

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE TRANSMISION TERMICA DE UN DESTILADOR ATMOSFERICO EN CONTRACORRIENTE

Sonia Esteban² y Luis R. Saravia¹
INENCO³
Universidad Nacional de Salta
4400, Salta, Argentina
Tel. 87-255423, Fax 87-255389
E-mail saravia@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

En dos trabajos anteriores (1,2) se ha introducido el concepto de destilador solar en contracorriente, se ha desarrollado su teoría y se han presentado datos preliminares de funcionamiento de un prototipo. El desarrollo teórico muestra que el parámetro más importante del sistema es el coeficiente de transmisión térmica entre las placas que forman el intercambiador. En el presente trabajo se mide dicho coeficiente en función de la temperatura utilizando un prototipo con 1.2 m² de área de intercambio. En el mismo se han llevado a cabo algunas modificaciones respecto al equipo presentado en los trabajos anteriores, teniendo en cuenta los problemas observados en las medidas realizadas con el mismo. La dependencia de los valores medidos del coeficiente con la temperatura ha sido ajustada utilizando una función similar a la usada en el caso de un intercambiador con placas planas paralelas.

INTRODUCCION

El destilador solar en contracorriente, detallado en otros trabajos (1,2), consta de un intercambiador formado por dos ramas en las que circula el agua en contracorriente, así como un calentador y un disipador que permiten mantener una diferencia de temperatura ΔT_{cf} entre las ramas. En una de las ramas se produce la evaporación de agua y en la otra se condensa el agua destilada a producir. El intercambio de calor entre las ramas se produce por convección natural entre una placa plana y otra vertical y está caracterizado por un coeficiente de transmisión térmico h_m tal que el flujo total de calor entre las placas es

$$q = h_m A \cdot \Delta T_{cf} \quad (1)$$

donde A es el área de intercambio del sistema. El coeficiente h_m dependerá de la temperatura en las placas.

La relación entre el flujo de calor entre las placas q_{int} y el flujo de calor entregado en el calentador q_c es

$$\frac{q_{int}}{q_c} = \frac{h_m \cdot A}{c_{pa} \cdot m} \quad (2)$$

donde c_{pa} es el calor específico del aire y m el flujo de agua que circula por las placas del intercambiador. Esta relación marca la bondad del destilador en lo que tiene que ver con el aprovechamiento del calor entregado al sistema en el calentador, ya que el flujo de calor q_{int} está directamente relacionado con la producción de agua destilada. Como se aprecia, la determinación del coeficiente h_m resulta de especial importancia para poder evaluar el comportamiento del equipo.

En las secciones que siguen se describirá el dispositivo experimental, se detallarán los resultados obtenidos y se discutirá la expresión obtenida para el coeficiente h_m como función de la temperatura media entre placas.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL²

La fig. 1 muestra un corte esquemático del dispositivo empleado para medir el coeficiente h_m . La placa horizontal es la más caliente y está sumergida en la solución a para producir la evaporación del agua. La placa vertical está a menor temperatura y produce la condensación del vapor de agua. La canaleta recoge el agua condensada. Las experiencias realizadas con anterioridad han mostrado que las pérdidas térmicas por la envolvente del equipo son de consideración con respecto al calor intercambiado entre las placas, debido a que la superficie de la envolvente es mayor que la de las placas y a que el salto de temperatura entre equipo y temperatura ambiente también es mayor que la diferencia entre placas. Para solucionar este problema se ha colocado el equipo en un local con la temperatura controlada, la que se colocaba a un valor igual a la temperatura media del equipo. El local funciona

