

ENSAYO DE UNA UNIDAD DE DESTILACIÓN POR MEMBRANA HIDROFOBA

Alejandro Hernández, Nahuel Salvo y Graciela Lesino*

INENCO, Universidad Nacional de Salta, CONICET
Calle Buenos Aires Nº 177 - (4400) - Salta
T.E. 54 - 87 - 255424 - FAX: 54 - 87 - 255489
E-mail: Alejo@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de siete ensayos efectuados con una unidad de destilación de agua con membranas hidrófobas desarrollada por la empresa **Enka Macrodyn**, cuatro en estado estacionario y tres en estado cuasi estacionario mediante un perfil escalonado en la temperatura caliente. Se comparan los resultados estacionarios con los obtenidos en otros trabajos [1] obteniéndose resultados similares. Se presenta una curva de correlación de producciones medias por hora a partir de los datos recogidos en los siete ensayos, la cual arroja un error porcentual inferior al 5 % en la simulación de las producciones totales cuasi estacionarias. Finalmente se efectúa una simulación dinámica empleando un perfil polinómico para la evolución de la temperatura caliente utilizada en la correlación de las producciones medias, resultando un valor de producción total del mismo orden de los obtenidos en los ensayos cuasi estacionarios desde el punto de vista térmico.

INTRODUCCION

El presente trabajo se enmarca en un proyecto** sobre destilación de agua a presión atmosférica con membranas, el cual tiene por objeto la evaluación técnica y económica de la aplicación de las membranas hidrófobas a la destilación de agua, efectuándose el calentamiento del agua salobre o salmuera mediante colectores solares. Una unidad similar a la ensayada fue estudiada previamente por Lacoursière (1994) [1] en condiciones de estado estacionario. En un trabajo anterior (1996) [2], los autores de éste presentaron resultados de ensayos dinámicos (con la unidad acoplada a un colector solar) realizados en el Brace Research Institute de Montreal, Canadá, empleando como salmuera una solución de ClNa al 3 % en peso y obteniendo una producción de 467 ml en 3 horas de funcionamiento continuo alrededor del mediodía, en condiciones de operación distintas a las empleadas en este trabajo.

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La unidad de membranas es del tipo fibra hueca. Consta de una carcasa de polipropileno de 2,4 cm de diámetro interno conteniendo en su interior tres fibras tubulares de polipropileno con un tamaño medio de poro de 0,2 μm y una alta fracción de huecos. La longitud disponible para la difusión del vapor es de 0,73 m. Por el interior de las tres fibras huecas circula la salmuera caliente y por fuera, en contracorriente, agua pura fría.

El equipo completo consta de la unidad de membranas, una bomba pequeña (3,5 lt/min máximo) para el circuito frío con bypass para limitar su caudal, una cuba termostatizadora con bomba incluida (8 lt/min máximo) para el circuito caliente, dos caudalímetros de tipo flotámetro con llaves reguladoras de caudal, mangueras plásticas de 1/2" para las conexiones y una PC XT equipada con una tarjeta PCLAB 812 para la adquisición de datos de temperatura. Se monitoreó las temperaturas de entrada y salida en la membrana para cada corriente mediante cuatro termómetros LM335 conectados a la PCLAB. Todo el circuito caliente fue aislado térmicamente a fin de disminuir sus pérdidas térmicas.

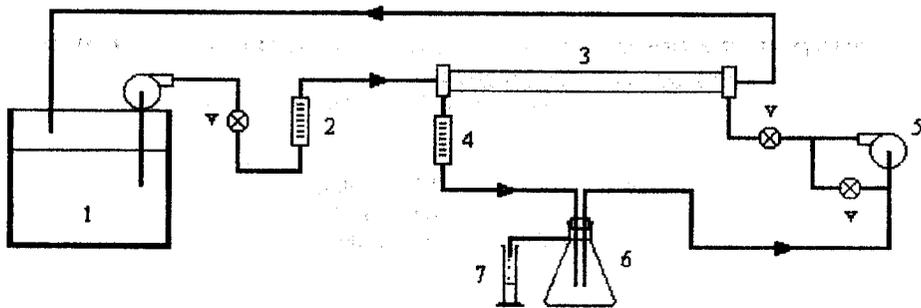
El circuito frío dispone de un recipiente de vidrio desde el cual se recoge, por rebalse, el líquido destilado en una probeta graduada. En la figura 1 se aprecia el esquema de la instalación.

