

# Filtración de glicerina de una solución modelo por ósmosis inversa y nanofiltración

Jesús Mora <sup>1,2</sup>  
Meszaros P. <sup>1</sup>  
Gyula Vatai <sup>1</sup>  
Erika Bekassy-Molnar <sup>2</sup>

*La glicerina es un líquido incoloro, espeso y dulce, que se encuentra en todos los cuerpos grasos como base de su composición. Se usa mucho en la industria alimentaria como preservante, en la industria confitera como aditivo y en la industria cosmética como materia prima del jabón.*

## Palabras clave

Ósmosis inversa, Nanofiltración, Agua residual, Solución glicerina-agua.

## Resumen

La glicerina es un líquido incoloro, espeso y dulce, que se encuentra en todos los cuerpos grasos como base de su composición. Se usa mucho en la industria alimentaria como preservante, en la industria confitera como aditivo y en la industria cosmética como materia prima del jabón. Químicamente es un alcohol que se disuelve bien en agua y en

otros alcoholes, es muy higroscópico y su peso molecular es de 92,09 Dalton. La eliminación de la glicerina de las aguas residuales es muy importante desde el punto de vista económico y de la protección ambiental; por eso en esta investigación se estudió la posibilidad de la filtración de la glicerina de una solución de concentración baja. En el experimento se usó una solución modelo de glicerina-agua del 3%, la recirculación del flujo se mantuvo constante (300 l/h), la temperatura fue de 27 °C y se trabajó con diferentes presiones. Los parámetros calculados fueron: el flujo del permeado a través de la membrana, asimismo la densidad relativa del permeado y del concentrado de la solución inicial. En el experimento de ósmosis inversa se

- 1 Szent Istvan University, Faculty of Food Science, Department of Food Engineering H-1118 Menesi str. 44. Budapest, Hungary, Tel: +36-1-372-62-32, Fax: +36-1-372-63-23. Emails: (jmora@omega.kee.hu), (gvatai@omega.kee.hu), (bmolnar@omega.kee.hu.)
- 2 Dirección permanente: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos, Escuela de Ciencias y Letras. Apartado: 223-4400 Ciudad Quesada-Costa Rica, Tel: (506)-475-5033, Fax: (506)-475-5395, Email: (jesusmm@costarricense.cr.)

utilizaron las membranas: BM 1/D, BM 0,5/D fabricada por la compañía Berghof y en nanofiltración la membrana RA 55, fabricada por la compañía Millipore, todas de material poliamida. Se pudo establecer que la ósmosis inversa dio mejor resultado en el rechazo de la glicerina; sin embargo, en la nanofiltración el flujo fue más alto.

## Introducción

La ósmosis inversa (OI) y la nanofiltración (NF) son los procesos de membrana utilizados más comúnmente para tratamiento de agua potable en Estados Unidos y países árabes. Como para cualquier proceso de tratamiento de agua, la ósmosis inversa y nanofiltración se seleccionan con base en costo y calidad, teniendo el costo una significación principal la mayoría de las veces (Andriy, 2002, Sanchuan, 2001). La OI es capaz de rechazar contaminantes o partículas con diámetros tan pequeños como  $0,0001 \mu\text{m}$ , mientras que la NF puede rechazar contaminantes tan pequeños como  $0,001 \mu\text{m}$ . Ambas, la OI y la NF, pueden describirse como procesos de difusión controlada en que la transferencia de masa de iones a través de las membranas está controlada por difusión (Yaacov, 2001, Semiat, 2001). Consecuentemente, estos procesos pueden llevar a la remoción de sales, durezas, patógenos, turbidez, desinfección de subproductos precursores, compuestos orgánicos sintéticos, pesticidas y la mayoría de los contaminantes del agua potable conocidos hoy. La mayoría de los gases disueltos, como el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), y algunos pesticidas pasan a través de las membranas de OI y NF. Sin embargo, la tecnología de las membranas puede utilizarse para tratar un mayor número de contaminantes del agua potable y del agua residual, más que ninguna otra tecnología de tratamiento (Mallevalle, 1998, Marki, 2001).

