

DESTILADOR MULTIETAPA PASIVO

J. Franco, S. Perpignat, L. Saravia*

INENCO#, Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177 - 4400 Salta

1. RESUMEN

El destilador de agua tipo invernadero con bandeja horizontal tiene un rendimiento reducido, lo que económicamente limita la posibilidad de su uso a poblaciones muy pequeñas (Ref.1). En el NOA existen considerables problemas de agua con contaminación salina (Ref.2) por lo que resulta de interés estudiar otros sistemas de mayor rendimiento que pudieran tener mejores perspectivas desde el punto de vista económico. Una posibilidad es la de uso de destiladores multietapa de tipo pasivo. Ellos mejoran su rendimiento recuperando el calor de evaporación, y los diseños pasivos permiten su utilización en regiones sin energía eléctrica o mecánica. En este trabajo se presenta un primer estudio de una geometría propuesta por grupos de Alemania y Méjico (Ref. 3 y 4) la que por su sencillez tendría posibles ventajas económicas.

2. DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El equipo consiste en bandejas superpuestas, que funcionan como destiladores del tipo invernadero. Se calienta el agua de la bandeja inferior con un intercambiador, el agua se evapora condensándose en el fondo de la bandeja siguiente, el calor se transfiere por convección, radiación y evaporación - condensación haciendo evaporar el agua de la segunda bandeja, así se repite el proceso hasta llegar a la última que esta abierta al ambiente.

Este tipo de equipo se puede utilizar con colectores planos que calienten el agua mediante un intercambiador, esto daría un funcionamiento periódico del sistema, utilizándolo con una poza solar como fuente térmica tendría la ventaja de operar continuamente.

El prototipo experimental consiste de 5 bandejas de chapa galvanizada de 0.6 m x 1 m x 0.15 m. La bandeja inferior es plana mientras las 4 restantes tienen el fondo a dos aguas. A cada lado de las bandejas y en la parte inferior de las mismas unas canaletas colectan el destilado. El conjunto tiene una ligera pendiente hacia la descarga. El equipo esta aislado en la base y los laterales con una plancha de goma de 2 cm de espesor y una plancha de poliestireno expandido de 5 cm de espesor. El sistema de recarga de agua es por medio de mangueras que interconectan las bandejas fijando el nivel de agua de operación.

En la bandeja inferior se colocaron dos resistencias eléctricas en esquinas opuestas para simular el intercambiador de calor, éstas están conectadas a la red domiciliaria a través de un autotransformador que regula la potencia entregada.

* Investigador del CONICET

Instituto UNSa. - CONICET

La energía recibida por el agua en la bandeja inferior se pierde en parte por conducción a través de la base y los laterales. Del resto parte se usa para aumentar la temperatura del agua y parte se transfiere a la siguiente bandeja por convección radiación y evaporación - condensación. El agua condensada en el fondo de cada bandeja cae hacia las canaletas laterales y es recogido por medio de un codo metálico soldado en el extremo de cada canaleta y se conecta con el recipiente colector a través de una manguera. En la figura 1 se muestra un corte del equipo y en la 2 una perspectiva de una bandeja

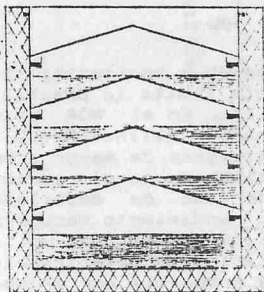


Figura 1

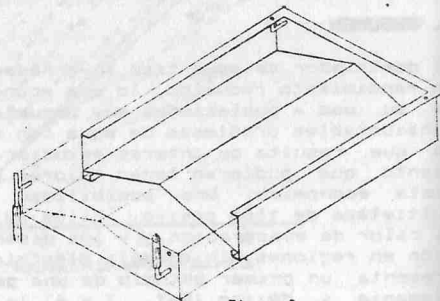


Figura 2

3. SISTEMA DE MEDICION

Se hicieron medidas de temperatura, potencia eléctrica y cantidad de agua destilada. En cada bandeja se colocó una termocupla de cobre - constantan envainadas en un tubo de vidrio cerrado en un extremo lleno de glicerina, y otra termocupla para la temperatura ambiente. Todas las termocuplas se conectaron a un sistema de adquisición de datos para obtener valores de temperaturas cada 30 minutos.