EXPERIENCIAS REALIZADAS

En todos los ensayos se empleó, como alimentación del circuito caliente, una solución de ClNa al 3% en peso (30 gr de sal por litro de agua destilada). Se fijó el caudal de la salmuera caliente en 1,5 lt/min y el del agua pura del circuito frío en 2,2 lt/min. Estas condiciones de operación fueron seleccionadas de acuerdo a estudios previos [1] de manera de hacer la producción independiente de dichos flujos. Se efectuaron, en total, siete ensayos hasta la fecha, cuatro en estado estacionario y tres en estado cuasi estacionario siguiendo un perfil escalonado parabólico de calentamiento de la salmuera, como simulación de la temperatura de salida de un colector solar.

* Investigador de CONICET

** Proyecto Nº 649 del Consejo de investigación de la Universidad Nacional de Salta: **Destilación de agua a presión atmosférica con membranas.**



Referencias:

- | | |
|--|---|
| 1) Cuba termostatzadora de la salmuera | 5) Bomba del circuito frío con by-pass |
| 2) Caudalímetro del circuito caliente | 6) Recipiente de vidrio con rebalse |
| 3) Unidad de membranas | 7) Probeta para colección del agua permeada |
| 4) Caudalímetro del circuito frío | v) Válvulas reguladoras de caudal |

Figura 1: Esquema de instalación del equipo de destilación ensayado

ENSAYOS EN ESTADO ESTACIONARIO

Para caracterizar la unidad y obtener el coeficiente C que es la constante de transferencia de masa que relaciona el flujo permeado con la diferencia de presiones de vapor a través de la membrana, se realizaron cuatro experiencias en estado estacionario fijando la temperatura de la salmuera, T_c , mediante la cuba termostatzadora y permitiendo fluctuar la temperatura del circuito frío, T_f , de acuerdo al flujo de energía ganado a través de la membrana. De esta forma el salto térmico a través de ella varió a lo largo de cada experiencia y, por consiguiente, lo hizo también el flujo de destilado. En la figura 2 se comparan estas producciones frente a dicho salto térmico ($T_c - T_f$). Los símbolos rellenos corresponden a nuestra unidad y los vacíos a la de Lacoursière. Iguales símbolos (vacíos y rellenos) corresponden a igual temperatura de flujo caliente. El área a la cual se han referido los cálculos se obtuvo en función del diámetro medio entre el interior y el exterior de las membranas, considerando tres de ellas por unidad. Su valor es de $0,0482 \text{ m}^2$.

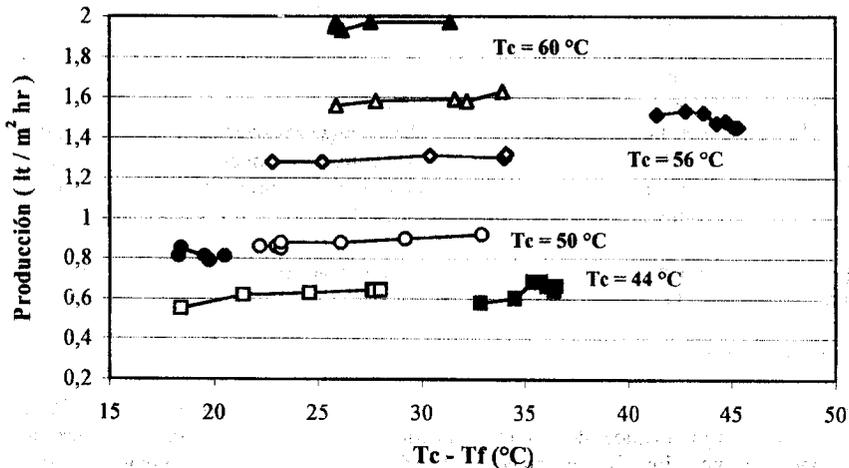


Figura 2: Comparación de flujos de destilado para distintas temperaturas de alimentación

En todas las curvas se observa que la cantidad de destilado depende más del valor de T_c que del salto térmico a través de la membrana. Esto se debe al aumento de la presión de saturación del agua al aumentar la temperatura. Se obtuvo una constante específica de membrana $C = J / \Delta P$ promedio de $(3,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}$, mientras que por cuadrados mínimos el valor de C es de $4,2 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}$, con una ordenada al origen de $-5,85 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}$ y un r^2 de 0,98. J es la producción en $\text{kg} / \text{m}^2 \text{ s}$ y ΔP la diferencia de presiones de vapor a través de la membrana, en Pa. En la tabla 1 se comparan las producciones medias en $\text{lt/m}^2 \cdot \text{hr}$ para cada valor de T_c . En la última fila se presentan los cocientes entre los valores medidos por nosotros y los medidos por Lacoursière. Salvo para $T_c=50 \text{ }^\circ\text{C}$, nuestra unidad produjo, en promedio, 4, 15 y 23 % más que la de Lacoursière, según la temperatura del flujo caliente.

