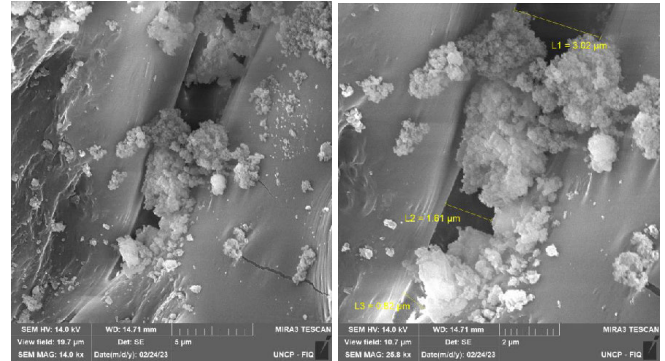
Figura 2*Micrografía de las fibras de membranas de celulosa*

En la figura 3, se puede distinguir porosidades de las membranas de nitrato de celulosa estéril entre 7.70 y 17.74 µm. Las porosidades de las membranas utilizadas en este trabajo fue entre 0.29 y 0.59 µm, similar a los diámetros de poro de 0.22, 0.45 y 0.65 µm (2019).

Figura 3*Micrografía de Fibras de Membranas de nitrato celulosa en Experimento*

En los primeros experimentos se utilizó nanopar-

tículas de SiO₂ en polvo del tamaño de 50 nm aproximadamente, las cuales se adicionaron a las membranas para determinar si las nanopartículas se adsorben a la porosidad de las membranas (figura 4).

Figura 4*Porosidad de Fibra de Membrana de Nitrato de Celulosa*

Al adicionar las nanopartículas de SiO₂ a las membranas de nitrato de celulosa se ha logrado disminuir la porosidad de las membranas de aquellos que tienen entre 7.70 y 17.74 µm hasta un tamaño de poro de 0.82 y 3.02 µm (panel B, figura 4), y que de esta forma esta adsorción de las nanopartículas estaría garantizando la efectividad de ser anti bacterial para la disminución de la proliferación de las bacterias son las aguas que contengan diferentes patógenos La interpretación del panel B de la figura 4, nos indica que la membrana en su totalidad no tiene una porosidad homogénea y que las partículas de óxido de silicio están sobre las fibras sin poder incorporarse en los espacios de las membranas y esta distribución en la porosidad no es homogénea.

4 Conclusiones

La porosidad de una membrana de nitrato de celulosa se encuentra entre 0.29 y 17.74 µm la cual indica que no se tiene una distribución homogénea de los espacios entre las fibras de la celulosa.

La adición de las nanopartículas de SiO₂ a las membranas de nitrato de celulosa disminuyen la porosidad hasta un tamaño de poro de 0.82 y 3.02 cm.

Referencias

Adamczak, M., Kamińska, G., & Bohdziewicz, J. (2019). Preparation of Polymer Membranes by In Situ Interfacial Polymerization. *International Journal of Polymer Science*, 2019, e6217924. <https://doi.org/10.1155/2019/6217924>