

DESTILACION DE AGUA CON MEMBRANAS MICROPOROSAS

L. A. Odicino¹, G. Lesino²

(1) Laboratorio de Energía Solar, U.N.S.L. Chacabuco y Pedernera, 5700 San Luis

(2) INENCO, U.N.Sa. Buenos Aires 117, 4400 Salta

E-Mail odicino@unsl.edu.ar

RESUMEN

La existencia de transporte de agua a través de membranas microporosas impulsadas por diferencias de temperatura es conocida desde aproximadamente 30 años. En estos procesos, la membrana es considerada un medio de separación entre dos fases y algunos autores llaman a esto destilación por membranas. La causa que produce el transporte de masa es una fuerza termodinámica originada en la diferencia de presión de vapor a cada lado de la membrana sostenida por una diferencia de temperatura. Se diseñó y construyó una celda de destilación apta para soportar las membranas construidas en la UNSL. Esta celda consta de dos hemiceldas simétricas, cada una está compuesta de ocho ductos de sección rectangular de 0,006 x 0,003 mts y 0,085 mts de longitud. La membrana se ubica al medio como una barrera selectiva. En este estudio se analizan los parámetros relevantes de funcionamiento de la membrana como así también su comportamiento ante selectivas cantidades de contaminantes, todos ellos en condiciones controladas de laboratorio.

INTRODUCCION

La destilación por membranas microporosas es un proceso que fue desarrollado para la producción de agua de alta pureza y además para eliminar agua de soluciones que afectan su concentración. El proceso se realiza con membranas hidrófobas las cuales son considerada un medio de separación entre dos fases que puede ser líquido - líquido o bien líquido - gas.

Diferenciar los tipos de proceso por el cual se lleva a cabo el transporte de masa a través de la membrana es un tema de suma importancia, para nuestro caso particular las diferentes tensiones de vapor que se producen a ambos lados de la membrana nos permite diferenciar dos casos: el de PERVAPORACION en el cual se induce un cambio de fase en el permeado por el vacío que se produce del otro lado de la membrana sin aumentar la presión de alimentación y el otro caso es la DESTILACION POR MEMBRANA, en el cual dentro del poro de la membrana se mantiene una fase de vapor con líquido en ambos lados, adyacente a la misma, si se ha optado por esta posibilidad. En el lado de la alimentación, el líquido se evapora y vuelve a condensarse del lado del permeado y la fuerza que moviliza el paso de la sustancia a través de la membrana es la diferencia de temperatura. Existe también la posibilidad de mantener una fase gaseosa únicamente y permitir el arrastre del destilado por un corriente de gas. Esta última posibilidad es la que exploramos con detalle en este trabajo donde el gas es aire en condiciones normales pues consideramos también la economía del sistema y la disponibilidad de los elementos. Usamos como fluido de alimentación agua para el primer grupo de experiencias y agua destilada con contaminación controlada para el segundo

MEMBRANA Y EQUIPO EXPERIMENTAL

Las membranas fueron preparadas en los laboratorios de la Facultad Química, Bioquímica y Farmacia de la UNSL por el proceso de inversión de fase [5], utilizando soluciones de polisulfonas en dimetilformanida y como baño de coagulación agua bidestilada. Las membranas asimétricas preparadas poseen las siguientes características estructurales: tamaño de poro medio $r = 20 - 30 \text{ \AA}$, porosidad media $\epsilon = 3,5 \%$ y corte de peso molecular $PM = 10000$.

La celda de experimentación, figura -1-, consiste en dos piezas de acrílico de 12 cm de lado y 2,5 cm de espesor cada una de ellas. Cada hemicelda consiste de 8 conductos de sección rectangular de 0,006 x 0,003 m y longitud de 0,085 m. Los conductos están interconectados en sus extremos por canales rectangulares de sección 0,006 x 0,08 m, lo suficientemente grande como para que el flujo de agua alimentado este uniformemente desarrollado en cada uno de los conductos de la hemicelda.

El área geométrica de la membrana disponible para el paso del destilado es de $A = 5,16 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. En la entrada y salida de cada hemicelda se colocaron termocuplas para la determinación de los valores de temperatura.

El flujo de alimentación se hace por medio de un tanque elevado para simular las condiciones de campo, mientras que la temperatura del agua es controlada mediante un baño termostático.

El agua vaporizada, que pasa a través de la membrana, en el lado del destilado, es arrastrada por una corriente de aire y luego condensada en un condensador. De esta manera se determina el flujo de agua destilada a través de los poros como el volumen condensado por unidad de tiempo.