Tc (°C)	44	50	56	60
Lacoursière	0,621	0,879	1,3	1,588
Nosotros	0,646	0,813	1,491	1,958
Cociente (N/L)	1,04	0,92	1,15	1,23

Tabla 1: Comparación de flujos medios de destilados entre nuestros valores y los de Lacoursière

ENSAYOS EN ESTADO TERMICO CUASI ESTACIONARIO

En estos 3 ensayos se modificó la temperatura del termostato a intervalos de 1 hora, de ahí la designación de cuasi estacionario. En la figura 3 se muestran los perfiles de calentamiento, en función del tiempo, aplicados a la salmuera. En la figura 4 se presentan las evoluciones temporales de las producciones de destilado por hora. En el primer ensayo la producción total fue de 485 ml, en el segundo de 467 ml (duró una hora más) y en el tercero de 452 ml.

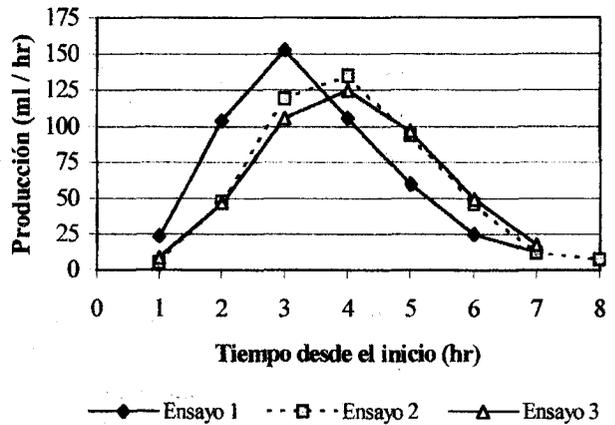
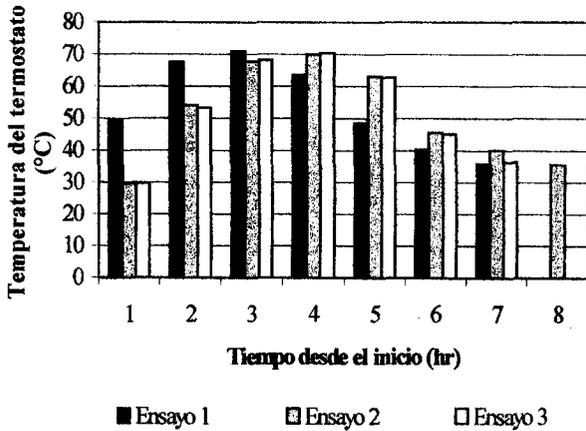


Figura 3: Evolución de la temperatura del termostato

Figura 4: Evolución de las producciones horarias

A fin de comparar estos resultados con los obtenidos en las experiencias estacionarias, se procedió a promediar conjuntamente los valores de producción de los tres ensayos cuasi estacionarios para distintas temperaturas del circuito caliente (al igual que en la tabla 1). En la figura 5 se representan simultáneamente los valores promediados dinámicos, estacionarios nuestros y estacionarios de Lacoursière.

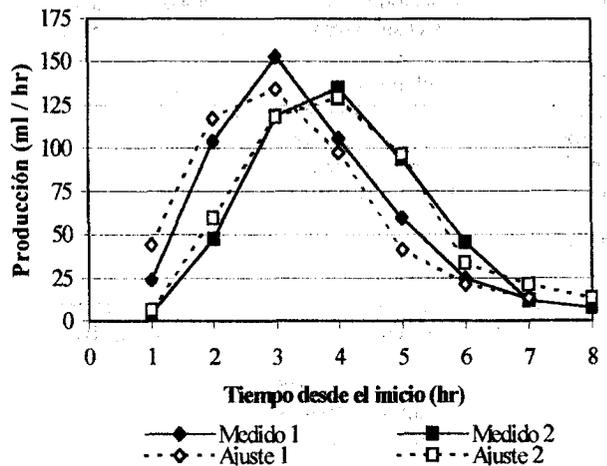
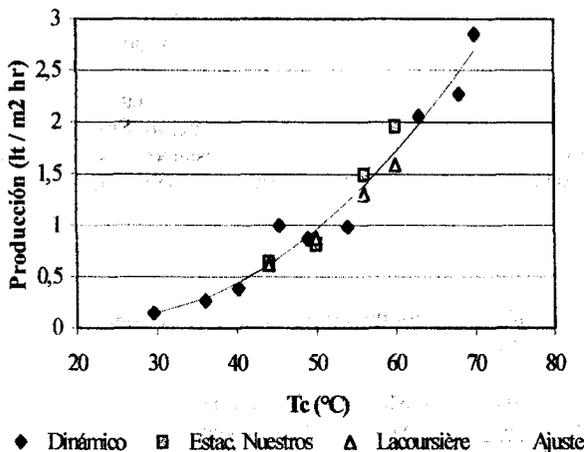


Figura 5: Comparación de valores de producción media estacionarios y cuasi estacionarios

Figura 6: Comparación de producciones medida y simuladas para los ensayos 1 y 2

Según se aprecia en la figura 5, los valores conforman una nube de puntos estrecha alrededor de alguna curva de crecimiento exponencial, como era de esperar. Se observa también que los valores correspondientes a Lacoursière se encuentran sobre el borde inferior de la nube pudiendo indicar, en general, una menor producción que nuestra unidad sobre todo a altas temperaturas, comportamiento manifestado ya en la tabla 1.

