

Soportes monolíticos de carbono con configuración avanzada tipo válvula tesla para la mejora de la actividad catalítica: beneficio de la impresión 3D

A. Parra-Marfil^{1,2}, E. Bailón-García¹, R. Ocampo-Pérez², F. Carrasco-Marín¹, A.F. Pérez-Cadenas¹, A. Bueno-López³

¹ Materiales Polifuncionales Basados en Carbono (UGR-Carbon), Dpto. Química Inorgánica - Unidad de Excelencia Química Aplicada a Biomedicina y Medioambiente - Universidad de Granada (UEQ-UGR), ES 18071-Granada, España.

² Centro de Investigación y Estudios de Posgrado, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, MX 78210-San Luis Potosí, México.

³ Dpto. de Química Inorgánica, Universidad de Alicante, ES 03080-Alicante, España

adrianaparra@correo.ugr.es

Palabras clave: Impresión 3D, metanación de CO₂, válvula tesla.

Introducción

La valorización del CO₂ mediante la reacción catalizada de metanación proporciona una solución a las problemáticas asociadas a la quema de combustibles fósiles. Por otra parte, gracias a sus características cinéticas y fluidodinámicas, los monolitos tienen mejores prestaciones al tratar grandes volúmenes de gases en comparación con gránulos o pellets. Generalmente se fabrican mediante extrusión, por lo cual su diseño está limitado a canales rectos y paralelos. Este diseño impone un flujo de circulación laminar debido a las fuerzas de fricción, que hacen que la velocidad del fluido al centro del canal sea hasta 5 veces mayor que en la proximidad a la pared, desaprovechando la superficie específica y las fases activas soportadas en los monolitos. En este trabajo se aprovechó la tecnología de impresión 3D junto con el proceso sol-gel para la obtención de monolitos de carbono con canales complejos que generan turbulencia y mejoran la interacción fluido-catalizador. Se estudió el efecto del diseño comparando canales tipo válvula tesla y canales rectos en la metanación de CO₂.

Metodología experimental

Por medio de impresión 3D se obtuvieron moldes poliméricos usados como negativo de los canales deseados —canales tipo válvula tesla (T) y rectos (R)—. Los moldes se introdujeron en tubos de vidrio, se llenaron con una solución de resorcinol, formaldehído y agua, se sellaron y se realizó un proceso de polimerización controlado, obteniendo así monolitos orgánicos. Dichos monolitos orgánicos se carbonizaron en atmósfera inerte, donde el incremento de la temperatura funde el molde de polímero termofusible dejando libre el canal con la geometría deseada.

Se usó Ni/CeO₂ como fase activa, la cual se depositó en los monolitos mediante inmersión en una suspensión etanólica. La actividad catalítica en la reacción de metanación de CO₂, (10% CO₂, 40% H₂ en Ar) se probó a presión atmosférica, previa reducción (H₂/Ar a 500 °C) en un reactor cilíndrico horizontal con control de temperatura y flujos entre 100 y 500 mL/min. La actividad de los catalizadores se evaluó como conversión de CO₂ (CCO₂) y velocidad de reacción obtenida.

Resultados y discusión

Se analizaron las propiedades de la fase activa en polvo y soportada, las cuales corroboraron que el proceso de impregnación y la interacción con la matriz carbonosa no afecta a la naturaleza química del Ni/CeO₂, por tanto, las diferencias en la actividad catalítica se pueden asociar a los cambios en la estructura monolítica. La macroporosidad de los monolitos favoreció la difusión de la suspensión etanólica de Ni/CeO₂ obteniendo una distribución homogénea de la fase activa tanto en el canal como dentro de la matriz carbonosa. Las CCO₂ y las velocidades de reacción obtenidas confirmaron que el diseño de los canales tiene una importante influencia en su rendimiento (Figura 1). La Figura 1a muestra la conversión de CO₂ obtenida tratando 2 flujos diferentes. Con flujo de 100 mL/min la diferencia entre ambos materiales es muy pequeña debido a que el caudal bajo permite al gas difundirse a través de ambos materiales interaccionando de manera similar con la fase activa dispersa. No obstante, la mejora en el rendimiento de los canales T es evidente a flujo elevado. El flujo de 500 mL/min fuerza al gas a pasar a través de los canales R. En cambio, el camino tortuoso de los canales T crea turbulencia que mejora la interacción fase activa-reactivos debido a que se favorece la difusión dentro de la porosidad haciendo que los centros activos presentes dentro de la porosidad sean accesibles y activos. En la Figura 1b se observa que el monolito de canales rectos está bajo control difusional, es decir, su funcionamiento es dependiente del caudal tratado. El aumento del flujo volumétrico hasta 200 mL/min favorece el rápido suministro de reactivos y simultáneamente la retirada de productos, mejorando la velocidad de reacción. Sin embargo, para flujos superiores el gas es forzado a fluir dentro de los canales perdiendo efectividad. Contrariamente, la Figura 1c muestra que el monolito con diseño avanzado tipo válvula tesla se encuentra bajo control químico en todo el rango de flujos analizado, alcanzando además mayores velocidades (7 vs 3.9-5 μmol CO₂ cons/s·g, diseños T y R, respectivamente).

