

Transdigital[®]

revista científica



Volumen 7, número 13: Enero-junio 2026

ISSN: 2683-328X

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S. C.

La revista científica *Transdigital* es una publicación semestral bajo el modelo de publicación continua editada por la Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. Hasta ahora, la revista ha sido indizada en: *Latindex*, *Dialnet*, *ERIHPLUS*, *REDIB*, *EuroPub*, *LivRe*, *AURA*, *Academic Resource Index (ResearchBib)*, *MIAR*, *OpenAire-Explore*, *Refseek*, *Sherpa Romeo*, *Elektronische Zeitschriftenbibliothek*, *ZDB Zeitschriften Datenbank*, *WorldCat*, *Dimensions*, *The University of Liverpool*, *Discovery*, *Erasmus University Rotterdam*, *Mir@bel*, *REBIUN*, *DARDO*, *UOCI*, *LatinRev*, *ROAD*, *Google Scholar*, *Crossref*, *Scite*, *Lens*, *Internet Archive*, *BASE*, *OpenAlex*, *Semantic Scholar* y *ScienceOpen*. Dirección oficial: Circuito Altos Juriquilla 1132. C.P. 76230, Querétaro, México. Tel. +52 (442) 301-3238. Página web oficial: www.revista.transdigital.mx. Correo electrónico: revista@transdigital.mx. Editor en jefe: Alexandro Escudero-Nahón (ORCID: 0000-0001-8245-0838). Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-020912091600-102. International Standard Serial Number (ISSN): 2683-328X; ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (México). Responsable de la última actualización: Editor en jefe: Alexandro Escudero-Nahón. Todos los artículos en la revista *Transdigital* están licenciados bajo Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0). Usted es libre de: Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente. La persona licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia. Lo anterior, bajo los siguientes términos: Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.



Transdigital[®]



revista científica

POLÍMEROS DE SEMIESCALERA FUNCIONALES
PARA LA SEPARACIÓN DE GASES:
EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DENTRO DE UN
SISTEMA INTEGRADO DE MEMBRANA CATALÍTICA

FUNCTIONAL SEMILADDER POLYMERS
FOR GAS SEPARATION:
ASSESSING FEASIBILITY WITHIN AN
INTEGRATED CATALYTIC-MEMBRANE SYSTEM

Eduardo Martínez-Mercado*
Universidad Iberoamericana, México
ORCID: 0000-0001-6849-245X

Lourdes Hurtado Alva
Universidad Iberoamericana, México
ORCID: 0000-0001-9892-9528

Lilian Olvera
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0000-0002-1505-2319

Hugo Hernández Martínez
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0000-0002-5303-3215

Sección: Artículo de investigación

Autor de correspondencia*

Fecha de recepción: 07/10/2025

Fecha de aceptación: 27/02/2026

POLÍMEROS DE SEMIESCALERA FUNCIONALES PARA LA SEPARACIÓN DE GASES: EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DENTRO DE UN SISTEMA INTEGRADO DE MEMBRANA CATALÍTICA

FUNCTIONAL SEMILADDER POLYMERS FOR GAS SEPARATION: ASSESSING FEASIBILITY WITHIN AN INTEGRATED CATALYTIC-MEMBRANE SYSTEM

RESUMEN

El calentamiento global supone una amenaza creciente para todos los seres vivos y sus ecosistemas, lo que impulsa la necesidad de procesos industriales más eficientes y sostenibles. La separación de gases es un proceso indispensable para la purificación, el almacenamiento y la utilización de los gases producidos en la industria. Los métodos tradicionales, como la destilación criogénica y la absorción, son eficaces, pero consumen mucha energía y son complejos, mientras que las separaciones basadas en membranas ofrecen una alternativa más eficiente, más sencilla y modular, desde el punto de vista energético. La eficacia de la membrana viene determinada principalmente por el tipo de material utilizado en su fabricación y por sus propiedades (térmicas, químicas, etc.). En este trabajo, se centra la atención en los polímeros multifuncionales aromáticos de semiescalera que incorporan unidades de xanteno en su cadena principal, sintetizados mediante una policondensación robusta, en un solo paso y sin metales, de derivados de isatina con bisfenoles. Los materiales resultantes presentan una alta estabilidad química y térmica, lo que los hace muy adecuados para aplicaciones de separación difíciles. Los estudios de transporte de gases demuestran que las membranas basadas en bisfenol AF presentan una permeabilidad superior en comparación con las derivadas del 4,4'-bifenol. En particular, los polímeros de semiescalera fluorados que incorporan N-propil isatina muestran un mejor equilibrio entre permeabilidad y selectividad en múltiples pares de gases. Estos resultados subrayan el gran potencial de las membranas de polímeros de semiescalera como materiales energéticamente eficientes para tecnologías avanzadas de separación de gases. Aunque las membranas de polímeros de semiescalera se han probado con gases de pureza ultraalta, es fundamental evaluar su rendimiento con mezclas de gases reales para aplicaciones prácticas. Para ello, el sistema de membranas se integrará con un reactor catalítico para suministrar mezclas de gases representativas, lo que permitirá una evaluación más realista de las propiedades de transporte.

