

ENSAYO DE UNA UNIDAD DE DESTILACION POR MEMBRANA HIDROFOBA ACOPLADA A UN COLECTOR SOLAR. RESULTADOS PRELIMINARES.

Alejandro Hernández y Graciela Lesino ¹

INENCO, Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional
Universidad Nacional de Salta - CONICET
Calle Buenos Aires N° 177. (4400) Salta.
TE/FAX (087)-255489

RESUMEN

En este trabajo se presentan resultados preliminares de la evaluación de un sistema de destilación de agua mediante membranas microporosas hidrófobas empleando como fuente térmica un colector plano calentador de agua. El estudio fue realizado en el Brace Research Institute de Montreal, Canadá, en el marco de un proyecto de cooperación multinacional. Sobre un período de 10 horas, la producción del sistema resultó del orden de 28 l/m² para agua sin sal en el circuito caliente, sin intercambiador de calor en el circuito frío y cielo despejado con 25 MJ/(m² día) de radiación solar.

INTRODUCCION

La destilación de agua mediante el uso de membranas microporosas hidrófobas es una técnica relativamente reciente y se presenta como otra opción a los conocidos métodos de ósmosis inversa, electrodiálisis y térmico (flash, batea, etc.). Una de sus potenciales ventajas es que funcionan a presión atmosférica (sin necesidad de grandes diferencias de presión a través de la membrana) ya que el agua no penetra dentro de los poros sino que difunde a través de ellos en forma de vapor debido a la diferencia de presiones de vapor a ambos lados de la membrana. Esta diferencia de presiones se logra mediante el contacto de una de sus caras con una corriente de agua caliente y el de la otra, con una corriente fría.

La cantidad de destilado producido aumenta al aumentar la temperatura del agua caliente y el salto térmico a través de la membrana, los flujos de ambas corrientes y el área de transferencia, mientras que disminuye al aumentar la concentración del soluto presente en el fluido caliente. Kimura[1] et al determinaron que el flujo de destilado depende más fuertemente de la porosidad que del tamaño del poro y que disminuye hiperbólicamente con la longitud efectiva de difusión.

En un trabajo anterior, G. Lesino[2] presentó los fundamentos teóricos del transporte de masa y energía a través de membranas hidrófobas y en otro [3], la simulación numérica de dicho transporte para un sistema constituido por una unidad de fibras huecas hidrófobas, calculando posibles producciones y costo del metro cúbico del agua en función del salto térmico a ambos lados de la membrana, de las concentraciones de sales, de los flujos y del costo de producción de la energía térmica. Los resultados de la simulación fueron comparados con los datos obtenidos experimentalmente por otros autores resultando aceptables en todos los casos analizados.

DESCRIPCION DEL SISTEMA COMPLETO

La unidad consta de 3 membranas de polipropileno del tipo "fibra hueca", encerradas dentro de una cubierta tubular de 2,4 cm de diámetro interior. Las especificaciones de las membranas, según el fabricante, son las que figuran en la tabla 1.

El equipo completo consta de la unidad de membrana, una bomba de 185 W para impulsar el agua caliente (que fluye por el interior de las 3 fibras), otra de 60 W, para el agua de enfriamiento (que fluye en contracorriente entre la cubierta exterior y el exterior de las fibras), dos medidores de caudal tipo rotámetro, dos reguladores de caudal y mangueras plásticas transparentes, sin aislación térmica, para las conexiones.

El circuito caliente tiene un reservorio donde puede agregarse la sal para preparar la salmuera. El circuito frío dispone también de un recipiente, sumergido en este caso, en un baño termostático. El líquido destilado se recoge, por rebalse de este recipiente, en una probeta.

