

REVISIÓN DEL PROCESO DE PERVAPORACIÓN

Martino María Belén, Massón Melania.
Tutor: Ing. Químico Bertozzi, Jorge Daniel

Carrera: Ingeniería Química. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María, Av. Universidad 435, CP: 5900, Villa María, Córdoba, Argentina, TEL: 0353-4537500. email: *melaniamasson@hotmail.com*

Resumen

En este trabajo se realizó una revisión conceptual del estado actual del Proceso de Pervaporación, haciendo uso de diversas herramientas bibliográficas.

Se analizaron aspectos tales como mecanismo de la PV, ventajas y aplicaciones del método y características de las membranas. Como conclusión más importante se pudo extraer que esta tecnología constituye una alternativa muy importante desde el punto de vista técnico-económico para procesos de separación específicos.

Introducción

La pervaporación (PV) es la evaporación selectiva de un componente de una alimentación líquida al poner ésta en contacto con una membrana semi-permeable, donde uno de los componentes de la mezcla se transporta mediante permeación preferencial a través de la membrana, saliendo en fase vapor del otro lado de la misma. Las membranas utilizadas en este tipo de proceso son clasificadas según la naturaleza de la separación a realizar.

La pervaporación tiene lugar en tres etapas fundamentales: adsorción de los componentes de la mezcla líquida en la membrana, difusión de los compuestos adsorbidos a través de la membrana y desorción en el lado del permeado.

Una de las principales ventajas que presenta la PV es que sólo es necesario evaporar una fracción de la mezcla, siendo el consumo de calor latente inferior al requerido en destilación, lo que representa una solución en la separación de azeótropos y mezclas de componentes cuyo punto de ebullición están cercanos, así como para eliminar sustancias presentes en bajas concentraciones.

La pervaporación es una tecnología emergente cuyas principales aplicaciones se centran en la deshidratación de compuestos orgánicos, eliminación de compuestos orgánicos de disoluciones acuosas, separación de mezclas orgánicas, entre otras.

La utilización de este proceso se ve condicionado por la necesidad de conseguir altos flujos de materia junto con elevada selectividad en la separación del compuesto deseado. Con estos objetivos, en la última década se han dedicado importantes esfuerzos de I+D al desarrollo de nuevas membranas, así como a la comprensión y modelado de los fenómenos responsables del flujo de materia.

Mecanismo de la PV

La PV es una tecnología de membranas utilizada para separar componentes de mezclas líquidas. El término "pervaporación" es una contracción de los términos permeación y evaporación, ya que se trata de un proceso de separación en el cual una mezcla líquida se pone en contacto con una membrana selectiva y uno de los componentes de la mezcla se transporta mediante permeación preferencial a través de la membrana, saliendo en fase vapor del otro lado de la misma, como se muestra en la Figura 1

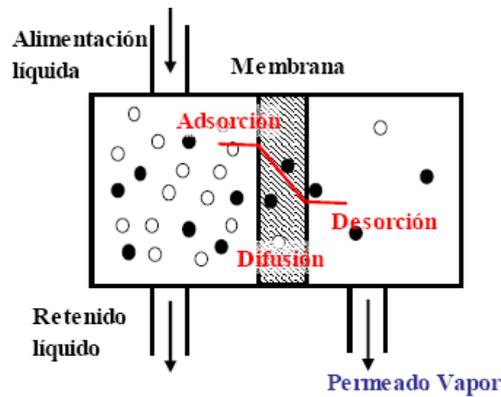


Figura 1: Diagrama del mecanismo de pervaporación a través de una membrana

La pervaporación funciona mediante ósmosis inversa, es decir que se produce un pasaje solamente del solvente desde una zona de alta concentración hacia una zona de baja concentración. Esto se logra aumentando la presión del lado de mayor concentración.

La PV tiene lugar en tres etapas fundamentales: adsorción de los componentes de la mezcla líquida en la membrana, difusión de los compuestos adsorbidos a través de la membrana y desorción en el lado del permeado, con un efecto calorífico.

