

# Desarrollo de reactores de membranas densas bifuncionales para la separación de gases

*Reseñado por Uriel Merino Reyes*

## *Resumen*

*Los reactores de membrana densa de cerámica-carbonato son sistemas bifuncionales en donde se produce una reacción catalítica, en la superficie de la membrana, y la subsecuente separación de unos de los productos de dicha reacción. Un ejemplo de ello son los reactores de membrana en donde se produce la oxidación de monóxido de carbono (CO) y la posterior permeación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido. Este mecanismo es de especial interés en la separación y enriquecimiento de hidrógeno (H<sub>2</sub>) del llamado gas de síntesis, una mezcla de todos los gases antes descritos.*

El hidrógeno puede ser una excelente alternativa dentro de las nuevas propuestas de energía limpia, al ser empleado como vector energético. De hecho, en la actualidad, la mayor parte de la producción de este gas se realiza por métodos químicos en donde se obtiene el denominado gas de síntesis, una mezcla de hidrógeno y óxidos de carbono (CO y CO<sub>2</sub>). Sin embargo, un inconveniente en este tipo de producción de hidrógeno es su separación del CO y CO<sub>2</sub>. En cuanto a los óxidos de carbono su separación, almacenamiento y conversión son de vital importancia, ya que son dos de los principales gases que contribuyen al efecto invernadero, fenómeno responsable del calentamiento global de nuestro planeta.

En este mismo contexto, las membranas densas de doble fase, y los respectivos reactores de membrana, han demostrado ser útiles para la conversión de CO a CO<sub>2</sub>, su permeación y separación. Estos materiales están constituidos por un soporte poroso, compuesto por una o más fases cristalinas, al cual se le impregnan carbonatos fundidos en las cavidades formadas (poros). Las membranas deben de tener propiedades de conducción iónica y electrónica, para facilitar diferentes procesos, como la conducción del CO<sub>2</sub>, oxígeno (O<sub>2</sub>) y electrones.

La composición de estos sistemas está conformada, en la mayoría de ellas, por dos fases: i) Ceria (CeO<sub>2</sub>) dopada con algún catión para favorecer la conducción iónica y ii) otra fase con estructura cristalina de tipo perovskita, las cuales poseen excelentes propiedades de conducción iónico-electrónico. De tal forma, la combinación de estas dos fases cristalinas como soporte de los sistemas membranales optimiza los mecanismos de conducción requeridos en todo el proceso, además de presentar una alta estabilidad térmica y química. De forma complementaria, en los poros de este soporte se añade una mezcla de carbonatos alcalinos fundidos, los cuales funcionan específicamente como conductores del ion carbonato.

En el caso de las membranas densas de doble fase utilizadas para la permeación del CO<sub>2</sub>, este gas inicialmente se adsorbe en la superficie de la membrana, reaccionando y formando

el ion carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Para ello, el soporte cerámico (mezcla de ceria dopada y perovskita) ceden un oxígeno de la red cristalina. Este ion carbonato se incorpora en la fase de carbonatos alcalinos fundidos y se transporta hasta la otra cara de la membrana debido a un gradiente de concentración. Una vez que el ion carbonato llega a este punto, el  $\text{CO}_2$  se desorbe y el oxígeno utilizado para la formación del ion se reintegra a la red cristalina del soporte, difundándose nuevamente de regreso a su punto de origen. Es por ello de la importancia de las altas conductividades necesarias en este tipo de sistemas.

Ahora, en el caso de los reactores de membrana, el gas que se adsorbe en la superficie de la membrana es el monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), el cual se oxida a  $\text{CO}_2$  y posteriormente ya forma parte de los carbonatos, se difunde y extrae del otro lado de la membrana, tal cual se describió anteriormente. Sin embargo, en este caso hay dos puntos más a tomar en cuenta. Para la oxidación del  $\text{CO}$  se necesita que la cara de contacto de la membrana tenga propiedades catalíticas para este fin, de otra forma el paso de oxidación de  $\text{CO}$  a  $\text{CO}_2$  no ocurre. Además, en este caso, se necesita de una fuente de oxígenos para el proceso catalítico de oxidación, por lo cual los oxígenos de los soportes no son suficientes. Para ello, en el lado de la membrana en donde se libera el  $\text{CO}_2$  permeado, debe existir un flujo de oxígeno que permeé por medio de las fases cristalinas en dirección contraria a los iones carbonatos como una fuente de oxígenos en el proceso de oxidación del  $\text{CO}$ .

De esta forma es que las membranas o reactores de membrana densas de doble fase se han propuesto para su empleo en la separación y enriquecimiento de hidrógeno de flujos de gas de síntesis (mezclas de  $\text{H}_2$  y óxidos de carbono), mediante la permeación selectiva de los óxidos. Este proceso se representa de manera general en la siguiente figura.

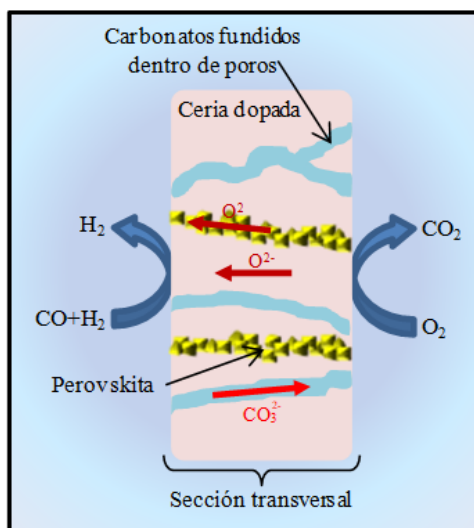


Figura 1. Representación esquemática de un reactor de membrana para la oxidación-permeación de  $\text{CO}$  en un flujo de gas de síntesis.

Ovalle-Encinia, O., Sánchez-Camacho, P., González-Varela, D., & Pfeiffer, H. (2019). Development of New Bifunctional Dense Ceramic-Carbonate Membrane Reactors for Gas Mixtures Separation, through  $\text{CO}$  Oxidation and Subsequent  $\text{CO}_2$  Permeation. *ACS Applied Energy Materials*, 2(2), 1380–1387.