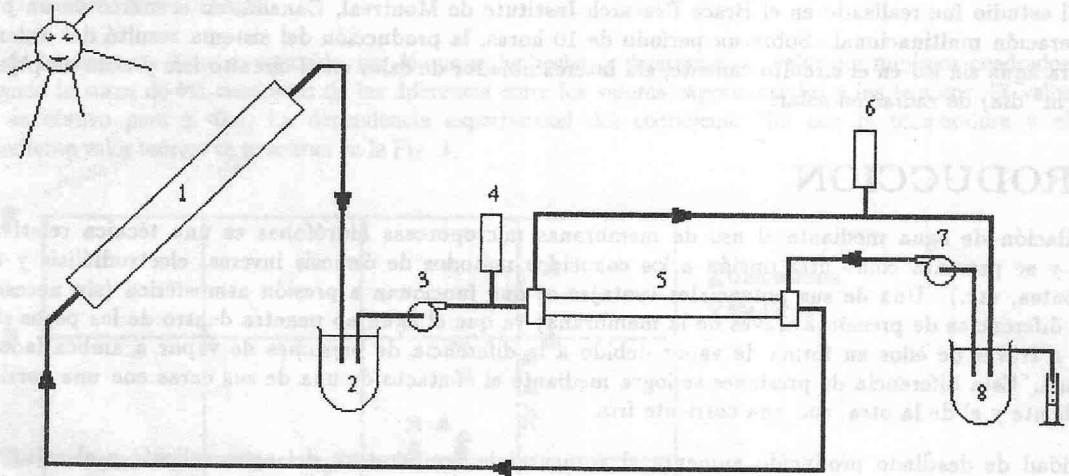
Mediante cuatro termocuplas se sensó la temperatura a la entrada y salida de la unidad de membrana en ambos circuitos (dos para el caliente y dos para el frío). Como fuente térmica se utilizó un colector solar plano (calentador de agua) de doble cubierta y 1,7 m² de área colectora acoplado al circuito caliente. El esquema de instalación se aprecia en la figura 1.

¹Investigador de CONICET

El colector está sobredimensionado respecto del área de membrana por tratarse de una experiencia anterior.

| | |
|------------------------|---|
| Diámetro interior | 5,5 mm |
| Diámetro exterior | 8,5 mm |
| Espesor | 1,5 mm |
| Longitud | 0,73 m |
| Tamaño medio de poro | 0,2 μm |
| Area total | $3,6 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ |
| Cóncstante de membrana | $3,1 \times 10^8 \text{ Kg/m}^2 \text{ s Pa}$ |
| Volumen interior | 60 ml |
| Volumen en la cubierta | 65 ml |

Tabla 1: Especificaciones de la unidad de membranas ensayada



REFERENCIAS:

- 1) Colector Solar
- 2) Recipiente para agregado de sal
- 3) Bomba de 185 Watts, circuito caliente
- 4) Medidor de caudal de circuito caliente
- 5) Unidad de membranas
- 6) Medidor de caudal de circuito frío
- 7) Bomba de 60 Watts, circuito frío
- 8) Recipiente para termostatación del circuito frío
- 9) Probeta para colección del agua permeada

Figura 1: Esquema de instalación del sistema de destilación.

EXPERIENCIAS REALIZADAS

Se efectuaron tres experiencias con agua pura en ambos circuitos y una con salmuera en el circuito caliente y cuyas condiciones de operación y resultados figuran en la tabla 2.

EXPERIENCIA 1: El rendimiento en este caso fue muy bajo debido a que el cielo estuvo cubierto por una espesa capa de nubes, no sobrepasando la temperatura del agua del colector los 33 °C. El agua del circuito enfriador no fue termostatizada. La caída de temperatura a lo largo de las membranas fue de 0,4 °C en el circuito caliente y de 0,1 °C en el frío. El flujo del agua destilada resultó entonces 0,203 l/(m² h) para una temperatura media del agua caliente de 32,3 °C y un salto térmico medio (caliente - fría) a través de las membranas de 4,5 °C.

