

DESTILADOR SOLAR PASIVO: DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA EVAPORATIVA

J. Franco*, L. Saravia,

Instituto de Energías No-Convencionales (INENCO), Universidad Nacional de Salta,
Buenos Aires 177, 4400 Salta.

Se plantea determinar el valor para la constante de correlación del coeficiente para la transferencia de calor por evaporación que tiene lugar en los destiladores solares pasivos.

Se construyeron tres prototipos experimentales, uno de ellos para trabajar en el laboratorio donde se puede controlar los distintos parámetros que intervienen en el fenómeno y los otros para medir directamente en el exterior con radiación solar.

Se busca a partir de estas experiencias determinar la eficiencia en los equipos de destilación solar pasiva.

INTRODUCCION

Los destiladores o desalinizadores solares son equipos que producen agua pura a partir de aguas salinizadas.

Existen diversos modelos de destiladores solares pasivos los que constituyen distintas variaciones del tipo invernadero, consistente en una bandeja oscura donde se coloca el agua salobre cubierta por vidrio inclinado a dos aguas como muestra la fig. 1.

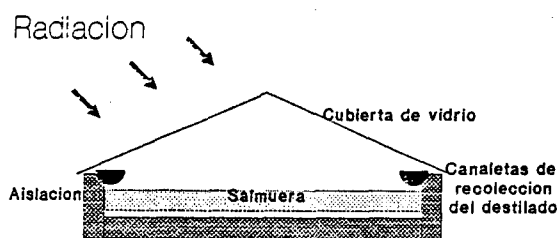


Figura 1: Esquema de un destilador típico.

La radiación solar calienta el agua, que se evapora condensándose en el vidrio, el destilado escurre por el mismo y es recogido a través de unas canaletas que lo llevan al exterior donde se lo colecta.

Los procesos físicos de transferencia de calor y masa que tienen lugar en el destilador tipo invernadero se esquematizan en la fig. 2.

* Becaria CONICET

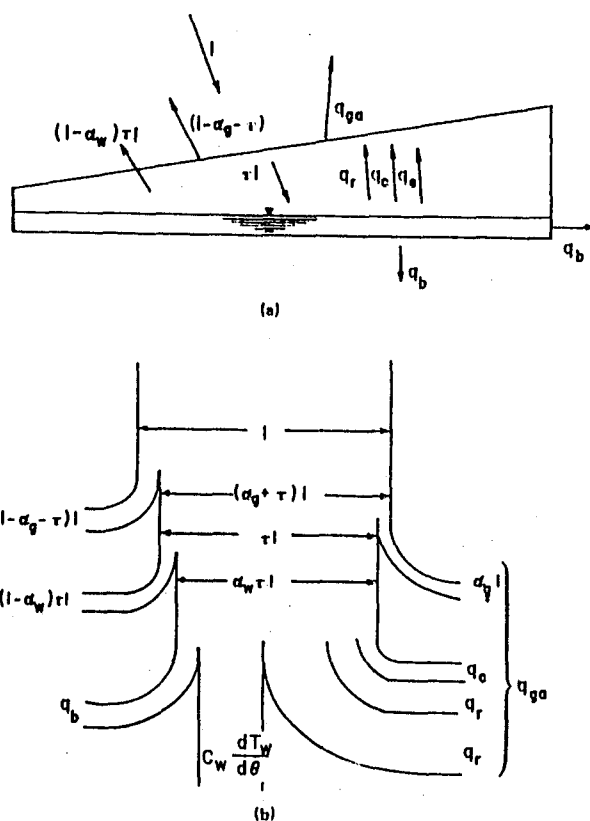


Figura 2: a) Vestores de dirección de flujo. b) Diagrama de Sankey.

El diagrama (a) indica la dirección de los flujos y el (b) muestra la interrelación entre los flujos en algún instante de tiempo.

El análisis cuantitativo de esta transferencia se hace sobre la base de un estudio de transferencia térmica que tiene en cuenta los números adimensionales asociados y donde los coeficientes a ajustar son determinados en forma experimental.

En la bibliografía existente hay discrepancias en el valor de la constante para la correlación del

coeficiente de transferencia de calor por evaporación-condensación, que son del orden del 100% del valor (1,2). En este trabajo se detallan un conjunto de experiencias destinadas a eliminar dichas discrepancias.