La curva continua corresponde a un ajuste polinómico de orden 2 dado por la ecuación:

$$\text{Prod. (lt / m}^2 \text{ h)} = 0,00115 \text{ Tc}^2 - 0,0512 \text{ Tc} + 0,6391,$$

con un valor de $r^2 = 0.9625$ para la unidad ensayada. En la figura 6 se presentan las simulaciones de las producciones de los ensayos 1 y 2 empleando esta ecuación. Puede observarse que, mientras el ajuste del ensayo 1 es regular, el del 2 es muy bueno. Las producciones totales simuladas son de 472, 478 y 457 ml, lo que se traduce en errores porcentuales de 3, 2 y 1 % para los ensayos 1, 2 y 3 respectivamente.

A fin de estudiar el comportamiento de la unidad ante un régimen realmente dinámico, se simuló la evolución de Tc mediante el perfil polinómico de orden 5 representado en la figura 7 (equivalente al del ensayo 2). El paso temporal se fijó en 1 min. Aplicando este perfil de calentamiento a la ecuación de ajuste de producción, se obtuvo la curva de producción en ml / hr que figura en la misma gráfica. La producción total fue entonces de 456 ml en ocho horas de funcionamiento simulado, valor que se encuentra dentro del orden de los medidos en los ensayos.

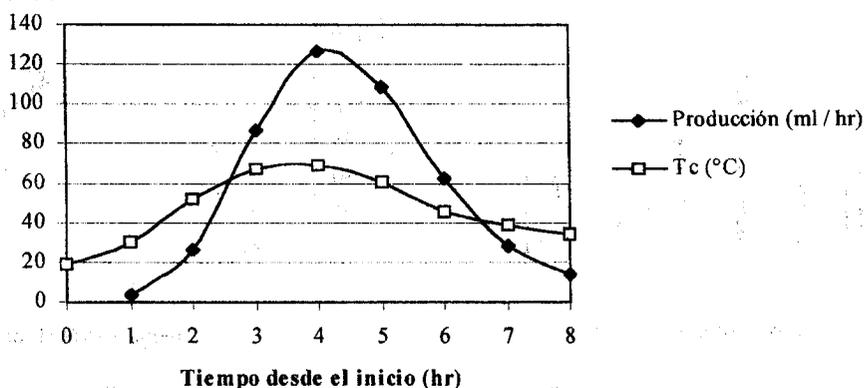


Figura 7: Simulación de producción en régimen no estacionario

CONCLUSIONES

En el caso de los ensayos cuasi estacionarios, las producciones son del orden de 0,5 lt en ocho horas de funcionamiento continuo. Esto significa una producción de aproximadamente 10 lt / día por metro cuadrado de membrana. La curva de ajuste obtenida a partir de los valores medios en ΔT de las producciones de destilado puede servir como primera aproximación para predecir las producciones totales de la unidad ensayada. Sin embargo, no debe perderse de vista el hecho de que la fuerza de la vaporización es el salto térmico a través de la membrana (no presente explícitamente en la correlación) y no sólo la Tc.

En el futuro está planeado reemplazar la cuba termostatzadora de la salmuera por un colector solar con lo cual se podrán efectuar ensayos realmente dinámicos que reemplacen a los cuasi estacionarios realizados hasta el momento. Sin embargo, estos ensayos sirvieron para obtener el orden de la producción que se puede esperar para una instalación solar. Esas mediciones permitirán dimensionar el sistema total, a efectos de compararlo. También será necesario un análisis, a través de la ecuación de difusión, del régimen transitorio.

REFERENCIAS

- [1] Lacoursière S. (1994), "Water Purification by Membrane Distillation", Thesis for the Degree of Master of Engineering, Department of Chemical Engineering, McGill University, Montreal, Canadá.
- [2] Hernández A. y Lesino G. (1996), "Ensayo de una Unidad de Destilación por Membrana Hidrófoba Acoplada a un Colector Solar. Resultados Preliminares". En Actas de la XIX Reunión de trabajo de ASADES, Tomo II, Sección 7, pag. 29 - 32, Mar del Plata, Argentina.