EXPERIENCIA 2: Fue realizada con cielo despejado. El agua del circuito frío no fue termostatizada. El aumento en ambos flujos de agua (ver tabla 2) se debe a que, de acuerdo a los resultados de Lacoursiere[4], la producción de agua destilada por metro cuadrado y hora aumenta rápidamente con los flujos circulantes hasta que alcanzan un valor de 1.5 l/min aproximadamente y, a partir de entonces, el aumento no resulta considerable. En la figura 2 se aprecia la evolución temporal del salto térmico medio a través de las membranas y la producción horaria, en ml, de agua destilada.

EXPERIENCIA 3: Fue realizada en óptimas condiciones climáticas. Si bien la unidad entró en funcionamiento a las 8:30 horas, las mediciones se iniciaron recién a las 10:45, habiendo producido en este lapso 78 ml de agua

destilada. El agua del circuito frío no fue termostatazada. En la figura 3 se aprecia la evolución temporal del salto térmico medio a través de las membranas y la producción horaria, en ml, de agua destilada. La producción de destilado concuerda más con la evolución de la temperatura del agua caliente que con la del salto térmico a través de las membranas.

EXPERIENCIA 4: Fue realizada con buenas condiciones climáticas. Se incorporó cloruro de sodio al agua del circuito caliente en una proporción del 3 % en peso. El agua del circuito frío fue termostatazada a 20 °C. En la figura 4 se aprecia la evolución temporal del salto térmico medio a través de las membranas y la producción cada media hora, en ml, de agua destilada.

En todos los casos se chequeó la conductividad eléctrica del agua de los circuitos frío y caliente a fin de garantizar la no existencia de fugas que pusieran en contacto ambas corrientes enmascarándose la producción de destilado.

| EXPER. N° | FLUJO CALIENTE (l/min) | FLUJO FRIO (l/min) | PRESENCIA DE SAL | DURACION (horas) | PRODUCCION (ml) | CONDIC. DE CIELO |
|-----------|------------------------|--------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | 0,75 | 1,3 | No | 3 | 22 | Nublado |
| 2 | 1,5 | 1,5 | No | 3 | 175,5 | Claro |
| 3 | 1,5 | 1,5 | No | 10 | 1010 | Claro |
| 4 | 1 | 1 | 3 % en peso | 3 | 467 | Claro |

Tabla 2: Condiciones de operación y producción de la unidad en cada experiencia.

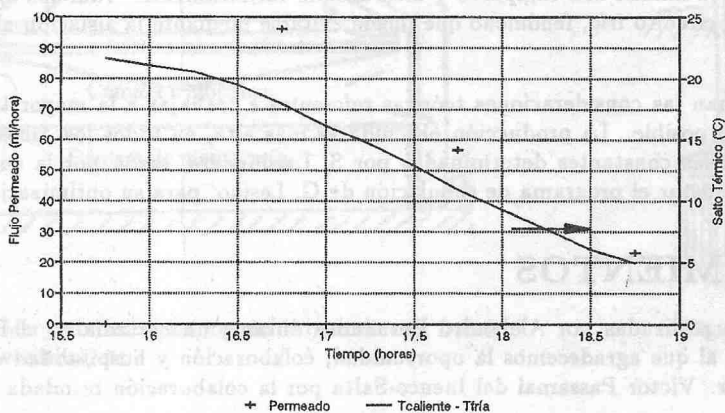


Figura 2: Evolución temporal del salto térmico y producción horaria. Experiencia 2.

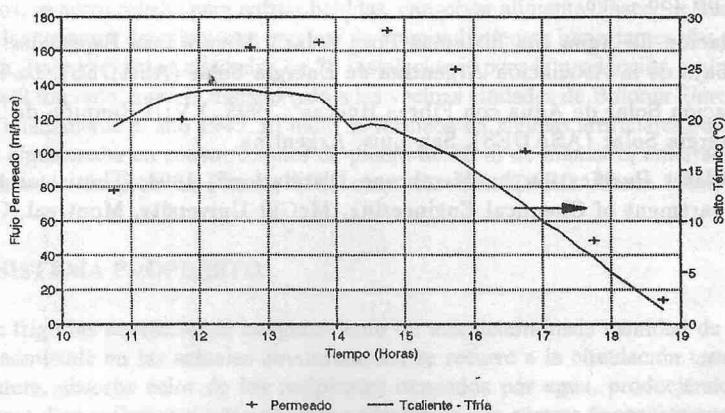


Figura 3: Evolución temporal del salto térmico y producción horaria. Experiencia 3.