## Teoría

La ósmosis inversa y la nanofiltración son operaciones de membrana en las que la fuerza actuante es una diferencia de presión a través de la membrana.

### La ósmosis inversa

La OI es una operación de membrana en la que, por medio de una presión, el solvente de una solución se transfiere a través de una densa membrana fabricada expresamente para retener sales y solutos de bajo peso molecular. Si una solución salina concentrada está separada del agua pura por este tipo de membrana, la diferencia de potencial químico tiende a promover la difusión del agua desde el compartimento diluido al compartimento concentrado para igualar las concentraciones. En el equilibrio, la diferencia de niveles entre los dos compartimentos corresponde a la presión osmótica de la solución salina. Para producir agua pura de una solución salina, debe aplicarse una presión que sea mayor a la presión osmótica de la solución. Del mismo modo, para obtener flujos o caudales económicamente viables, al menos debe ejercerse el doble de la presión osmótica; por ejemplo, para agua marina se usan presiones de 5 a 8 Mpa (Mulder, 1998, Porter, 1990).

### Nanofiltración

La NF, también llamada ósmosis inversa a baja presión o desdurecimiento por membranas, relaciona la OI y la UF en términos de selectividad de la membrana, la cual está diseñada para eliminar iones polivalentes (calcio y magnesio) en operaciones de ablandamiento. Más recientemente, la NF ha sido empleada para eliminar o separar la materia orgánica. En esta técnica, los iones monovalentes son rechazados débilmente por la membrana. Esto explica por qué la NF permite una contrapresión osmótica

*La ósmosis inversa y la nanofiltración son operaciones de membrana en las que la fuerza actuante es una diferencia de presión a través de la membrana.*

mucho menor que la experimentada por la OI (Mallevalle,1998, Mora, 2002).

## Materiales y métodos

El propósito básico de este experimento fue examinar cuál de los dos procesos (ósmosis inversa y nanofiltración) es más apto para la eliminación de la glicerina de solución modelo glicerina-agua. En el experimento se usó una solución modelo de glicerina-agua del 3%, la recirculación del flujo se mantuvo constante (300 l/h), la temperatura fue de 27 °C y se trabajó con diferentes presiones. Los parámetros calculados fueron el flujo del permeado a través de la membrana, rechazo de la glicerina por medio de la densidad relativa del permeado y del concentrado de la solución inicial. En el experimento de ósmosis inversa se utilizaron las membranas: BM 1/D, BM 0,5/D, fabricadas por la compañía Berghof, y en nanofiltración la membrana RA 55, fabricada por la compañía Millipore, todas de material poliamida. Los aparatos utilizados para las mediciones fueron: el DDS Minilab 20 (ósmosis inversa) y el Millipore Y-prolab 2 (nanofiltración). Las características de las membranas utilizadas en los experimentos se muestran en la tabla 1. Para la caracterización de eficiencia de filtración del flujo (J) de permeado y de

rechazo (R%) se empleó la siguiente ecuación:  $R = 1 - (C_p/C_f)$ , donde  $C_p$  y  $C_f$  son las concentraciones de permeado y alimentación.

## Resultados y discusión

Basado en el modelo de solución-difusión, a continuación se describe el transporte de solvente ( $J_w$ ) y soluto ( $J_s$ ) a través de las membranas en términos de las afinidades relativas de estos componentes para la membrana y su transporte difusivo por el interior de la fase membrana:

$$J_w = -K_w \frac{(\Delta p - \Delta \Pi_w)}{\delta} \quad J_s = -D_s K_d \frac{(c_f - c_p)}{\delta}$$

donde  $K_w$  es la permeabilidad hidráulica,  $\Delta p$  es la presión diferencial a través de la membrana,  $\Delta \pi$  es la presión osmótica diferencial,  $\delta_m$  es espesor de la membrana,  $D_s$  es el coeficiente de difusión del soluto y  $K_d$  es el coeficiente de distribución que describe la afinidad relativa del solvente por la membrana.