TRABAJOS PREVIOS

La ecuación de la cantidad de masa evaporada por unidad de tiempo en un destilador es:

$$m_e = K h_c (P_{ws} - P_{wg})$$

donde

K: es la constante de la correlación

h_c : coeficiente convectivo ($W/m^2 K$)

P_{ws}, P_{wg} : Presión de vapor de agua, a la temperatura de la superficie del agua y del vidrio respectivamente.

Dunkle (2) midió la constante K en 1962, obteniendo un valor de 0.7. En 1990, Clark realizó nuevas experiencias determinando para K un valor igual a 0.35.

Clark justifica esta corrección aduciendo que los equipos experimentales utilizados por Dunkle no son un buen modelo del destilador solar tipo invernadero.

Las críticas que se hacen son las siguientes:

1. En las experiencias para verificar el modelo de Dunkle se usaron calentadores eléctricos sumergibles, esto da la posibilidad que en el agua de la bandeja exista ebullición local sobre el calentador. Si esto ocurre se produciría una eficiencia del destilador mayor que la esperada, ya que las burbujas de vapor escaparían fácilmente a la superficie sin que los enfríe el agua lejos del calentador.

2. Se utilizaron superficies metálicas de condensación en lugar del vidrio, lo cual suprime la pérdida de radiación infrarroja desde la bandeja a la superficie de condensación, debido a que la superficie metálica es buena reflectora de dicha radiación. Esto provoca un aumento de la evaporación y de la convección llevando a valores mayores de eficiencias.

Clark realizó sus medidas en un equipo que elimina los problemas mencionados. Se utilizó una cubierta de vidrio y el calentamiento se realizó mediante un simulador solar de lámparas.

En este trabajo se describen nuevas experiencias destinadas a establecer si los resultados

de Clark son correctos, utilizando equipos muy similares a los destiladores de campo.

Se construyeron tres prototipos que se describen a continuación discutiéndose los resultados obtenidos.

Experiencias realizadas con el prototipo A

El prototipo experimental construido permite medir el calor transferido hacia arriba por los tres mecanismos considerados: por condensación en el vidrio, por radiación desde el agua y por convección del aire a distintas temperaturas. También se determina la cantidad de agua destilada en cada caso. Para lograrlo se mide la potencia transferida al vidrio superior mediante el aumento de la temperatura de una corriente de agua que circula por este.

El equipo, esquematizado en la fig. 3, consiste en una bandeja de chapa de 80c. x 50cm x 20 cm. Para calentar el agua de la bandeja se colocaron en la base, por el lado exterior, 8 resistencias eléctricas cuya potencia se puede variar con un auto-transformador con salida variable de hasta 5 kVA.

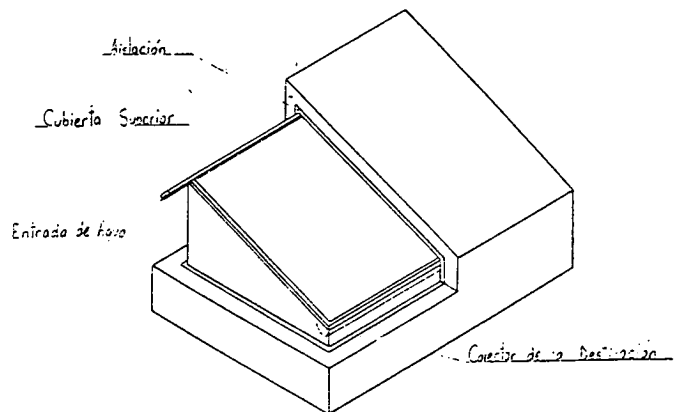


Figura 3: Prototipo A

La tapa superior es de vidrio y tiene una inclinación de 20° . Sobre el vidrio circula agua en forma de una película homogénea. Para obtener esta película se colocó una tela de linón, y sobre ésta un marco de aluminio donde va asentado otro vidrio para sostener la aislación de la tapa.

El agua entra por un ducto de $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ perforado cada 8 cm, escurre por la tela y el vidrio formando una película homogénea que moja toda la superficie y es recogida abajo del mismo modo que entra. En los ductos de entrada y salida

del agua de refrigeración se colocaron conexiones en T por donde se pueden introducir las puntas de un termómetro digital para medir las temperaturas de ingreso y salida del agua. El agua que condensa en la superficie interior del vidrio escurre por el mismo y se colecta en una canaleta ubicada en el borde inferior.