Palabras clave: membrana, polímero, CO₂, separación, catalizador

ABSTRACT

Global warming poses a growing threat towards all living beings and their ecosystems, driving the need for more efficient and sustainable industrial processes. Gas separation is a process that is indispensable for purification, storage, and utilization of gases produced in industry. Traditional methods like cryogenic distillation and absorption are effective but energy-intensive and complex, whereas membrane-based separations offer a more energy-efficient, simpler, and modular alternative. The effectiveness of membrane is primarily determined by the type of material used in its fabrication and by its properties (thermal, chemical, etc.). In this work, attention is focused on semi-ladder aromatic multifunctional polymers incorporating xanthene units in their main chain, synthesized via a robust, one-step, metal-free polycondensation of isatin derivatives with bisphenols. The resulting materials exhibit high chemical and thermal stability, making them well-suited for challenging separation applications. Gas transport studies demonstrate that membranes based on bisphenol AF exhibit superior permeability compared to those derived from 4,4'-biphenol. In particular, fluorinated semi-ladder polymers incorporating N-propyl isatin show an enhanced permeability-selectivity balance across multiple gas pairs. These results underscore the strong potential of semi-ladder polymer membranes as energy-efficient materials for advanced gas separation technologies. Although semi-ladder polymer membranes have been tested with ultra-high-purity gases, evaluating their performance with real gas mixtures is crucial for practical applications. To address this, the membrane system will be integrated with a catalytic reactor to supply representative gas mixtures, enabling a more realistic assessment of transport properties.

Keywords: membrane, polymer, CO₂, separation, catalyst

1. INTRODUCCIÓN

El uso de energía no renovable en varios procesos asociados con los combustibles fósiles es una gran preocupación, ya que es responsable de diferentes formas de contaminación, como el calentamiento global que resulta de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Actualmente, se están haciendo muchas investigaciones sobre el proceso de separación en gases puros (Hernández-Martínez et al., 2024). En este sentido, los bisfenoles han cobrado importancia debido a su aplicación y uso en diferentes procesos y aplicaciones, especialmente en la producción de resinas y policarbonato (Li et al., 2024).

La hidroxialquilación de cetonas fluoradas con catecol, resorcinol o hidroquinona en medios superácidos permite la síntesis de bisfenoles y polímeros de condensación que contienen unidades de xanteno, lo que da lugar a polímeros de alto peso molecular con cadenas rígidas y microporosidad intrínseca (Zhili et al., s. f.). Por otro lado, la incorporación de flúor mejora la movilidad rotacional de estos polímeros, lo que mejora sus propiedades de transporte de gases y los hace ideales para formar membranas con alta selectividad para algunos pares de gases, aunque su rendimiento sigue estando limitado por la compensación inherente entre permeabilidad y selectividad (Robeson, 2008).

La polihidroxialquilación de la isatina y los derivados N-alquilados (N-propilo, N-bromohexilo) reaccionan con diversos bisfenoles para obtener polímeros funcionales basados en xanteno, debido a sus cadenas principales rígidas y su volumen libre fraccional (FFV) ajustable. Estos materiales son candidatos atractivos para los procesos de separación de mezclas de gases, en los que las tecnologías basadas en membranas ofrecen ventajas económicas potenciales. En consecuencia, se evaluaron las relaciones estructura-propiedad en términos de rigidez de la cadena, FFV y permeabilidad/selectividad al gas. Por otro lado, la bromoalquilación permite la funcionalización posterior a la polimerización mediante la reacción de Menshutkin, introduciendo grupos catiónicos para producir polielectrolitos sólidos, lo que amplía aún más su aplicación en la química de materiales y las membranas de transporte de aniones (Cracowski et al., 2012) y podría utilizarse en un proceso de separación de gases (mezcla).