En la tabla 2 se pueden observar los cocientes ( $K_w/\delta$  y  $D_s K_d/\delta$ ) que caracterizan la membrana, determinados por medio de estas dos ecuaciones (Mallevalle, 1998). Claramente se puede observar que el cociente  $K_w/\delta$  fue mayor en la membrana de nanofiltración (5,48),

*El propósito básico de este experimento fue examinar cuál de los dos procesos (ósmosis inversa y nanofiltración) es más apto para la eliminación de la glicerina de solución modelo glicerina-agua.*

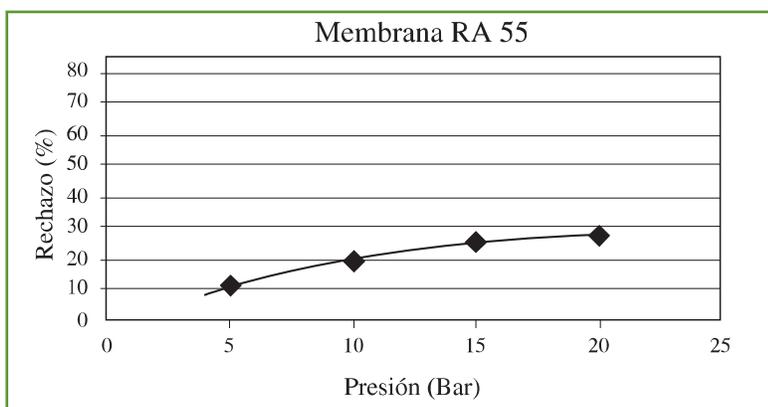
**Tabla 1**  
**Características de las membranas utilizadas en ósmosis inversa y nanofiltración.**

| Tipo de  | Fabricante | Material de la membrana | PMC* [Dalton] | Rechazo del NaCl** [%] | Flujo del agua* [L/m <sup>2</sup> h] | Superficie de la membrana [cm <sup>2</sup> ] |
|----------|------------|-------------------------|---------------|------------------------|--------------------------------------|--|
| BM 0,5/D | Berghof    | Poliamida               | 50            | 97                     | 18                                   | 180  |
| BM 1/D   | Berghof    | Poliamida               | 100           | 96                     | 45                                   | 180  |
| RA 55    | Millipore  | Poliamida               | 200           | 80                     | 90                                   | 3000   |

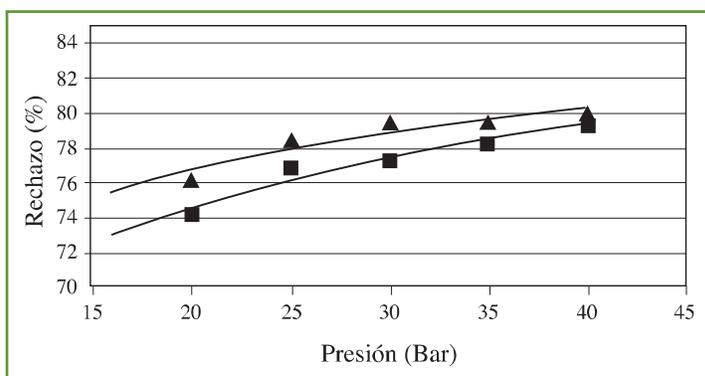
\* Peso molecular de corte \*\* 40 bar, 25 °C

**Tabla 2**  
**Cocientes  $K_w/\delta$  y  $D_sK_d/\delta$  de las membranas**  
**ósmosis inversa y nanofiltración.**

| Membranas  | BM 0.5/D | BM 1/D | RA 55 |
|--|----------|--------|-------|
| $K_w/\delta \cdot 10^7 \left[ \frac{m^3}{m^2 \cdot s \cdot bar} \right]$ | 1,06     | 2,58   | 5,48  |
| $D_sK_d/\delta \cdot 10^7 \left[ \frac{m^4}{kg \cdot s} \right]$         | 0,92     | 2,18   | -     |



**Figura 1**  
**Rechazo de la glicerina versus presión en la membrana RA 55**  
**(proceso de nanofiltración)**



**Figura 2**  
**Rechazo de la glicerina versus presión en la membrana BM 0.5/D y**  
**BM1/D (proceso de ósmosis inversa)**

lo que indica que cuanto mayor sea este número mayor es el flujo del agua limpia (solvente), lo cual quedó demostrado en el experimento. Luego le sigue la membrana de ósmosis inversa BM 1/D con 2,58 y la BM 0.5/D con 1,06. En el caso del cociente  $D_sK_d/\delta$  que se refiere al soluto (flujo de la glicerina) también se comportó de la misma manera.