Las primeras experiencias se hicieron a potencia constante durante algunos días, recargando las bandejas, luego se hicieron ciclos de 8 hs con potencia constante y 16 hs apagado para simular el suministro de calor mediante colectores planos. Se midió el volumen diario destilado por cada bandeja.

4. MODELIZACION

Se planteó la modelización de la evolución temporal de las temperaturas en cada bandeja y el volumen destilado por cada una, para poder comparar con los resultados experimentales, ajustando el programa se puede utilizar el mismo para optimizar el diseño y las condiciones de operación del sistema. Se planteó el siguiente balance energético en términos de potencia.

$$QT(I) = QA(I) + QE(I) + QR(I) + QC(I) + QP(I) \quad (1)$$

donde: QT(I) = potencia entregada a la I-ésima bandeja
 QA(I) = potencia usada por cada bandeja para incrementar su temperatura
 QE(I) = potencia que entrega la bandeja I al agua que evapora
 QR(I) = potencia radiada por la bandeja I a la I+1
 QC(I) = potencia transferida por convección de la bandeja I a I+1
 QP(I) = potencia perdida por conducción al exterior

Las ecuaciones son aproximadamente las mismas en todas las bandejas si se propone una sexta bandeja "ficticia" a temperatura ambiente.

Las ecuaciones para cada término son clásicas salvo la del término evaporativo. en este caso se consideró que la potencia transferida por evaporación-condensación es el producto del flujo de masa de vapor desde la fase líquida por el calor de cambio de fase.

De la ecuación de balance se despeja la variación temporal de temperaturas y se integra en cada paso de tiempo sumando este incremento al valor anterior de temperatura para obtener el nuevo. Para obtener el volumen de agua destilada se integra QE en el tiempo y se divide por el calor de cambio de fase. Para cada término de (1) se utilizaron las siguientes expresiones

$$QA = m Cp dT / dt \quad (2)$$

$$QP = A * k / e * (T_1 - T_a) \quad (3)$$

$$QR = A * \sigma * (T_1^4 - T_{I+1}^4) \quad (4)$$

$$QC = A * hc * (T_1 - T_{I+1}) \quad (5)$$

$$QE = J_{I,I+1} * LV \quad (6)$$

donde: m = masa de agua en cada bandeja

Cp = calor específico

dT/dt = variación de temperatura con el tiempo

A = área

k = conductividad térmica de la aislación

e = espesor de la aislación

Ta, T1 = temperaturas ambiente y de la bandeja I

σ = constante de Stefan-Boltzman

hc = coeficiente de transferencia de calor por convección

J_{I,I+1} = flujo de masa convectivo de la bandeja I a la I+1

LV = calor latente de vaporización

En la ecuación (4) se supuso el factor de forma igual a uno debido a que se puede aproximar a dos placas paralelas la emisividad se tomó igual a uno en el infrarrojo. *

Para el coeficiente de transferencia de calor por convección natural en (5) se utilizó una correlación entre el número de Nusselt (Nu) con el de Grashof (Gr) y Prandtl (Pr) tomada de la referencia 5.

En la ecuación (6) el flujo de masa tiene la siguiente expresión:

$$J_{I,I+1} = Nu * \mu / (Pr * L) * \sigma * mv_{I,I+1}$$

donde: μ = viscosidad cinemática

L = espaciado entre bandejas (promedio)

σ = densidad promedio del aire húmedo

mv_{I,I+1} = variación de cantidad de vapor de agua en el aire cerca de la superficie del agua y en la parte superior de la bandeja.

5. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y COMPUTACIONALES

Los primeros ensayos se hicieron durante 8 días corridos, con una potencia entre 700 y 1000 W durante los cinco primeros días, dejándolo enfriar hasta que alcanzó la temperatura ambiente. Se recarga-

ron de agua diariamente las bandejas y se midió el volumen destilado. La figura 3 muestra una gráfica de las temperaturas obtenidas en cada bandeja.

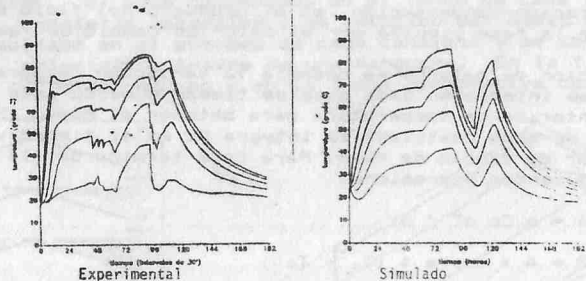


Figura 3: Evolución temporal de las temperaturas para el primer ensayo .

Los resultados de esta experiencia permiten ver la entrada en régimen del equipo, la variación temporal de temperatura al pasar de una potencia a otra y la fluctuación de la misma cuando se recarga.

Al analizar los 3 últimos días de esta corrida, en que se mantuvo apagado el suministro de potencia eléctrica, se vió que el equipo tiene una alta inercia térmica, y disminuye la temperatura de cada bandeja entre 10 y 15 C durante las primeras 16 hs. Se encontró además que la potencia límite, en las condiciones de ensayo, es de 1000 W. El volumen destilado durante los primeros días fue de entre 10 y 15 lts por día, mientras que los últimos 3 días fué de 12 lts.

Se hicieron algunas modificaciones en el equipo, para mejorar la recarga y la recolección de destilado. Se disminuyó la capacidad de las 3 bandejas intermedias a fin de disminuir el tiempo de entrada en régimen.

Con el fin de simular el funcionamiento del equipo con colectores planos se hizo un ensayo durante siete días corridos. El primer día se conectó el equipo durante 8 hs con una potencia de 615 W y se mantuvo apagado durante las 40 hs siguientes, a fin de ver la variación temporal de temperaturas durante el tiempo que está desconectado. Del tercero al séptimo día se le suministró potencia constante durante 8 hs diarias y las 16 hs restantes se lo mantuvo apagado, la potencia entregada fué de 670 W los días 3, 4 y 5, mientras que los dos últimos se ensayaron con 805 W. Se recargó diariamente el equipo. La figura 4.a muestra la evolución de las temperaturas para este ensayo.

Se midió diariamente el volumen destilado para cada bandeja independientemente, obteniéndose:

DIAS	3	4	5	6	7
EXP/SIM	E/S	E/S	E/S	E/S	E/S
TIEMPO	8 hs/8hs	8 hs/8hs	6 hs/8hs	8 hs/8hs	7 hs/8hs
V1(1t)	2,70/4,10	3,40/5,40	2,70/5,70	5,00/5,20	5,22/6,80
V2(1t)	1,60/2,80	2,30/4,40	1,80/4,90	3,60/3,70	3,80/5,10
V3(1t)	0,90/2,00	1,14/2,50	0,90/4,10	1,60/2,60	1,70/4,70
V4(1t)	0,96/1,40	1,40/2,80	1,30/3,40	2,46/1,90	2,78/2,60
VTOTAL	6,16/10,2	8,24/15,1	6,70/18,1	12,66/13,4	13,54/19,2