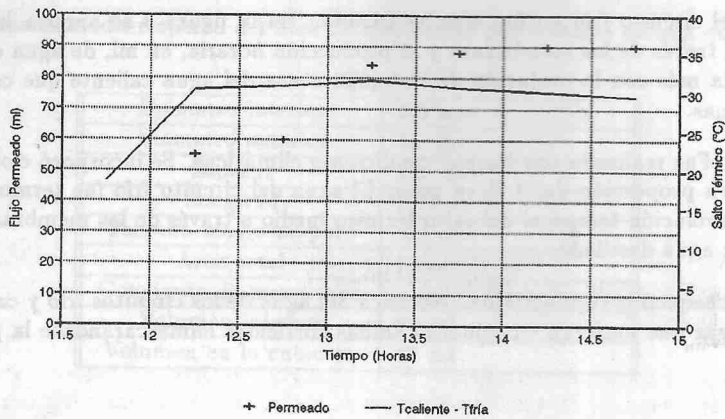


Figura 4: Evolución temporal del salto térmico y producción cada 30 minutos. Exper. 4.

CONCLUSIONES

De los resultados de la experiencia 3 puede deducirse una producción de alrededor de 28 l/m^2 de membrana sobre un período de 10 horas de funcionamiento con nivel de radiación de $25 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ día})$. La termostatación del agua del circuito frío en la experiencia 4 mejoró considerablemente la producción ya que, en un tercio del tiempo correspondiente a la experiencia anterior, produjo casi la mitad de lo producido en ella, mostrando la necesidad de mantener un salto térmico suficientemente alto a través de las membranas. La diferencia de temperaturas entre el agua del reservorio caliente y la de entrada a la membrana fue en $10 \text{ }^\circ\text{C}$ confirmando la necesidad de que el diseño definitivo de la unidad sea compacto y bien aislado térmicamente. También se detectó la presencia de algas en la tubería del circuito frío, fenómeno que puede evitarse mediante la aislación al eliminar el acceso de la luz.

Los resultados confirman las consideraciones teóricas referentes a trabajar a la mayor temperatura posible, con el mayor salto térmico posible. La producción obtenida es más alta, en todos los casos, que la predicha por la simulación a partir de las constantes determinadas por S. Lacoursiere, razón por la cual se continuará con las experiencias a fin de ajustar el programa de simulación de G. Lesino, para su optimización.

AGRADECIMIENTOS

Las mediciones fueron realizadas por Alejandro Hernández durante una estadía en el Brace Research Institute de Montreal, Canadá, al que agradecemos la oportunidad, colaboración y hospitalidad ofrecidas. A. Hernández agradece además al Dr. Victor Passamai del Inenco-Salta por la colaboración brindada durante el desarrollo de la pasantía.

REFERENCIAS

- [1] S. Kimura and S. Nakao, "Transport Phenomena In Membrane Distillation", 1987, Journal of Membrane Science, Vol 33, pp 285 - 298.
- [2] G. Lesino, "Destilación de Agua con Sistemas Poza Solar - Membranas Especiales: Propuesta", 1993, XVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES), La Plata, Argentina.
- [3] G. Lesino, "Destilación Solar de Agua con Fibras Huecas", 1995, XVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES), San Luis, Argentina.
- [4] S. Lacoursiere, "Water Purification by Membrane Distillation", 1994, Thesis for the Degree of Master of Engineering, Department of Chemical Engineering, McGill University, Montreal, Canadá.