



MEMBRANAS ELECTROHILADAS CON NPs DE MAGNETITA PARA POTENCIAL USO DE ADSORCIÓN DE METALES PESADOS

ELECTROSPUN MEMBRANES WITH MAGNETITE NPs FOR POTENTIAL USE OF HEAVY METALS ION ADSORPTION

¹Luz Amanda Montes, ²Edwin Yesid Gómez,
³Angela Patricia Sánchez

¹Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

^{2,3}Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Recibido: 20/10/2023 Aprobado 20/11/2023

RESUMEN

La contaminación del agua por iones metálicos pesados es una problemática actual que afecta la salud humana y se da principalmente por las actividades antropogénicas. Uno de los principales mecanismos de descontaminación del agua, es el uso de materiales adsorbentes magnéticos, debido a que es un método de fácil implementación, bajo costo y fácil recuperación, con el uso de un campo magnético externo. En este estudio se fabricó con éxito una membrana polimérica electrohilada de PVDF-PS con nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4). La caracterización morfológica de la membrana con SEM, demostró que las fibras alcanzan un diámetro de alrededor de $2.5 \mu\text{m}$, aumentando el área superficial de contacto para la adsorción de los iones metálicos pesados. La naturaleza magnética de la membrana electrohilada se determinó con un magnetómetro de muestra vibrante (VSM), la cual muestra que el material es de carácter superparamagnético debido a la incorporación de las nanopartículas de magnetita. Estas características de materiales adsorbentes son relevantes para el potencial uso en procesos de adsorción de metales pesados.

Palabras clave: adsorción, electrohilado, membranas poliméricas, metales pesados, nanopartículas magnéticas.

Citación: Montes, L. A. ., Gómez Pachón, E. Y. ., Sánchez Cepeda, A. P. ., & Pineda Triana, Y. . (2023). Membranas electrohiladas con NPs de magnetita para potencial uso de adsorción de metales pesados. *Publicaciones E Investigación*, 17(4). <https://doi.org/10.22490/25394088.7505>

¹luz.montes@unad.edu.co / <https://orcid.org/0000-0003-1157-0730>

²edwin.gomez02@uptc.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-2733-5252>

³angelapatricia.sanchez@uptc.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-2274-2449>

<https://doi.org/10.22490/25394088.7505>

ABSTRACT

Water contamination by heavy metal ions is a current problem that affects human health and occurs mainly due to anthropogenic activities. One of the main mechanisms for water decontamination is the use of magnetic adsorbent materials, because it is a method of easy implementation, low cost and easy recovery, with the use of an external magnetic field. In this study, an electrospun polymeric membrane of PVDF-PS with magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles was successfully fabricated. The morphological characterization of the membrane with SEM showed that the fibers reach a diameter of around $2.5\ \mu\text{m}$, increasing the contact surface area for the adsorption of heavy metal ions. The magnetic nature of the electrospun membrane is calculated with a vibrating sample magnetometer (VSM), which shows that the material is superparamagnetic in nature due to the incorporation of magnetite nanoparticles. These characteristics of adsorbent materials are relevant for potential use in heavy metal adsorption processes.

Keywords: Adsorption, electrospinning, heavy metals, magnetic nanoparticles, polymeric membrane.



1. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se hizo uso de un equipo de electrohilado (Figura 1) con fuente de voltaje modelo EB-40K (voltaje de entrada 220 V, voltaje de salida DC: 3 KV-40 KV), colector fijo y plano y bomba de inyección marca Syringe Pump. Los polímeros usados para hacer la matriz polimérica por la técnica de electrohilado fueron el

polifluoruro de vinilideno (PVDF, Mw: 53.4000 g/mol, marca Alfa Aesar), poliestireno (PS, Mw: Mw 100,000 -400,000 g/mol, marca Dexton). Las nanopartículas (NPs) de magnetita Fe_3O_4 con diámetro aproximado de 100 nm. Los disolventes usados para las soluciones poliméricas fueron: DMF, THF y acetona.