La fuerza impulsora se puede establecer de dos maneras para mantener una diferencia de presión en el lado del permeado: aplicando vacío o mediante una purga con un gas de arrastre Figura 2. El vapor obtenido como permeado es rico en el componente que permea de forma preferente y se condensa para posteriores tratamientos; mientras, el retenido se enriquece en el otro componente y puede bien ser utilizado en otro proceso o reciclado para mayor separación.

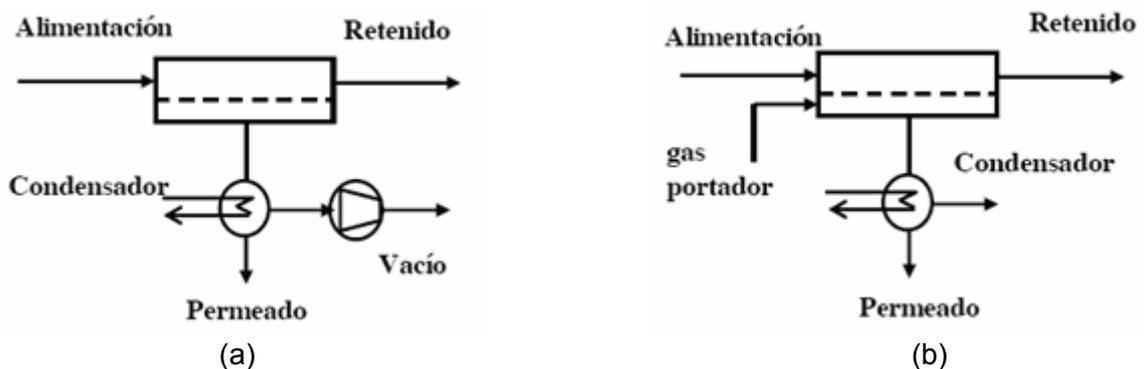


Figura 2: Esquemas generales de una unidad de pervaporación a vacío (a) y con gas de arrastre (b).

Ventajas

- Es considerado una alternativa en métodos de separación para una gran variedad de procesos, siendo una de las ventajas la separación de azeótropos.
- Debido a que sólo es necesario evaporar una fracción de la mezcla, el consumo de calor latente es inferior al requerido en destilación, lo cual representa una gran ventaja de la PV en la separación de azeótropos y mezclas de componentes cuyo punto de ebullición son similares, así como para eliminar sustancias presentes en bajas concentraciones.
- Además, esta tecnología permite separar compuestos sensibles a la temperatura, ya que no es necesario calentar la mezcla a la temperatura de ebullición.
- Se requiere poco consumo de energía.
- Opera mejor con bajas impurezas en la alimentación.
- Permite operar con grandes volúmenes de alimentación.

Membranas

Una membrana es una estructura interpuesta entre dos fases fluidas, actuando como barrera selectiva en relación al transporte de materia entre las fases adyacentes a ella.

Las membranas de pervaporación se escogen por su alta selectividad, y suelen ser densas, es decir, no porosas.

El rendimiento de una membrana de pervaporación en la separación de una mezcla se caracteriza evaluando tres aspectos: la productividad de la membrana, la selectividad y la estabilidad de la membrana.

La *productividad* de una membrana se caracteriza experimentalmente mediante el flujo de permeado, es decir, la cantidad de compuesto que atraviesa la unidad de área de membrana por unidad de tiempo, midiéndose habitualmente en kg/m²h.

La *selectividad* se cuantifica mediante dos cocientes alternativos α y β , definidos como:

$$\alpha = \frac{C_i^P / C_j^P}{C_i^F / C_j^F} \text{ y } \beta = \frac{C_i^P}{C_j^P}$$

donde C^P y C^F son las concentraciones másicas del componente i ó j en la mezcla de permeado o de alimentación, respectivamente.

El parámetro α es la forma más común de cuantificar la selectividad de una membrana, y proviene de la descripción de la separación de gases, donde α corresponde al cociente de permeabilidades de la membrana al poner ésta en contacto con gases puros de manera sucesiva.