En este contexto, cabe destacar la importancia de suministrar la mezcla de gases mediante generación química *in situ*. La corriente de gas necesaria puede producirse mediante la reacción inversa de conversión de agua y gas (RWGS) llevada a cabo en un reactor catalítico tubular utilizando óxido de níquel (NiO) como catalizador.

2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

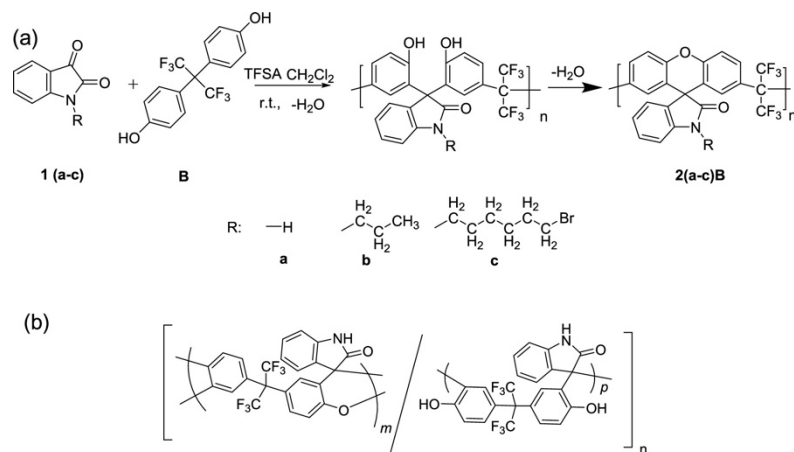
2.1. Materiales

Todas las materias primas se obtuvieron de *Sigma-Aldrich*. Antes de su uso, los siguientes materiales se sometieron a purificación: el diclorometano, el ácido trifluoroacético (TFA) y el ácido trifluorometanosulfónico (TFSA) se destilaron. Por otro lado, la isatina, la N-propil isatina y la N-bromohexil isatina se purificaron mediante recristalización con carbón vegetal a partir de etanol (la isatina se recristalizó específicamente a partir de etanol). Por el contrario, los bisfenoles se utilizaron tal y como se recibieron, y varios otros reactivos (incluidos el 1,6-dibromohexano (99.5%), la isatina (98%), N,N-dimetilformamida (DMF, 99.5%), carbonato de potasio (K₂CO₃, 99%), dimetilsulfóxido (DMSO, 99%) y N-metil-2-pirrolidona (NMP, 99%) se utilizaron tal y como se adquirieron, sin purificación adicional.

2.2. Síntesis

Los polímeros sintetizados mediante reacciones de polihidroalquilación han demostrado propiedades atractivas para la separación de mezclas de gases de interés comercial. En concreto, la familia *B* de polímeros (Figura 1), que incorpora bisfenol AF en la cadena principal, se ha mostrado muy prometedora.

Figura 1
Familia *B* de polímeros



Nota. (a) Esquema de reacción para la polihidroalquilación de la isatina y sus derivados con bisfenol AF; y (b) estructura molecular del polímero semiescalonado basado en xanteno con grupos funcionales fenólicos (2aB).

Los polímeros se sintetizaron mediante reacciones de polihidroalquilación en un solo paso a temperatura ambiente (Tabla 1), catalizadas por CF₃SO₃H (anhídrido trifluorometanosulfónico, TFSA) o ácido metanosulfónico (MSA).

Tabla 1
Proporción de cantidades para los polímeros 2aB, 2bB y 2cB

| Polímero | Compuesto basado en isatina (0.0026 mol) | Bisfenol AF (0.002 mol) | TFSA (mL) | Tiempo de reacción | Medio de precipitación (H ₂ O/metanol) |
|----------|--|-------------------------|-----------|--------------------|---|
| 2aB | Son (0.3825g) | 0,6724 g | 2.5 | 4 horas | 50% v/v |
| 2bB | N-propil isatina (0.4916 g) | 0,6724 g | 1.5 | 19 horas | Proporción 1:3 |
| 2cB | N-bromohexil isatina (0.8064 g) | 0,6724 g | 1.5 | 24 horas | 50% v/v |

2.2.1. Modificación

En una modificación posintética típica, se formó una solución en NMP disolviendo el polímero (1 g) a una concentración del 10% p/v. A continuación, se añadieron K₂CO₃ y cantidades específicas de bromuros de sal de amonio cuaternario. Tras agitar durante 48 h a 60 °C, se aisló el polímero resultante vertiendo la mezcla en acetato de etilo y se lavó el producto varias veces con acetato de etilo caliente. El grado de sustitución se determinó mediante análisis ¹H NMR.