1 Investigador del CONICET

2 Becaria alumna del Consejo de Investigación de la UNSa

3 Instituto UNSa-CONICET

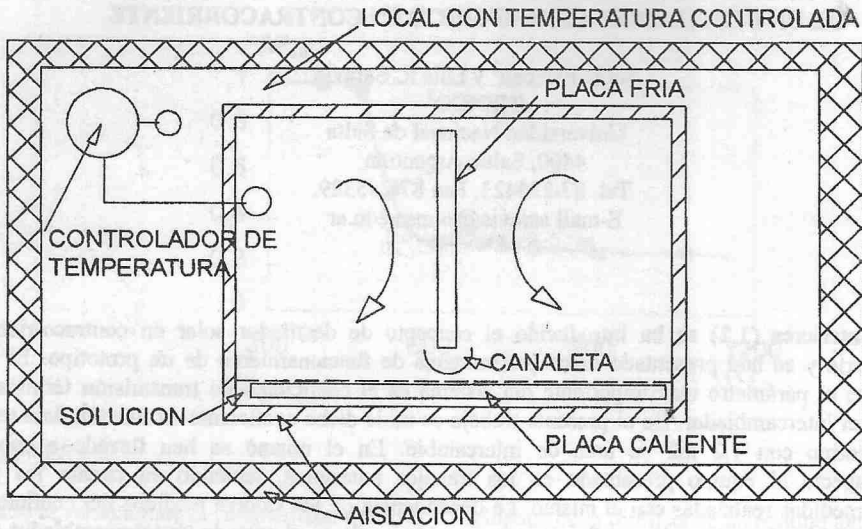


Fig. 1.- Corte esquemático del equipo para medir coeficientes de transferencia entre las placas del destilador

como "un anillo de guardia" para el equipo disminuyendo sustancialmente las pérdidas hacia el ambiente.

Para ensayar el destilador se han colocado termómetros tipo termistor en diversos puntos del sistema, midiendo las temperaturas de entrada y salida y controlando las cámaras que funcionan como anillos de guardia. Estas variables son medidas directamente por una computadora usando una tarjeta de adquisición de datos y un programa escrito en Qbasic. Los flujos de agua en el sistema y el flujo de agua condensada son medidos manualmente con probeta calibrada y cronómetro. El calor entregado con una resistencia eléctrica en el calentador se mide con un vatímetro electrónico. Este resultado es solo indicativo y se obtiene un valor más ajustado midiendo la diferencia de temperaturas sobre el calentador y el flujo de agua.

La alimentación de agua al sistema se realizó mediante la bomba de circulación de un termóstato. Variando la temperatura del mismo se obtienen distintas temperaturas de entrada a la placa fría. De esta manera se controla la temperatura promedio a la que trabaja el equipo, la que se fue variando para obtener distintos puntos de trabajo. Para cada selección de la temperatura del termóstato se varió la temperatura del anillo de guardia mediante el controlador, de manera de disminuir en lo posible las pérdidas al exterior. El calentador eléctrico está colocado entre la salida de mayor temperatura de la placa fría y la entrada a la placa caliente. Variando la potencia entregada con un variac se puede controlar el salto de temperatura entre las dos placas. La salida de menor temperatura de la placa caliente se la hizo pasar por una manguera larga colocada fuera del cuarto de control con el fin de disipar el calor entregado por el calentador. Luego se retornó el agua al termóstato. De esta manera se evitó el sobrecalentamiento del termóstato.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

La Fig. 2 ilustra los puntos donde se han realizado medidas en el equipo. Se dispone de las temperaturas de entrada y salida en las placas fría y caliente del intercambiador y los flujos de agua de circulación y de condensado. Estos valores se muestran en la Tabla 1 para las 19 experiencias registradas. Ellas se han realizado con distintos calentamientos, de manera de cubrir un rango de temperaturas de trabajo.

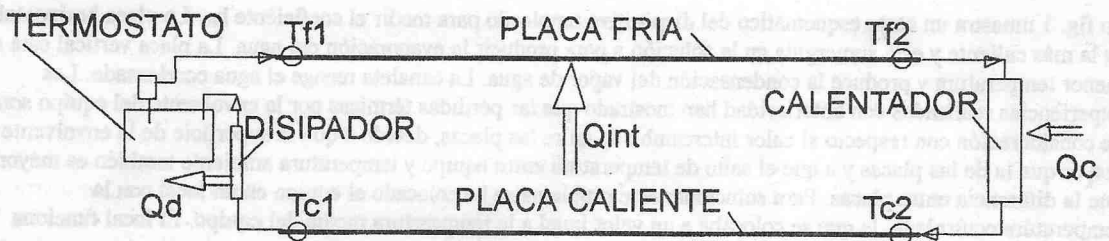


Fig. 2.- Esquema del destilador en contracorriente mostrando el equipo conectado y los puntos de medida de temperatura

Tabla 1- Resultados experimentales y valor del coeficiente de transferencia Hm deducido a partir de los datos.