El flujo y la selectividad dependen a su vez de variables de operación tales como la presión de la alimentación, la presión de permeado, la temperatura, la composición de la alimentación, así como de variables asociadas a la membrana: el material elegido, la estructura de la membrana y el espesor de la capa activa.

Hay membranas con una afinidad por el agua muy elevada debido a que contienen grupos -OH hidrófilos o iónicos en su superficie, y gracias a la gran movilidad de las moléculas de agua presentan una alta selectividad. No obstante, los flujos de agua pueden ser bajos, a causa de

bajas temperaturas de operación o de una capa activa muy gruesa, cuando ésta es necesaria para aportar resistencia mecánica a la membrana.

La *estabilidad* de la membrana es la capacidad que tiene ésta de mantener las mismas condiciones de permeabilidad y selectividad durante largos periodos de tiempo. Debido al tiempo necesario para realizar pruebas de estabilidad sobre membranas de pervaporación, hay pocos estudios publicados acerca de la caracterización de membranas de PV en condiciones transitorias. Sin embargo, el carácter robusto de las membranas poliméricas de alcohol polivinílico (PVA) ha permitido el desarrollo de procesos comerciales, casi todos aplicados a la deshidratación de etanol e isopropanol.

Tipos de Membranas

Las membranas usadas en los procesos de pervaporación son clasificadas según la naturaleza de la separación a realizar.

Membranas hidrófilas: se utilizan para separar el agua de las soluciones orgánicas. Estos tipos de membranas son hechas de polímeros con vidrio y un ejemplo es el alcohol polivinílico (PVA).

Membranas organofílicas: Se usan para recuperar los compuestos orgánicos de soluciones. Estas membranas se hacen de elastómero. La naturaleza flexible de éstos polímeros los hacen ideal para permitir el paso del compuesto orgánico. Los ejemplos incluyen el nitrilo, caucho del butadieno, entre otros.

Aplicaciones de la PV

Las aplicaciones de la pervaporación se pueden clasificar en tres grupos:

- Deshidratación de compuestos orgánicos:

Se utilizan membranas hidrófilas, a través de las cuáles se produce la permeación preferencial del agua, para la deshidratación de disolventes orgánicos, sobre todo mezclas azeotrópicas. Estas membranas separan el agua con flujos y selectividades variables en función de la estructura química de su capa activa así como de su morfología. La mayoría de las membranas hidrófilas disponibles en el mercado están hechas de alcohol polivinílico (PVA),

- Eliminación de compuestos orgánicos de disoluciones acuosas:

Se trata de aplicaciones en que la concentración del compuesto orgánico en la mezcla es minoritaria. Se utilizan membranas organofílicas con una permeación preferente por compuestos no polares.

El más importante es la separación de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos en aguas contaminadas, combinando el control de la polución y la recuperación de disolventes.

- Recuperación de compuestos aromáticos en la industria alimentaria:

La pervaporación ofrece la ventaja de trabajar a bajas temperaturas, evitando con ello la degradación de estas sustancias de alto valor añadido.

- Separación de mezclas orgánicas:

Para esta aplicación se utilizan las llamadas membranas organoselectivas.

Estas membranas pueden ser de tipo hidrófilo, como en el caso de la separación de mezclas alcohol/éter, cuando el compuesto que permea es polar, que es el caso de la separación de mezclas de hidrocarburos aromáticos y alifáticos.