En la figura 1 se puede observar (en la membrana RA 55, proceso de nanofiltración) cómo el rechazo de la glicerina de la solución modelo fue muy bajo en comparación con las membranas BM 0.5/D y BM1/D (proceso de ósmosis inversa), siendo la membrana BM 0.5/D (figura 2) la más eficiente. Queda demostrado que con el aumento de la presión se incrementa el rechazo de la glicerina de las tres membranas examinadas.

En la figura 3 se puede observar cómo el flujo del permeado de la solución modelo glicerina-agua y agua limpia (en la membrana RA55, proceso de nanofiltración) aumenta al incrementarse la presión. En los dos casos el aumento es similar, lo que indica que en la nanofiltración el flujo fue más alto que en la ósmosis inversa, como lo indican las figuras 4 y 5.

En el caso de las membranas BM 0.5/D y BM1/D (proceso de ósmosis inversa) se puede observar que el flujo del agua limpia aumentó linealmente con el aumento de la presión; no obstante, en el caso de la solución modelo el aumento no fue lineal, lo cual concuerda con el modelo descrito en la literatura: “Relación entre el flujo del permeado y la presión transmembrana” (Hu, 2002), que dice: “Con el aumento de la presión de filtración aumenta el flujo, pero después de cierto punto no aumenta más, debido a que se forma una resistencia de difusión a causa de la formación de torta en la membrana, y diferencia de concentración de la masa principal de la solución”.

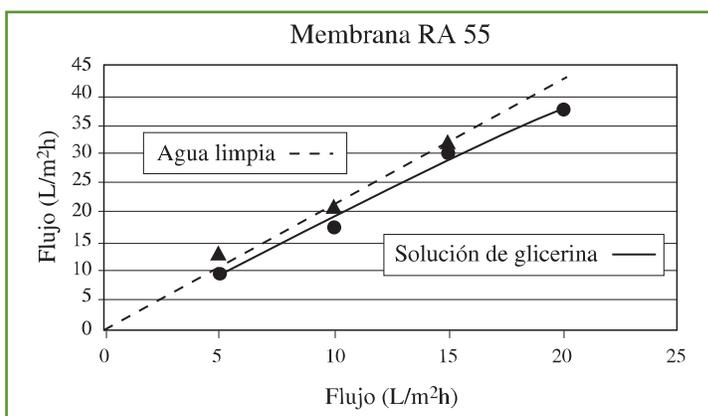


Figura 3

Flujo del permeado de la solución modelo glicerina-agua y agua limpia versus presión en la membrana RA55 (proceso de nanofiltración)

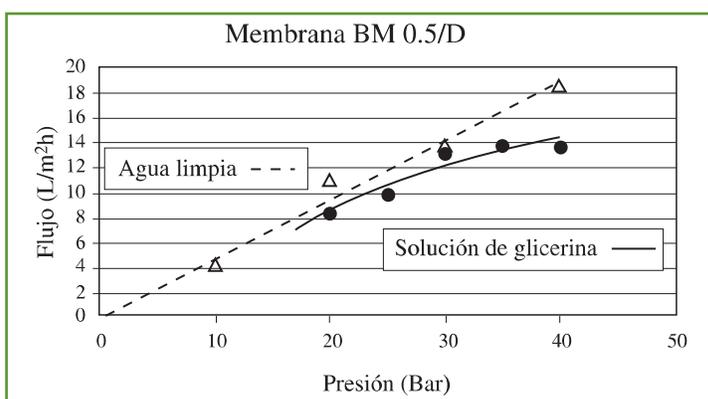


Figura 4

Flujo del permeado de la solución modelo glicerina-agua y agua limpia versus presión en la membrana BM 0.5/D (proceso de ósmosis inversa)