No exp.	Tf1 C	Tc1 C	Tf2 C	Tc2 C	T promedio	Flujo recircul Kg/s	Flujo condens g/s	Hm w/m2.C
1	36.8	43.9	40.8	49.3	42.7	.0098	.0032	17.2
2	39.2	39.2	43.6	53.0	43.75	0.0092	0.033	16.3
3	58.1	64.3	63.4	74.9	65.18	.011	.057	22.5
4	60.0	65.5	66.7	73.6	66.45	0.01	0.005	36.9
5	61.6	66.3	65.5	71.7	66.3	0.01	0.023	39.1
6	63.2	70.9	70.5	78	70.7	0.01	0.022	34.1
7	64.9	70.8	72.5	80.2	72.1	0.01	0.021	45.8
8	66.2	69.9	70.0	76.5	70.6	0.01	0.021	33.1
9	51.8	59.7	58.5	67.3	59.3	0.009	0.027	29.8
10	54.8	62.8	61.5	70.4	62.4	0.01	0.035	27.1
11	43.8	52.2	50.8	57.1	51.0	0.007	0.021	22.7
12	49.5	58.1	57.1	68.3	58.3	0.009	0.033	23.6
13	55.0	61.4	63.7	73.1	63.3	0.009	0.034	32.8
14	40.8	51.1	48.9	62.6	50.85	0.009	0.030	20.7
15	49.9	57.7	57.5	66.0	57.8	0.009	0.052	28.7
16	44.9	56.8	51.9	61.1	53.68	0.009	0.052	19.0
17	40.6	50.9	47.7	55.4	48.65	0.01	0.03	27.0
18	36.7	45.6	42.2	51.1	43.9	0.01	0.029	22.1
19	34.3	43.2	39.7	48.8	41.5	0.01	0.031	20.5

El mantenimiento de condiciones estacionarias en el sistema ha sido difícil debido a las burbujas que se forman y alteran el flujo. Por tal razón los resultados tienen una dispersión grande. La medida del flujo de agua en el período de toma de los datos ha tenido problemas debido a problemas de acumulación que producían salidas fluctuantes. Ellas deben tomarse como indicativas. Por tal razón no se ha calculado un coeficiente de transmisión para el agua condensada y solo se evaluó el coeficiente de transferencia total. El problema que se tuvo con experiencias anteriores, pérdidas en las paredes del equipo, ha disminuido mucho, lo que se aprecia a primera vista porque los saltos de temperatura en las dos placas son similares

Para obtener el valor de hm a partir de los datos experimentales se tuvo en cuenta que el calor intercambiado entre las placas q_{in} , que se relaciona con h_m a través de la ecuación (1), es el que se extrae del agua que circula por la placa caliente, es decir :

$$q_{in} = c_{pa} \cdot m \cdot \Delta T_{12} \quad (3)$$

Por tanto, entre (1) y (3) se obtiene

$$h_m = \frac{c_{pa} \cdot m \cdot \Delta T_{12}}{A \cdot \Delta T_{cf}} \quad (4)$$

VARIACION DEL COEFICIENTE CON LA TEMPERATURA

La transferencia de calor entre las placas tiene tres aportes : el radiativo, el convectivo y el evaporativo.

El radiativo es calculable teniendo en cuenta la temperatura de las dos placas y el hecho de que la pared del recipiente también actuará como una fuente radiativa que interactuará con las dos placas. Se ha hecho el cálculo de esta transferencia en la suposición de que la temperatura de las paredes es un promedio de las temperaturas de las placas.