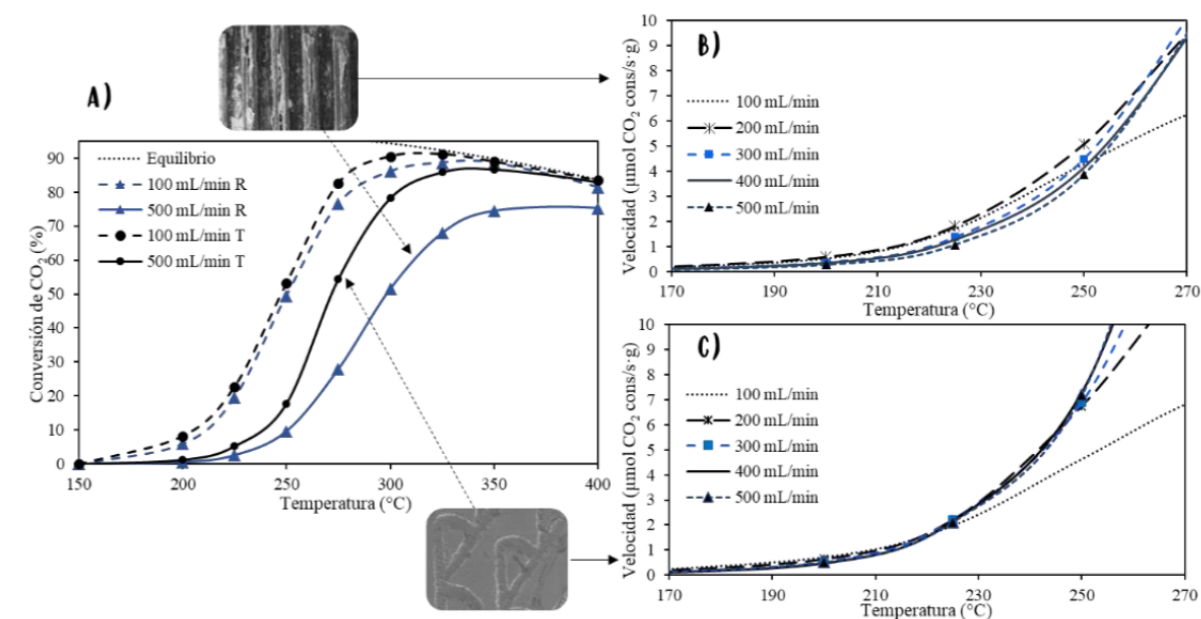


Figura 1. Efecto del diseño del canal en la actividad catalítica. a) conversión de CO₂; velocidad de reacción para canales: b) rectos y c) tipo válvula tesla.

Conclusiones

La implementación de la impresión 3D y proceso sol-gel permitió el desarrollo de monolitos de carbono complejos con los cuales se analizó el efecto del diseño del canal en la reacción de metanación de CO₂. En el diseño T la trayectoria turbulenta incrementó la transferencia de masa y la difusión del gas dentro de los macroporos del soporte de carbono, por lo cual se mejoró el rendimiento catalítico en comparación con el diseño convencional. Este estudio demuestra el potencial de la impresión 3D en la producción de monolitos con estructura no convencional para aplicaciones catalíticas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero a MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033/, “FEDER Una manera de hacer Europa” el proyecto PID2021-127803OB-I00, y a CONACyT, México a través de la BECA 818974.