2.3. Caracterización

Se analizaron las principales técnicas analíticas utilizadas para investigar las características estructurales, térmicas y moleculares de los polímeros de la familia B (Tabla 2).

Tabla 2
Resumen de técnicas de caracterización

| Técnica | Instrumentación/Condiciones | Propósito |
|---------|--|---|
| FTIR | Espectrómetro Nicolet iS10 equipado con un detector DTGS y un accesorio ATR. | Identificación de grupos funcionales y confirmación de la estructura química. |

Tabla 2
Resumen de técnicas de caracterización

| Técnica | Instrumentación/Condiciones | Propósito |
|---------|--|---|
| RMN | Utiliza Avance 400 (¹ H a 400,13 MHz y ¹³ C a 100 MHz); CDCl ₃ y DMSO-d ₆ como disolventes. | Elucidación estructural basada en entornos de protones y carbonos. |
| DSC | TA Instruments DSC Q20; atmósfera de nitrógeno (N ₂) y una velocidad de calentamiento de 10 °C/min hasta 400 °C. | Determinación de transiciones térmicas, como la temperatura de transición vítrea (T _g). |
| TGA | TA Instruments TGA-Q50; atmósferas de N ₂ y aire y una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. | Evaluación de la estabilidad térmica y el comportamiento de descomposición. |
| GPC | Sistema Waters 2414 ALLIANCE con columnas Styragel HR 4E y HR 5E; THF a 35 °C. | Determinación del peso molecular y la distribución del peso molecular. |

2.3.1. Propiedades de transporte de gases

Las membranas poliméricas se formaron mediante una técnica de moldeo con disolvente empleando una solución polimérica al 5% en peso en DMSO, lo que dio como resultado películas de 50-60 μm de espesor. Para estimar las propiedades de transporte de gases, como la permeabilidad, se empleó una celda de permeación de presión variable/volumen constante, en la que se determinaron los coeficientes de permeabilidad para cada gas de pureza ultra alta (UHP) H₂, CH₄ y CO₂ a partir de la pendiente de la gráfica de presión descendente frente al tiempo en estado estacionario a 35°C y dos atmósfera estándar (atm).

Los coeficientes de permeabilidad para cada gas se estimaron a partir de la pendiente de la gráfica de presión descendente frente al tiempo una vez alcanzado el estado estacionario. Densidad (δ) se determinaron a 30 °C utilizando una columna de gradiente de densidad y una solución de cloruro de zinc (ZnCl₂) previamente desgasificada, y los datos medidos se utilizaron para calcular el fracción de volumen libre (FFV) utilizando el volumen de van der Waals con el método de contribución de grupos (Van Krevelen & TeNijenhuis, 2009). Difusión (D_i), solubilidad (S_i), selectividad ($S_{i/j}$) y permeabilidad (P_i) se derivaron del desfase temporal medido (θ_i) siguiendo las ecuaciones uno, dos y tres, donde i y j son los pares de gases, y L es el espesor de la película de polímero.