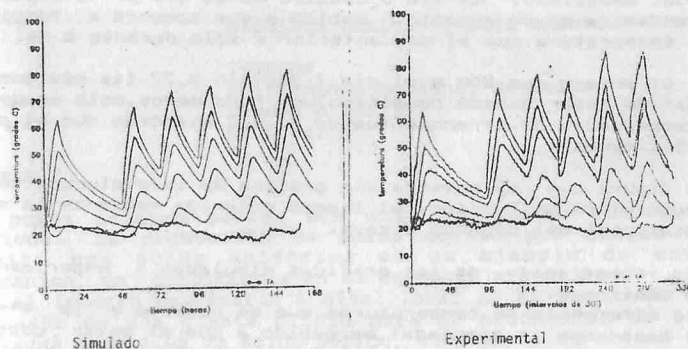


Figura 4: Evolución temporal de la temperatura, segundo ensayo

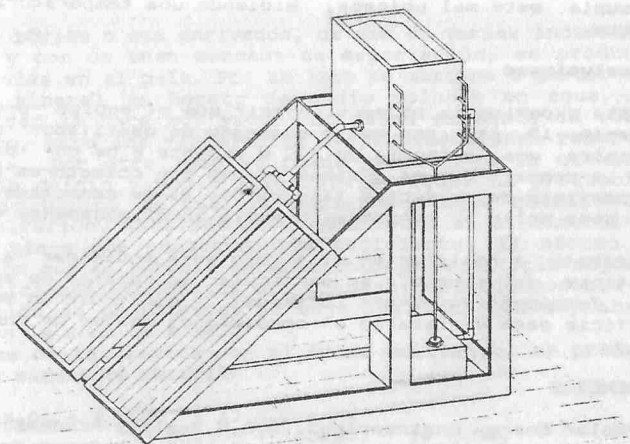


Figura 5: Esquema del destilador conectado a colectores planos

Las bandejas están numeradas de abajo hacia arriba. Al analizar estos datos se ve que la bandeja 3 tiene un problema en la recolección del destilado. El día 5 destiló menos que el 4, a pesar de que la tendencia es en aumento, debido a que comenzó a funcionar con menor temperatura que el día anterior y sólo durante 6 hs.

Para el ensayo con 800 W el día 7 destiló 0,22 lts más que el día 6 a pesar de haber estado conectado una hora menos, esto se debe a que la temperatura de arranque fue de 45.4 C mientras que el primer día fue 20 C menos.

En la figura 4.b se muestra una gráfica de la evolución temporal de la temperatura en función del tiempo obtenida mediante la simulación computacional del segundo ensayo.

De la comparación de las gráficas simuladas y experimentales se puede decir que:

- a) La diferencia de temperaturas que se observa en la 4^a bandeja (más baja que la simulada) es debido a que al estar obstruido el sistema de recolección de destilado hay un reflujó de agua condensada a la bandeja que aumenta su masa de agua que produce un menor aumento de temperatura.
- b) El desplazamiento que se observa en el día 5, de la curva experimental con respecto a la simulada, es debido a que no se obtuvieron valores experimentales durante 4 horas mientras la temperatura siguió bajando.
- c) La temperatura observada en la 2^a bandeja (experimental) en los días 6 y 7 es menor que la simulada, esto se puede deber a que la termocupla esté mal ubicada, midiendo una temperatura que no es la del agua.

6. Conclusiones

De esta experiencia podemos inferir que el equipo produce aproximadamente 15 lts por metro cuadrado de destilador cuando se le suministra una potencia de 700 W durante 8 hs por día, esto nos lleva a pensar que es posible su uso con colectores planos con 2m² de superficie de colección (figura 5). Si se conectase el destilador a una poza solar su rendimiento sería aproximadamente 4 veces mayor.

El trabajo a realizar en el futuro será modificar algunas características del diseño, en particular la recarga de agua para que pueda funcionar de manera continua, y construir un modelo de mayor superficie para analizarlo en condiciones reales de funcionamiento.

REFERENCIAS

- 1.- "Solar Energy Engineering", A.A.M. Sayigh, Academic Press, 1977
- 2.- "Estudio Cuantitativo de Arsenico en las Aguas de la Provincia de Salta", S. Sastre, et ali. UNSA
- 3.- "Destilador Solar Indirecto de Difusion con Reuso de Calor", R. Martinez S. Butecsa, Congreso Lat. de Eng. Solar, Mexico 1987
- 4.- Comunicación personal con el Dr. Sztzman
- 5.- "Transfer Processes", D. K. Edwards, V.E. Denny, A. F. Mills, Mc Graw Hill, 2^a Ed. 1979