La transferencia por convección libre es de la forma

$$Nu = C \cdot (Ra)^n$$

donde las constantes C y n dependerán del intervalo en que se encuentre el número de Grashof y de la geometría del sistema. Nu y Ra son los números adimensionados de Nusselt y de Rayleigh. En los destiladores de cuba, con las superficies cuasi paralelas, se usa $C=0.075$ y $n=0.33$. En el número de Rayleigh aparece el salto de temperaturas entre las placas a través del cambio de densidad con la temperatura. En un destilador esta dependencia se ve afectada por el cambio que sufre la densidad con el vapor de agua. Teniendo en cuenta este aspecto, la ecuación para calcular el coeficiente convectivo Hc en el caso de un destilador de cuba es :

$$H_c = 0.884 \{ (T_{max} - T_{min}) + [(psat1 - psat2)/(2016-psat1)] \}^{1/3}$$

donde psat1 y psat son las presiones de saturación del vapor de agua a las temperaturas de las placas, expresadas en mm de Hg. El calor transmitido por convección, q_c, será obtenido como :

$$q_c = h_c \cdot (T_{max} - T_{min})$$

Esta expresión debe ser modificada para ser usada en el destilador en contracorriente debido a que las superficies no son paralelas. Por tanto, el coeficiente 0.884 será cambiado por una constante K a ser ajustada con los valores experimentales.

El coeficiente de transferencia evaporativo está relacionado con la transferencia de masa debida al proceso de evaporación, la cual puede calcularse teniendo en cuenta la analogía existente entre la transferencia de calor y masa. Se tendrá :

$$q_{evap} = 9.15 \cdot 10^{-7} \cdot H_c \cdot (psat1 - psat2) \cdot \lambda$$

donde λ es el calor latente del agua.

El valor de la constante K no es conocido, por lo que se ha hecho es determinar su valor por mínimos cuadrados minimizando la suma de los cuadrados de las diferencia entre los valores experimentales y los teóricos. El valor mínimo se obtuvo para K=0.4. La dependencia experimental del coeficiente H_m con la temperatura y el correspondiente valor teórico se muestran en la Fig. 3.

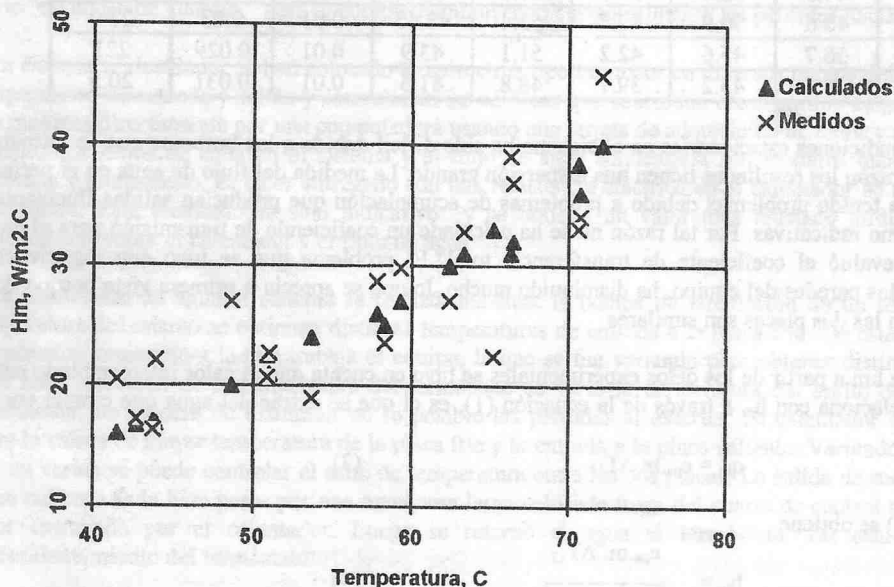


Fig. 3.- La gráfica muestra los valores experimentales del coeficiente de transferencia térmica y los valores calculados con la expresión ajustada por mínimos cuadrados

Como se aprecia, la expresión teórica utilizada para ajustar la dependencia de los datos con la temperatura reproduce bien la variación medida.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de los Sres. Ricardo Caso y Carlos Fernández por su colaboración en la construcción y puesta en marcha del prototipo.

REFERENCIAS

- 1.- Saravia, L. R., Esteban, S. y Franco, J., Ensayo y simulación de un destilador atmosférico en contracorriente, Actas de la 18va Reunión de Trabajo de Asades, en imprenta, San Luis, Argentina 1995.
- 2.- Saravia, L. y Franco J., Nuevo diseño de destilador atmosférico de tipo multieaporativo, Actas de la 16ta Reunión de Trabajo de la ASADES, pp. 601, tomo II, 1993, La Plata, Argentina.