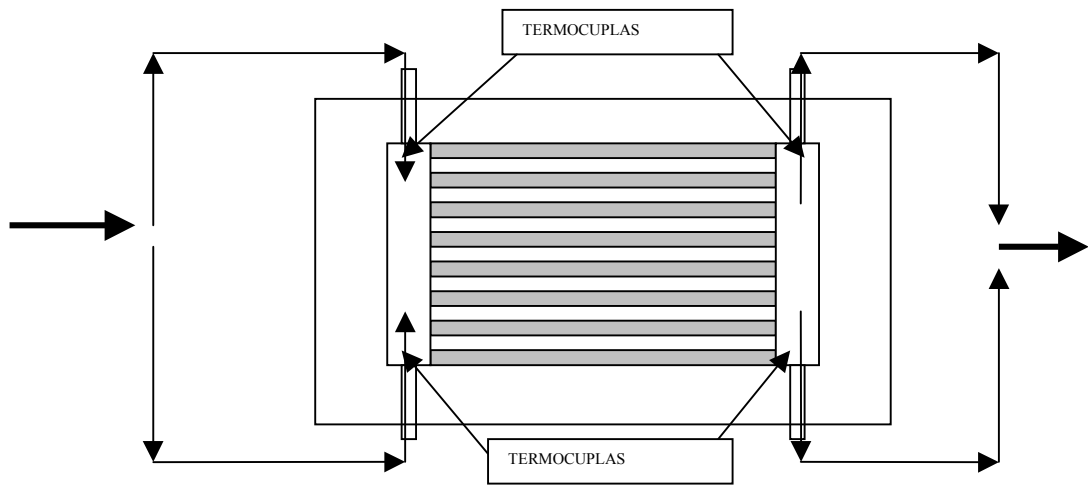


FIGURA -N° 1--Esquema de hemicelda de destilación. La celda se conforma con dos simétricas, con la membrana al medio Se indican los puntos de medición de temperaturas, y las direcciones de flujo

También se hace pasar en las mismas condiciones de temperatura, sin pasar por la celda un flujo de aire similar hacia otro condensador para corregir los valores de humedad ambiente, convenientemente ubicados se instalaron medidores de caudal. En la Figura -2- se muestra un esquema del arreglo experimental.

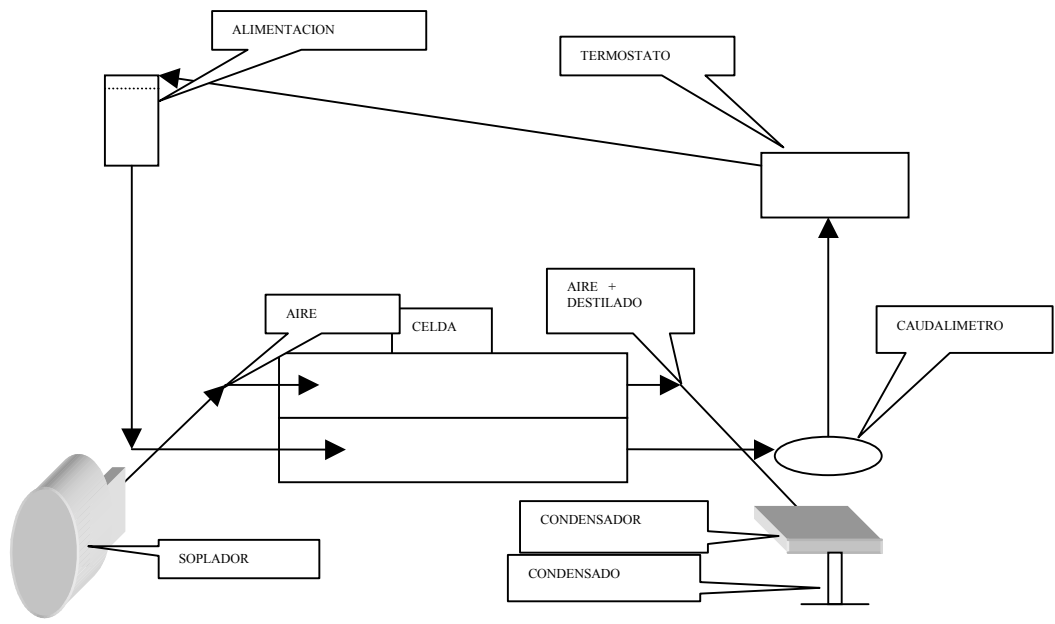


FIGURA N° -2-Esquema del arreglo experimental

MARCO TEORICO

La masa de aire que circula, ingresa con una humedad absoluta dada por las condiciones ambientales y sale con una carga extra, producto del arrastre. Esta humedad que se recupera en el condensador

$$H_S - H_E = C\Delta P \dots \dots \dots (Eq.1)$$

con H_S Humedad absoluta de salida, H_E Humedad absoluta de entrada, C una constante de proporcionalidad y ΔP la diferencia de presión a ambos lados de la membrana.