$$D_i = \frac{L^2}{6\theta_i} \quad \dots (1)$$

$$S_i = \frac{P_i}{D_i} \quad . . . (2)$$

$$S_{i/j} = \frac{P_i}{P_j} \quad . . . (3)$$

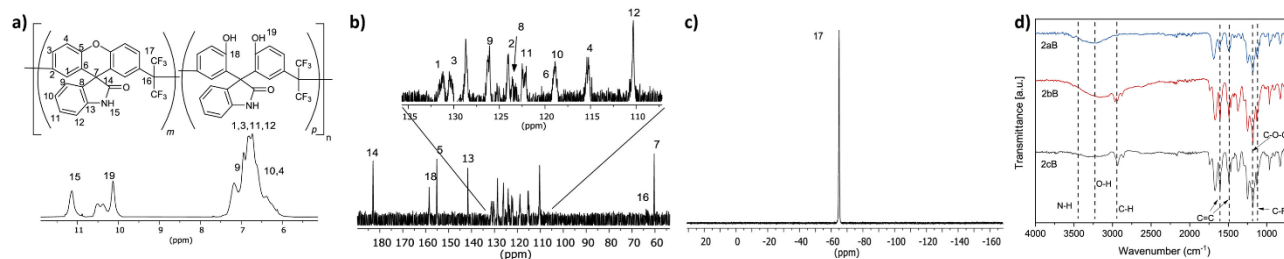
La generación de la mezcla de gases se logra mediante la reacción inversa de desplazamiento de gas de agua (RWGS), que se produce en un reactor tubular de acero inoxidable cargado con un catalizador de óxido de níquel (NiO). Tras el proceso catalítico, los gases constituyentes se separan mediante una membrana polimérica. La alimentación, que consiste en una mezcla de CO y H₂ en una proporción molar de 1:1, se suministra al reactor en condiciones isotérmicas a 250°C y una presión de un atm. La identificación cualitativa y cuantitativa de las especies químicas resultantes se realiza mediante cromatografía de gases (GC).

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización de polímeros

La incorporación de bisfenol AF introduce grupos CF₃ en la cadena principal del polímero, lo que mejora la solubilidad, la procesabilidad y aumenta la transición vítrea y la estabilidad térmica en comparación con los análogos basados en 4,4'-bifenol (Olvera et al., 2023). Debido a la fuerte naturaleza electronegativa de los grupos CF₃, se requirió una mayor acidez (TFSA) y condiciones no estequiométricas, lo que dio lugar a polímeros con pesos moleculares moderados. Por otro lado, los análisis espectroscópicos (FTIR, ¹H/¹³C/¹⁹F NMR) confirmaron la incorporación de grupos CF₃ e indicaron la formación de copolímeros de semiescalera que contenían unidades de xanteno y grupos fenólicos, probablemente generados por deshidratación cíclica parcial (Figura 2).

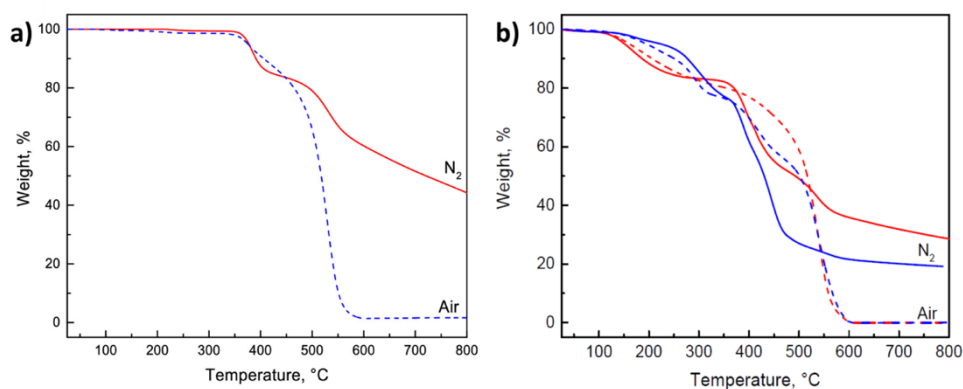
Figura 2
Análisis espectroscópicos



Nota. a) ^1H ; b) ^{13}C ; c) ^{19}F RMN; y d) espectros FTIR de la familia de polímeros «B».

El análisis termogravimétrico mostró una buena estabilidad térmica, con temperaturas de descomposición superiores a 360°C para el polímero *2aB* (Figura 3), mientras que los polímeros derivados de N-propil e N-bromohexil isatina mostraron una estabilidad reducida, especialmente en presencia del grupo bromohexilo. En general, los polímeros de la familia B combinan una alta solubilidad, robustez térmica y características estructurales favorables para la fabricación de membranas y aplicaciones de separación de gases. Sin embargo, el análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) indica que no se detectó temperatura de transición vítrea para estos materiales.

Figura 3
Estabilidad térmica



Nota. a) Análisis térmico del polímero *2aB*; y b) *2bB* (líneas rojas) y *2cB* (líneas azules) en N_2 y atmósfera de aire.