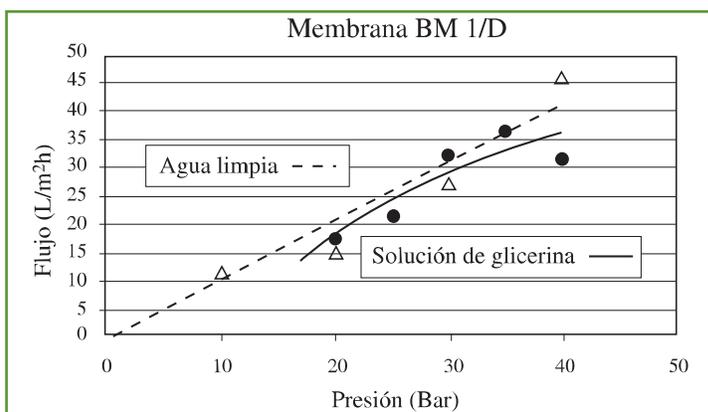


Figura 5

Flujo del permeado de la solución modelo glicerina-agua y agua limpia versus presión en la membrana BM 1/D (proceso de ósmosis inversa)

## Conclusiones

Se demostró que el flujo del permeado de la solución modelo glicerina-agua y agua limpia aumenta con el incremento de la presión, esto en las tres membranas examinadas. Con base en los resultados se puede establecer que las dos membranas de ósmosis inversa dieron mejores resultados en el rechazo de la glicerina (80%), en la membrana de nanofiltración el rechazo fue apenas del 30%; sin embargo, el flujo fue más alto. También se comprobó la teoría del modelo según la cual el flujo del agua limpia aumenta linealmente con el aumento de la presión; no obstante, en el caso de la solución modelo (o agua residual) el incremento no es lineal y después de cierto punto no aumenta más. También los resultados de los cocientes  $K_w/\delta D_s K_d/\delta$  determinados de las tres membranas concordaron con los resultados de flujos del solvente y soluto obtenidos en la investigación.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer las grandes contribuciones del ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica), MICIT (Ministerio de Ciencias y Tecnologías), CONICIT (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas) y de la Fundación OTKA número T 29977 y T 37848.

## Referencias bibliográficas

- [1] Andriy E. Yaroshchuk, "Rejection of single salts versus transmembrane volume flow in RO/NF: thermodynamic properties, model of constant coefficients, and its modification", *Journal of Membrane Science* 198, 285-297, 2002.
- [2] Durham B., Marguerite B.M., Pankratz T. "Membranes as pretreatments to desalination in wastewater reuse: operating experience in the municipal and industrial sectors", *Desalination* 138, 83-90, 2001.

- [3] Hu X., Separation of oil-in-water emulsion for environmental protection", PhD. Thesis, Szent Istvan University, Budapest, 2002.
- [4] Mallevialle J. et al. "Water Treatment membrane Processes", *American Water Works Association Research Foundation Publications*, 1998.
- [5] Mora M. J., Vatai Gy., Bekassy-Molnar E., "Aplicación de la Nanofiltración y Pervaporación en el tratamiento de aguas residuales", Aceptado para ser publicado en la *Revista Tecnología en Marcha* No. 15-2-2002.
- [6] Marki E., Lent. B., Vatai Gy., Bekassy-Molnar E. "Clean technology for acetone absorption and recovery", *Separation and Purification Technology*, vol. 22-23, 377-382, 2001.
- [7] Mulder M. "Basic Principles of membrane Technology", *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht/Boston/London, 1997.
- [8] Porter M. C. "Handbook of Industrial Membrane Technology", *Noyes Publications*, United States of America, 1990.
- [9] Sanchuan Y., Congjie G., Su H., Liu M., "Nanofiltration used desalination and concentration in dye productin", *Journal of Membrane Science* 140, 97-100 (2001).
- [10] Yaacov H., Dan R., Gailil N., Semiat R., "Evaluation of membrane processes to reduce the salinity of reclaimed wastewater", *Journal of Membrane Science* 137, 71-189, 2001.