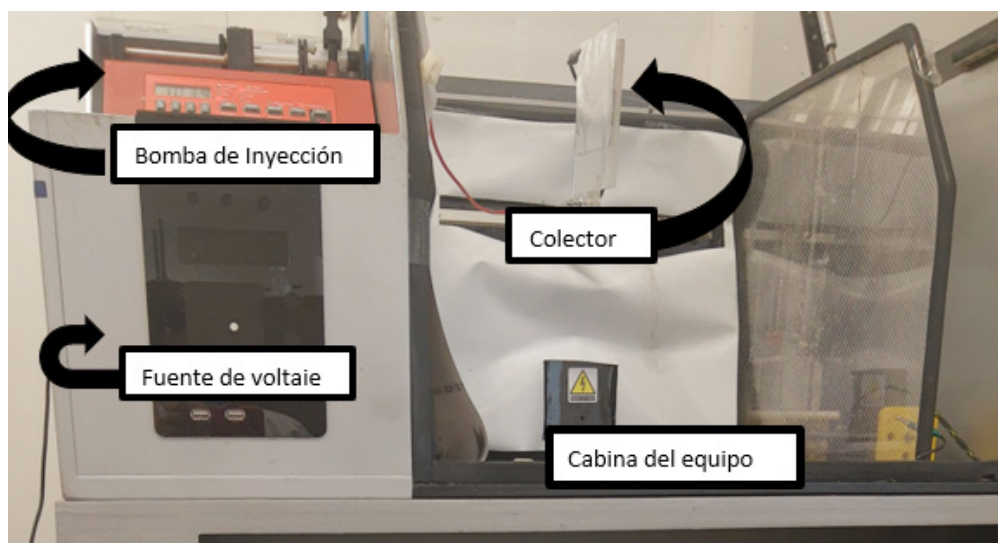


Figura 1. Equipo de electrohilado.

Fuente: los autores.

1.1 Proceso de electrohilado

El proceso de electrohilado consiste en el estiramiento de la solución viscosa entre la aguja de la jeringa y el colector metálico plano, por efecto del alto voltaje, que se deposita en forma de fibras (Figura 2). Para la fabricación de membranas electrohiladas se

realizó según los parámetros de Montes-Malagón *et al.* (2020). A partir del microscopio electrónico de barrido (SEM) se realizó el estudio morfológico de las membranas, además, a través del detector de espectroscopia por dispersión de energía (EDS) se realizó la identificación de los principales elementos de la superficie.

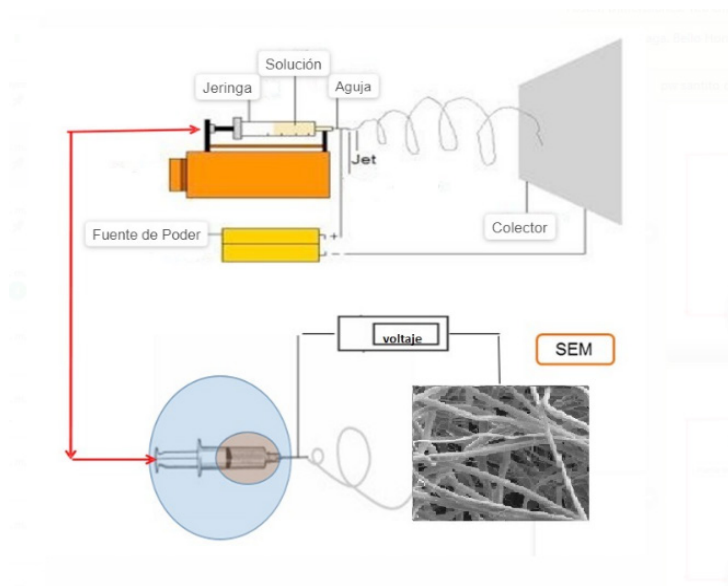


Figura 2. Esquema del proceso de electrohilado.