Desarrollo de la Tecnología de PV

A partir de principios de la década de los años 80, el desarrollo de nuevas membranas hizo posible la viabilidad práctica de la pervaporación, así como su posible asociación con otros procesos convencionales como la destilación para fraccionar mezclas de compuestos con puntos cercanos de ebullición y de azeótropos. Dos sistemas de pervaporación con membranas poliméricas han sido comercializados con éxito: el primero y más importante es la deshidratación de disoluciones alcohólicas concentradas. La empresa GFT, ahora propiedad de Sulzer, líder en este campo, instaló la primera planta piloto comercial en 1982 en Sao Paulo (Brasil). Se trataba de membranas densas hidrófilas de alcohol polivinílico (PVA) sobre soporte de poliacrilonitrilo (PAN) reforzado por una red de poliéster, que proporcionaba estabilidad mecánica. Estas membranas fueron aplicadas a la deshidratación de mezclas de agua/etanol con un 10% en peso de agua, obteniendo un volumen de 1.300 litros de etanol diarios, al 99,2% de pureza y evitando los problemas de la destilación azeotrópica.

Desde entonces, la empresa GFT-Sulzer ha contribuido a la instalación de más de 100 plantas de pervaporación. La planta más grande actualmente en funcionamiento fue instalada en Bethenville (Francia) en 1988 (Huang, 1991); esta unidad contiene 2.400 m² de membranas y procesa 5.000 kg/h de etanol, a partir de una alimentación que contiene un 94% etanol procedente del refinado de azúcar.

También otras empresas, como Lurgi GmbH (Suiza) han utilizado la pervaporación como complemento anterior a la destilación para extraer etanol de caldos de fermentación, desarrollando plantas con capacidad para 6.000 – 12.000 litros por día.

La aplicación de la pervaporación en la deshidratación de alcoholes, principalmente etanol e isopropanol, tiene una amplia implantación, con más de 150 instalaciones industriales en todo el mundo (Brüschke, 2001).

Otra aplicación comercial de la pervaporación es la eliminación de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) de aguas contaminadas. La tecnología de pervaporación para extraer VOCs del agua ha sido desarrollada por la empresa Membrane Technology and Research Inc. (Baker, 2004); la primera planta comercial fue vendida en 1996, y ampliamente investigada en el ámbito académico (Urtiaga *et al.*, 1999), así como comparada con otras operaciones de separación como la destilación con membranas (Urtiaga *et al.*, 2001). Es una separación relativamente fácil porque los disolventes orgánicos y el agua tienen polaridades muy diferentes y exhiben propiedades de permeación distintivas. No se conoce que se haya desarrollado aún ningún sistema de pervaporación para llevar a cabo la separación de mezclas orgánicas anhidras. Sin embargo, la tecnología de membranas actual hace estas aplicaciones posibles, por lo que se están llevando a cabo numerosas investigaciones para estudiar el proceso de pervaporación en la recuperación y enriquecimiento de aromas a partir de disoluciones acuosas diluidas como zumos de frutas y otras bebidas (Karlsson y Trägårdh, 1993; Jiratananon *et al.*, 2002b; Trifunovic y Trägårdh, 2002; Lipnizki *et al.*, 2002; Pereira *et al.*, 2005).

Conclusiones

La pervaporación es un proceso costoso y nuevo en la industria, pero su evolución permitió a las empresas invertir en esta nueva tecnología.

Debido que el proceso trabaja por osmosis inversa, mediante la cual se separa una fracción de la solución (solvente), se requiere un menor consumo de energía que en la destilación.

Referencias:

- 1- Clara, Casado Coterillo, *Comportamiento de Membranas Cerámicas de Pervaporación a la Deshidratación de disolventes Orgánicos Industriales*
- 2- Vom Fachbereich Maschinenbau, *Membrane Processes for the Dehydration of Organic Compounds*, Universität Hannover.
- 3- Lei Li, Zeyi Xiao, Zhibing Zhang, Shujuan Tan, *Pervaporation of acetic acid/water mixtures through carbon molecular sieve-filled PDMS membranas*. Chemical Engineering Journal. www.elsevier.com
- 4- Proceso de Pervaporación, Enciclopedia Electrónica Wikipedia
- 5-Arturo Sanchez/Joaquín Palacios, *Criterios Termodinámicos para la Selección de una Membrana Polimérica, Empleada en el Proceso de Pervaporación para la Separación de MMA ISB y PRP*. Journal of the Mexican Chemical Society, Octubre-diciembre, año/vol 44, número 004