El equipo está rodcado con doble aislación de poliestireno expandido de 5 cm de espesor y un manto de lana de vidrio de 2,5 cm para disminuir las pérdidas al exterior.

Se realizaron medidas con el instrumental detallado a continuación; medidas análogas se realizaron sobre los otros dos prototipos que se describirán más adelante.

La potencia entregada al agua se mide con un watímetro digital conectado en serie con la carga.

La temperatura del agua de la bandeja así como la temperatura ambiente se miden con termocuplas de cobre-constantan conectadas a un voltímetro. La diferencia de temperatura entre la entrada y salida del agua y la del ambiente se mide con un termómetro digital múltiple del tipo termistor.

El agua que circula por el vidrio de arriba está termostizada. Con esto se puede variar la temperatura de entrada y regular el caudal.

Se midió también la cantidad de agua destilada en el período de medición para poder calcular la potencia transferida en la condensación.

Valores medidos: Las mediciones se realizaron cuando la temperatura del agua estaba estable, se considera estable cuando varía menos de 0.5 en una hora.

La Tabla 1 da los valores obtenidos en las distintas mediciones, donde lo que se modifica es la potencia entregada a las resistencias, obteniéndose un cambio de temperatura del agua.

En este trabajo interesa la comparación entre la cantidad de agua condensada por unidad de tiempo y la calculada a través de la ecuación de Clark.

La primera y segunda columna son las temperaturas del agua de la bandeja y del vidrio respectivamente, la tercera y cuarta dan los valores de cantidad de agua destilada obtenidos mediante la ecuación anterior y en el laboratorio. Estos valores se comparan gráficamente en la figura 1.

Entre las dos últimas columnas se observa una discrepancia entre el 5% y el 20%, sin embargo son más próximos a este que al propuesto por Dunkle, que tiene un valor doble. Los errores se pueden deber en parte a que la temperatura del

vidrio utilizada en la fórmula en la experiencia propuesta no tiene un valor uniforme, ya que el mismo está más frío arriba que abajo debido a agua circulante sobre su superficie.

Estos resultados confirmarían que las críticas de Clark son correctas.

T agua (C)	T vidrio (C)	Destilado m ³ e (kg/seg m ²) × 100	
		teórico	experimental
36.0	29.4	1.18	0.9
36.7	30.0	1.24	0.9
37.0	29.9	1.35	1.1
38.7	30.4	1.76	1.4
40.0	31.2	3.00	1.8
42.4	31.5	2.86	2.5
42.8	32.9	2.63	2.5
44.1	32.9	3.20	3.5
44.4	32.8	3.38	2.5
46.1	35.0	3.50	3.5
48.0	34.8	4.60	4.5
48.3	34.2	5.00	3.7
48.5	35.2	4.80	4.7
51.5	37.2	5.90	4.7
54.6	39.8	7.10	5.4
58.5	39.6	10.8	8.7
67.3	46.8	17.3	12.4
68.8	45.0	21.0	10.6
69.8	49.8	19.6	13.4
70.6	47.2	23.0	13.4
72.1	48.5	25.0	13.9

TABLA I: Valores experimentales y teóricos

El prototipo construido para este trabajo, al ser de vidrio también permite el calentamiento con radiación solar. Se realizaron medidas con radiación solar, que coinciden con las anteriores, lo cual confirmaría que el modelo experimental es el correcto.

Prototipo B: Consiste en una bandeja de 80×50 cm^2 de base y 7 cm de profundidad, según el esquema de la fig. 4, la bandeja está pintada de negro y los laterales de color blanco.

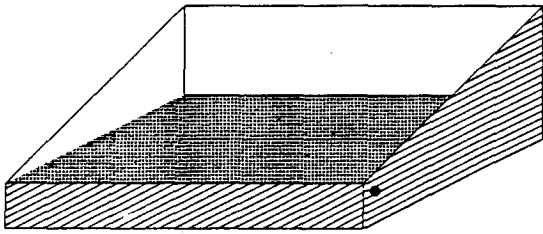


Figura 4: Prototipo B.

En este equipo, expuesto a la radiación solar, se midió la temperatura del agua de la bandeja, la temperatura del vidrio, y la cantidad de agua destilada. Debido a que la radiación solar varía a lo largo del día, la temperatura del agua de la bandeja no permanece constante, el único intervalo en que se mantiene estable es en el lapso de una hora después del mediodía solar. En este lapso se mide la cantidad de agua destilada, la temperatura del agua de la bandeja y la del vidrio.