Fuente: tomado y modificado de Gonzalez, 2014.

1.2 Caracterización magnética

El estudio magnético de la membrana electrohilada se hizo con un magnetómetro de muestra vibrante VSM. Se realizaron las curvas de histéresis (M-H) para conocer la saturación magnética M_s , la magnetización remanente M_r y la coercitividad H_c , para las muestras de matriz polimérica con diferentes porcentajes de magnetita (5 y 7 %).

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Caracterización morfológica

La Figura 3a), muestra una imagen SEM de la membrana PVDF/PS@Fe₃O₄, que reveló la formación de fibras homogéneas, cilíndricas, con diámetro aproximado de 2.5 μm (Figura 3b). En la imagen se

logra observar la magnetita, como puntos claros en el interior de las fibras, resultando favorable la presencia y la distribución de material magnético nanoparticulado en la matriz polimérica ya que contribuye en la adsorción de iones metálicos pesados porque aumenta el área superficial (Hakami *et al.*, 2012; Shahrashoub & Bakhtiari, 2021; Iconaru *et al.*, 2016). Además, el estudio EDS identificó los principales elementos de la superficie; carbono (86.66 %), flúor (9.76 %), hierro (1.20 %) y oxígeno (2.44 %). También, se observan varios espacios vacíos distribuidos de manera heterogénea entre las fibras que se entretajan lo que permite concluir que es una membrana porosa, lo cual también retiene metales pesados en su superficie. La porosidad se midió de manera aproximada con el software ImageJ donde se obtuvo un valor promedio de 50 %.