3.2. Propiedades de transporte de gases

La familia de membranas 2(a-c)B presenta permeabilidades al gas medidas a 35 °C y dos atm en el siguiente orden: $H_2 > CO_2 > CH_4$, lo que indica que el tamizado por tamaño es el mecanismo dominante de separación de gases (Soto et al., 2022; Yu & Zhang, 2021). La incorporación del grupo N-propil isatina en la membrana 2bB conduce a un aumento general de la permeabilidad y solubilidad de los gases, lo que refleja la típica relación entre permeabilidad y selectividad (Robeson, 2008). Por otro lado, el polímero 2bB mostró una selectividad mejorada para los pares de gases O_2/N_2 , CO_2/N_2 y CO_2/CH_4 en comparación con la muestra 2aB.

Por el contrario, la membrana 2cB (que contiene el grupo lateral N-bromohexil isatina) mostró una disminución pronunciada de la selectividad, con reducciones de hasta el 80% para H_2/CH_4 y CO_2/CH_4 , atribuidas a la permeabilidad de los gases de mayor diámetro cinético. Aunque el FFV disminuye a medida que aumenta el tamaño del grupo colgante, esto no se traduce en una correlación directa con la permeabilidad al gas. Cabe destacar que la membrana 2bB presentó el FFV más bajo de toda la serie. Sin embargo, mostró la mayor permeabilidad al gas. Este comportamiento se atribuye a los efectos combinados del aumento de la rigidez de la cadena, el empaquetamiento eficiente entre cadenas y la presencia de grupos fluorados (Tabla 3 y Figura 4).

Tabla 3

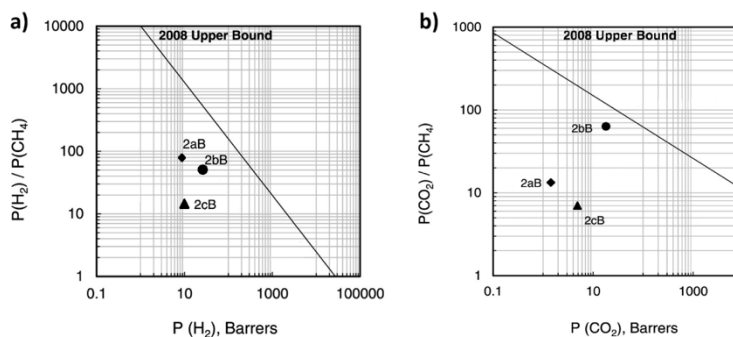
Resultados del estudio de caracterización y transporte de gases

| Polímero | Peso molecular ($M_w/M_n \times 10^{-4}$ g/mol) | PDI | Permeabilidad (P_i) [Barrer] ^a | | | Selectividad ($S_{i/j}$) | | FFV |
|----------|---|-----|--|--------|--------|-------------------------------|-------------|------|
| | | | H_2 | CH_4 | CO_2 | H_2/CH_4 | CO_2/CH_4 | |
| 2aB | 9.5/2.8 | 3.3 | 8.4 | 0.11 | 1.43 | 78 | 13 | 1.43 |
| 2bB | 11.6/5.8 | 1.9 | 26 | 0.52 | 10.3 | 51 | 20 | 10.3 |
| 2cB | 4.1/2.5 | 1.6 | 10.1 | 0.7 | 4.9 | 14 | 7 | 4.9 |

Nota. ^a1 barra = 1×10^{-10} cm³ STP m/(cm² s cm Hg).

Figura 4

Gráfica de estudio de transporte de gases

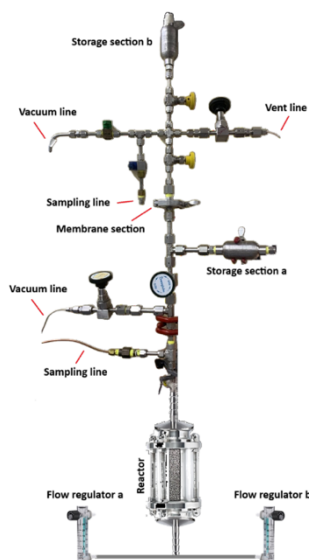


3.3. Reactor

Se desarrolló un prototipo diseñado a medida para la etapa de generación de gas con el fin de producir una mezcla necesaria como alimentación para el proceso de separación utilizando polímeros de la serie B, que consiste en un reactor tubular de acero inoxidable integrado con una sección de separación de gas (Figura 5). El reactor se alimentó con una mezcla molar 1:1 de CO₂ y H₂ y se mantuvo a 250 °C para facilitar la reacción RWGS, en la que se evaluó el catalizador de NiO y se obtuvo un efluente que contenía CO, CO₂, H₂ y CH₄, según se confirmó mediante cromatografía de gases.