Los valores obtenidos con esta experiencia se muestran mediante puntos en la figura 1; como se puede observar estos dan por encima de la curva obtenida para la experiencia de laboratorio.

Prototipo C: las dimensiones son: base 80×50 cm^2 , profundidad 7 cm, la diferencia con los otros equipos es que la tapa de vidrio está colocada con la pendiente a dos aguas como muestra la fig. 5

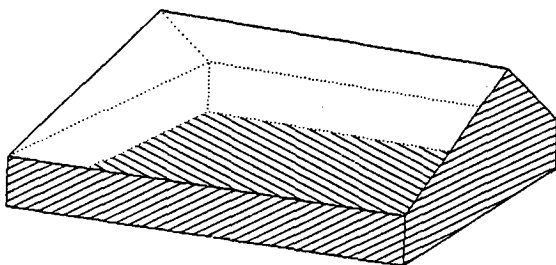


Figura 5: Prototipo C.

Se realizaron medidas de la temperatura del agua y de la cantidad de destilado, calentando la bandeja con resistencias eléctricas colocadas debajo de la misma, y manteniendo el destilador en el exterior, para que quede expuesto a la convección del viento, pero sombreado. También se realizaron algunas medidas con este mismo equipo expuesto a la radiación solar. Los resultados se muestran mediante puntos en la figura 1.

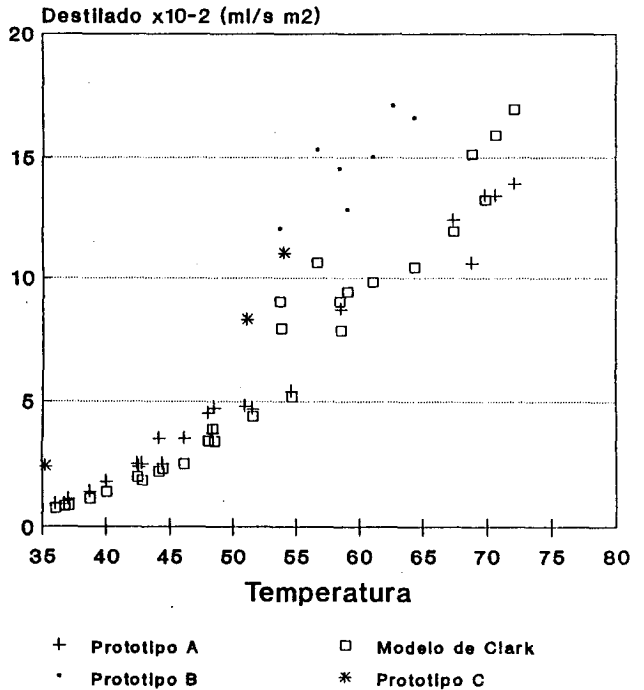


Figura 1: Destilado vs. Temperatura del agua.

CONCLUSIONES

Las primeras experiencias que se realizaron fueron con el equipo A, los resultados coinciden con los valores propuestos por el modelo de Clark; sin embargo cuando se comenzó a medir con los otros dos equipos se comprobó que la cantidad de agua destilada era mayor, en el orden del 50%, de la obtenida anteriormente. Esto indicaría que las eficiencias son más altas. Analizando detalladamente la experiencia realizada con el prototipo A, se observó que el agua condensaba en las paredes laterales del equipo, por lo que no se recoge en la canaleta. En los otros dos equipos esto no sucede, en el equipo B debido a que la radiación solar calienta las paredes laterales no permitiendo la condensación y en el C porque la pendiente es a dos aguas.

Ante estas experiencias es evidente que el coeficiente de correlación para la transferencia de calor por condensación tiene un valor intermedio

entre los dos propuestos por los otros investigadores. Para poder determinar este valor sería conveniente obtener más datos experimentales sobre la cantidad de agua destilada a temperaturas más altas, lo cual requiere esperar a que llegue la época de verano, para contar con un mayor nivel de radiación.

REFERENCIAS

1. J. A. Clark, Solar Energy, Vol. 44, Nº1, pp. 43-49, 1990.
2. R. V. Dunkle, International Heat Transfer Conference, Part V, pp 895-902, Boulder, CO (1962)