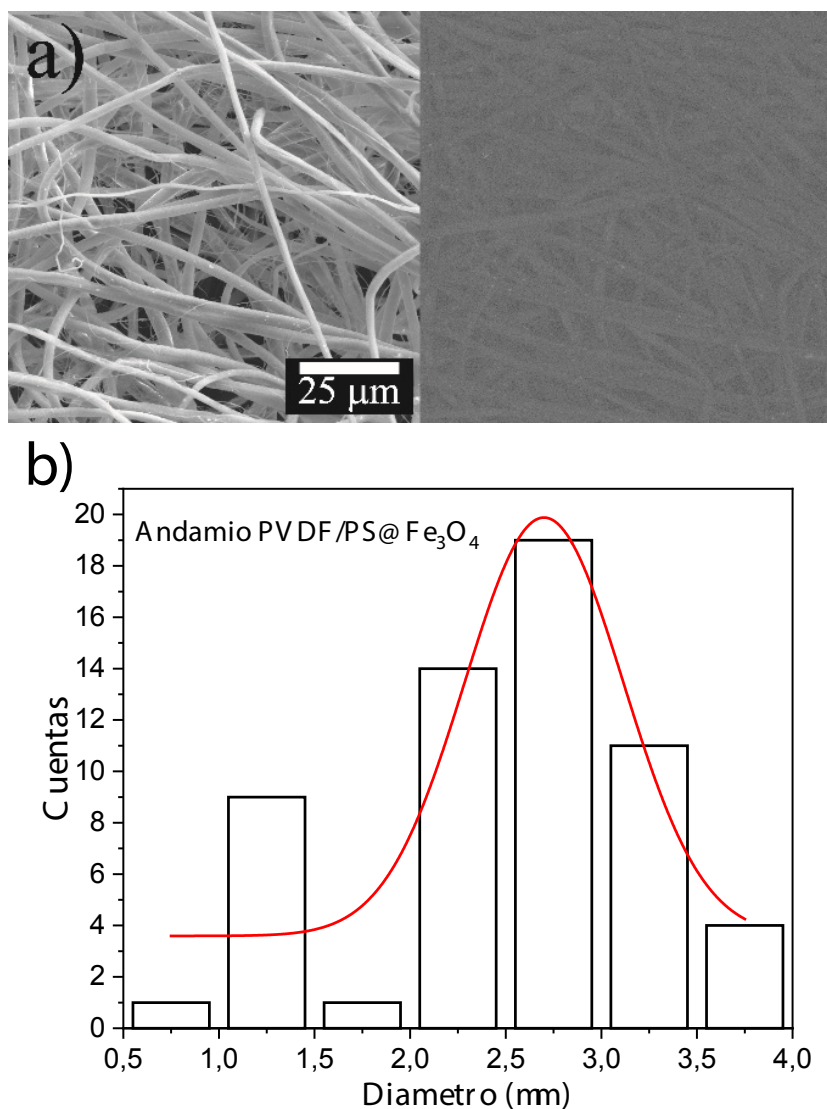


Figura 3. Imagen SEM de la membrana electrohilada.

2.2 Estudio magnético

El estudio magnético de las membranas electrohiladas a partir de las curvas M-H con 5 y 7 % de magnetita, muestra un material con una magnetización de saturación superior al 70 emu/g, lo cual es cercano, pero inferior al valor de la magnetita (90 emu/g) (Bayat *et al.*, 2011), esto se da probablemente por la encapsulación del material ferromagnético dentro de la matriz polimérica Wang *et al.*, 2014) e implica que no se requiere un campo magnético externo de gran potencia para la recuperación después del proceso de adsorción. La Figura 4a

con 5 % de magnetita muestra un comportamiento de tipo superparamagnético lo que indica que el material adsorbente solo se magnetiza cuando un campo externo se acerca y la Figura 4b con 7 % de magnetita revela un comportamiento ferromagnético débil, esto se observa en el ancho de la curva de histéresis. La magnetización remanente y la coercitividad magnética con las dos concentraciones es aproximada a cero (Tabla 1). En ambos casos, debido a su naturaleza magnética, se puede decir que no habría aglomeración del material magnético y esto también se refleja en la micrografía.