Esta ecuación se puede poner:

$$H_S - H_E = C \frac{dP}{dT} \Big|_{T_m} (T_1 - T_0) \dots \dots \dots (Eq.2)$$

donde T_1 es la temperatura del lado de la alimentación en $^{\circ}C$, T_0 es la temperatura del lado del permeado y T_m la temperatura media. Por medio de la ecuación de Clausius - Clayperon podemos poner:

$$\frac{dP}{dT} \Big|_{T_m} = \frac{\lambda P M}{R T^2} \Big|_{T_m} \dots \dots \dots (Eq.3)$$

donde λ es el calor de vaporización de la especie permeada, M el peso molecular de la especie permeada y R la constante universal de los gases.

Esta ecuación tiene una aproximación aceptable para diluciones de baja concentración y también bajas diferencias de temperaturas.

Las pérdidas de calor se evalúan a través de la diferencia de temperatura entre la alimentación que entra y la que sale, restándole lo usado para evaporar la masa del permeado.

$$\frac{dm}{dt} C(T_S - T_E) = (H_S - H_E) + Q_{perdido} \dots \dots \dots (Eq.4)$$

Donde dm/dt es el caudal de alimentación, c el calor específico de la alimentación y $Q_{pérdido}$ es la pérdida de calor total incluyendo la transferencia a través de la membrana. De las ecuaciones anteriores deducimos que se puede poner:

$$H_S - H_E = K\Delta T \dots \dots \dots (Eq.5)$$

Donde K es una constante que depende de la presión, concentración, peso molecular de la especie permeada.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Las experiencias se llevan a cabo estableciendo una diferencia de temperatura determinada y para cada una de estas, variar el caudal. Se realizan entre 7 a 10 mediciones de caudal de permeado para cada una de las combinaciones propuestas.

Se propusieron cuatro diferentes diferencias de temperaturas y para cada una de ellas cuatro regímenes de caudal de alimentación.

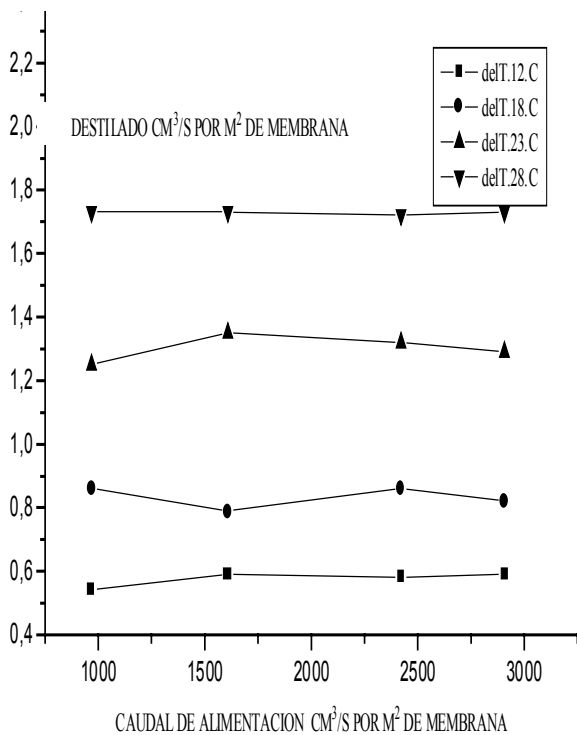
Se estima que estas combinaciones cubren el régimen de trabajo de un colector de bajo costo como los desarrollados en nuestro laboratorio. Los datos de caudal de alimentación y caudal de permeado se normalizan a unidad de área de membrana.

Se indican los resultados experimentales en las gráficas -1- y -2-.

Para las condiciones con contaminantes se decide usar flúor, pues este es uno de los principales contaminantes que se encuentra en aguas de la provincia de San Luis. Valores normales de concentración se ubican alrededor de los 6 -7 ppm, llegando hasta valores de 8 ppm. La Organización Mundial de la Salud acepta como valores aptos para consumo humano 1,4 a 2,4 ppm. Se eligieron tres valores de contaminantes 5 , 7 y 9 ppm y se realizaron experiencias similares a las indicadas. Los resultados para una experiencia con un $\Delta T= 12^{\circ}C$ y una contaminación de 9 ppm se indica en la tabla 1. Se muestra además el balance energético de la experiencia