Figura 5

Sistema reactor acoplado a una etapa de separación



4. CONCLUSIÓN

En resumen, se sintetizó con éxito una serie de polímeros de semiescalera que contienen grupos xanteno y fenólicos, en los que la integración de grupos fluorados dio lugar a membranas con una estabilidad térmica y química excepcional. Estos polímeros mostraron propiedades favorables de transporte de gases, en las que la introducción del grupo CF₃ mejoró tanto la permeabilidad como la selectividad. Cabe destacar que el polímero *2bB* mostró un equilibrio excepcional entre permeabilidad y selectividad, en particular para los pares de gases H₂/CH₄ y CO₂/CH₄. Debido a estos prometedores factores de separación, se seleccionaron los polímeros de la serie B para su integración en la fase de separación del prototipo, con una evaluación posterior prevista para una segunda etapa del proceso. Por lo tanto, el sistema permite la evaluación de estas membranas en condiciones

operativas, específicamente para determinar la eficiencia de separación de la mezcla multicomponente (CO, CO₂, H₂ y CH₄) generada por el reactor catalítico.

REFERENCIAS

- Cracowski, J.-M., Sharma, B., Brown, D. K., Christensen, K., Lund, B. R., & Smith, D. W. (2012). Perfluorocyclopentenyl (PFCP) Aryl Ether Polymers via Polycondensation of Octafluorocyclopentene with Bisphenols. *Macromolecules*, *45*(2), 766-711. <https://doi.org/10.1021/ma2024599>
- Hernández-Martínez, H., Ramos-Pérez, L. Á., Caballero, F., Coutiño-González, E., Cárdenas, J., Gaviño, R., Lara, V., Martínez-Mercado, E., & Olvera, L. (2024). Gas Separation Properties of Functional Semiladder Polymers Synthesized by Superacid-Catalyzed Polycondensation. *ACS Applied Polymer Materials*, *6*(24), 15211-15220. <https://doi.org/10.1021/acsapm.4c02911>
- Li, S., Zhu, G., Yang, R., Song, T., Hou, H., Xu, G., & Wang, Q. (2024). Recent advance in poly(bisphenol a carbonate) chemical recycling: catalysts, reaction strategies, and its applications. *Chemical Synthesis*, *4*(76). <https://doi.org/10.20517/cs.2024.80>
- Olvera, L. I., Guzmán-Gutiérrez, M. T., Zolotukhin, M. G., Fomine, S., Cárdenas, J., Ruiz-Treviño, F. A., Villers, D., Ezquerra, T. A., Prokhorov, E. (2013). Novel High Molecular Weight Aromatic Fluorinated Polymers from One-Pot, Metal-Free Step Polymerizations. *Macromolecules*, *46*(18), 7245-7256.
- Robeson, L. M. (2008). The upper bound revisited. *Journal of Membrane Science*, *320*, 390-400. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.04.030>
- Soto, C., Torres-Cuevas, E. S., Palacio, L., Prádanos, P., Freeman, B. D., Lozano, Á. E., & Hernández, A., & Comesaña-Gándara, G. (2022). Gas Permeability, Fractional Free Volume and Molecular Kinetic Diameters: The Effect of Thermal Rearrangement on ortho-hydroxy Polyamide Membranes Loaded with a Porous Polymer Network. *Membranes*, *12*(2). <https://doi.org/10.3390/membranes12020200>
- Van Krevelen, D., & TeNijenhuis, K. (2009). *Properties of Polymers: Their Correlation with Chemical Structure; Their Numerical Estimation and Prediction from Additive Group Contributions*. Elsevier.
- Yu, Y., & Zhang, K. (2021). Size-sieving separation of hard-sphere gases at low concentrations through cylindrically porous membranes. *Soft Matter*, *17*(44), 10025-10031. <https://doi.org/10.1039/D1SM01158H>
- Zhili, C., Yitao, L., Can, W., Wei, X., Yang, J., Linglong, S., Peiyuan, G., Haitao, W., & Shuangjiang, L. (s. f.). Ladder polymers of intrinsic microporosity from superacid-catalyzed Friedel-Crafts polymerization for membrane gas separation. *Journal of Membrane Science*, *644*(120115), 2022.
-
- Martínez-Mercado, E., Hurtado Alva, L., Olvera, L., & Hernández Martínez, H. (2026). Polímeros de semiescalera funcionales para la separación de gases: Evaluación de la viabilidad dentro de un sistema integrado de membrana catalítica. *Transdigital*, *7*(13), e584. <https://doi.org/10.56162/transdigital584>