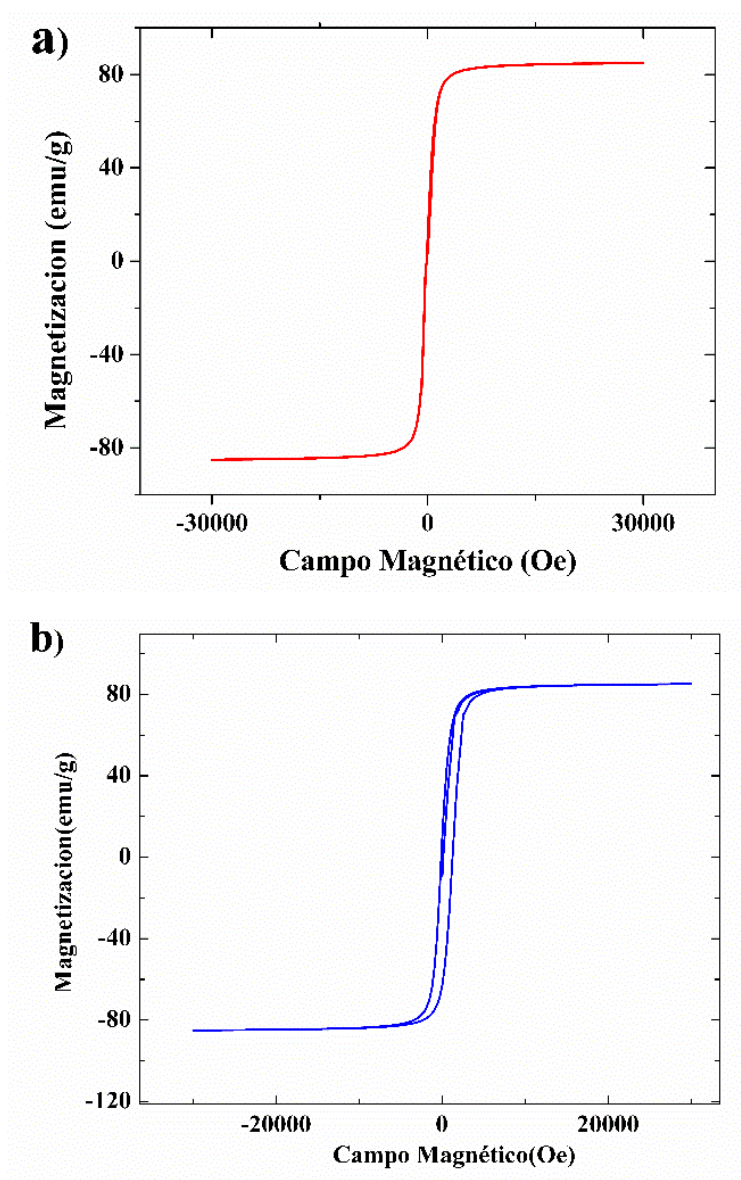


Figura 4. Curvas de magnetización de la membrana PVDF/PS@Fe₃O₄ con: a) 5 % b) 7 % de magnetita (w/w).

TABLA 1. RESULTADOS DE MAGNETIZACIÓN DE SATURACIÓN Y REMANENTE

Muestra	Ms (emu/g)	Mr (kemu/g)	Hc (KOe)
PVDF/PS@Fe ₃ O ₄ (5 %)	85	0	0
PVDF/PS@Fe ₃ O ₄ (7 %)	85	1.2	6.8

3. CONCLUSIONES

Se logró fabricar una membrana polimérica porosa electrohilada (PVDF/PS@Fe₃O₄) con potencial para procesos de adsorción debido a la incorporación y a la distribución de NPs de magnetita en la superficie de la membrana.

La concentración de las NPs magnéticas en la matriz polimérica, cuantifica el comportamiento magnético, sin embargo, para las concentraciones de 5 y 7 %, el material tiene potencial uso en la recuperación posterior al proceso de adsorción.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos de los autores a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y a sus centros de investigación, Danum, Incitema y FDM donde se desarrolló la parte experimental del proyecto y las pruebas fisicoquímicas.

REFERENCIAS

Bayat, M., Yang, H. & Ko, F. (2011). Electromagnetic properties of electrospun Fe₃O₄/carbon composite nanofibers. *Polymer*, 52(7), 1645–1653. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2011.01.057>

Gonzalez, J.A., Furlan, R., Lopez, R., Martinez, L. M. & Fachini, E. (2014). Magnetic Field Assisted Electrospinning of Nanofibers Using Solutions with PVDF and Fe₃O₄ Nanoparticles. *MRS Online Proceedings Library*, 1659, 155–162. <https://doi.org/10.1557/opl.2014.210>

Hakami, O. Zhang, Y. & Banks, C. J. (2012). Thiol-functionalised mesoporous silica-coated magnetite nanoparticles for high efficiency removal and recovery of Hg from water. *Water Research*, 46(12), 3913–3922. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.04.032>

Iconaru, S. L., Guégan, R., Popa, C. L., Motelica-Heino, M., Ciobanu, C. S. & Predoi, D. (2016). Magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles as adsorbents for As and Cu removal. *Applied Clay Science*, vol. 134(part 2), 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.08.019>

Montes-Malagón, L.A., Sánchez-Cepeda, A.P., Gómez-Pachón, E. & Pineda-Triana, Y. (2020). Efecto de los parámetros de electrohilado en la morfología de las fibras de PVDF y PS. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 6(6), 497–500. <http://hdl.handle.net/11191/7755>

Shahrashoub, M. & Bakhtiari, S. (2021). The efficiency of activated carbon/magnetite nanoparticles composites in copper removal: Industrial waste recovery, green synthesis, characterization, and adsorption-desorption studies. *Microporous Mesoporous Materials*, 311, 110692. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110692>

Wang, S. *et al.* (2014). Magnetic composite nanofibers fabricated by electrospinning of Fe₃O₄/gelatin aqueous solutions. *Materials Science and Engineering: B*, 190, 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2014.10.001>