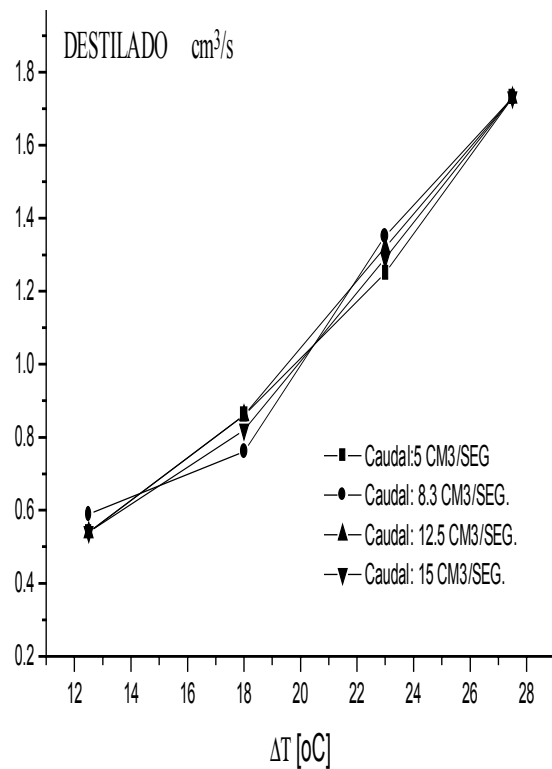
EXP	ALIMENTACION			AIRE		PERM.	Q _v	Q	Q _T
	GASTO Cm ³ /s	T _{in} °C	T _{out} °C	T _{input} °C	T _{output} °C				
1	5	35.1	34.6	18.0	27.0	3.6	8.2	2	10.5
2	8.3	35.1	34.8	19.0	26.0	4.5	10.21	0.25	10.46
3	12.5	35.1	34.9	18.9	26.0	4.4	10.10	0.40	10.5
4	16.7	35.1	34.9	18.6	26.0	3.9	8.86	1.65	10.5

Tabla N° 1 Valores Experimentales correspondientes a un determinado valor de $\Delta T = 12^\circ\text{C}$, para cuatro caudales diferentes. Se indican además los valores de pérdidas de calor por el sistema.



GRAFICA -N° 1-

Gráfica N°1 Se muestra la independencia existente entre el caudal de alimentación y el de permeado. Ambos ejes están normalizados a m^2 de membrana. Gráfica 2. Variación del caudal de permeado según la diferencia de temperatura entre ambas caras de la membrana. Normalizado por unidad de área de membrana



GRAFICA N° -2-

CONCLUSIONES

Los valores de permeado son independientes de los caudales de alimentación, en el rango de caudales, presiones y diferencias de temperaturas de la experiencia

El diseño de la celda debe ser cambiado para permitir un uso eficiente del área de membrana pues los valores de presión de flujo que se manejan hacen esto posible al estar dentro de los límites de tolerancia del polímero

Se debe considerar en próximas experiencias la polarización por concentración y por temperatura que evidentemente disminuirá el rendimiento del sistema.

Los valores de permeados conseguidos por unidad de área indican que es necesario un diseño donde la recuperación de calor sea importante. Para una localidad como la nuestra ($33,2^\circ$ latitud sur) y altitud de 750 m sobre el nivel del mar esperamos una radiación de 800 watt/m^2 promedio anual y con rendimientos de colector [4] del orden de 60% y rendimientos de la membrana del orden del 70% se esperan producciones que oscilan alrededor de 250 cm^3 por metro cuadrado y día y metro cuadrado de colector.

Los bajos valores de pérdidas de calor por conducción y convección respecto al transferido por vaporización son debido a el arrastre por aire que se hace del permeado. Este ofrece como ventaja esta baja pérdida, pero obliga a una etapa de condensación.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Molders C. A. and Franken, A. C. M. Terminology for Membrane Distillation, Desalination, 72(1989) 249 - 262
- [2] Kevin W. Lawson, Douglas R. Lloyd, Membrane Distillation II Direct Contact MD. Journal of Membrane Science 120(1996) 123 - 133
- [3] C. Gostoli and G. C. Sarti, S. Matulli. , Low Temperature Distillation Through Hydrophobic Membranes. Separation Science and Technology 22(2&3), 855 - 872, 1987
- [4] R. W. Schofield, A. G. Fane and C. J. D. Fell, Heat and Mass Transfer in Membrane Distillation. Journal of Membrane Science, 33(1987) 299 - 313

- [5] Membranas, Procesos con Membranas. José Marchese Editorial Universitaria San Luis.- Serie manuales de Estudio 1995
- [6] Odicino L. A., Ochoa N. A. and Lesino G. Water Distillation With Microporus Membranes Driven With Solar Radiation.-Proceeding Eurosun 1998