Transdigital[®]

editorial

La Editorial *Transdigital* publica libros de carácter científico y académico. Se pueden publicar tesis de posgrado, una vez sometidas al sistema de evaluación de pares de doble ciego. Servicios:

- Gestión del International Standard Book Number (ISBN), del Digital Object Identifier (DOI) y del código de barras.
- Diseño gráfico
- Servicio de corrección de estilo y redacción.
- Dictaminación de la revisión por pares en doble ciego hecha por miembros del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) de México.
- Alojamiento permanente del libro en la editorial *Transdigital* (www.editorial.transdigital.mx)
- Distribución gratuita en *Dialnet*, *Google Books*, *Google Play* y *SCRIBD*.
- Distribución a precio mínimo en *Amazon Kindle* (cuota que pagan los lectores de *Kindle*).

La editorial *Transdigital* está en el Registro en el Padrón Nacional de Editores como agente editor Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales, S. C., con el Dígito Identificador 978-607-99594. Además, está afiliada a la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana (CANIEM) con el número 4069, de conformidad con el artículo 17 de la Ley de Cámaras Empresariales y sus Confederaciones en vigor. Y está en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT) de la SECIHTI de México con el folio: RENIECYT 2400068.



Transdigital[®]

congreso virtual

El Congreso Virtual *Transdigital* se realiza anualmente de manera totalmente virtual (www.congreso.transdigital.mx). Este evento tiene el objetivo de reunir resultados parciales o finales de investigaciones empíricas, documentales o ensayos científicos sobre temas y desafíos que involucran a la tecnología y la transformación digital en sociedad.

Está dirigido a investigadores(as), docentes de todas las modalidades y niveles del sistema educativo, estudiantes de pregrado y posgrado, gestores(as) educativos(as), directivos(as) y demás profesionales interesados(as) en la investigación empírica y documental sobre el uso de la tecnología y la transformación digital en diversos ámbitos sociales, por ejemplo, la salud, el ocio, el turismo, las finanzas, la educación, el desarrollo comunitario, la industria, etcétera.

La inscripción por texto, con un máximo de tres autores(as) da el derecho de publicar la ponencia como capítulo de libro académico en la editorial *Transdigital*, una vez que ha sido admitida por el Comité Científico; además se otorgan certificados de ponencia y asistencia. Ese libro cuenta con International Standard Book Number (ISBN), Digital Object Identifier (DOI) y código de barras.

El Congreso Virtual *Transdigital* es una iniciativa que está inscrita en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT) de la SECIHTI de México con el folio: RENIECYT 2400068.



Transdigital[®]

revista científica

La revista científica *Transdigital* es una publicación semestral bajo el modelo de publicación continua, de manera que se reciben textos durante todo el año. Es editada por la Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. Evalúa los textos con el sistema de pares de doble ciego. Se admiten Artículos de investigación y Ensayos científicos originales.

El proceso de publicación es expedito y, en promedio, los textos se publican tres meses después de que han sido recibidos. El Consejo científico y el Comité editorial se compone por distinguidas y distinguidos académicos de talla nacional e internacional. Cuenta con la Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-020912091600-102, International Standard Serial Number (ISSN) 2683-328X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Hasta ahora, está indizada en Latindex, Dialnet, ERIHPLUS, REDIB, EuroPub, LivRe, AURA, Academic Resource Index (ResearchBib), MIAR, OpenAire-Explore, Refseek, Sherpa Romeo, Elektronische Zeitschriftenbibliothek, ZDB Zeitschriften Datenbank, WorldCat, Dimensions, The University of Liverpool, Discovery, Erasmus University Rotterdam, Mir@bel, REBIUN, DARDO, UOCI, LatinRev, ROAD, Google Scholar, Crossref, Scite, Lens, Internet Archive, BASE, etc.

El costo de publicación puede ser consultado en: www.revista.transdigital.mx