

DESTILADOR SOLAR MULTITAPA

Judith Franco* y Luis Saravia#

INENCO@

Universidad Nacional de Salta

Buenos Aires 177

4400, Salta, Argentina

Fax: 54-87-251034

INTRODUCCION:

Existen muchas regiones en Argentina con problemas graves de disponibilidad de agua ya que sólo existen aguas salinizadas, algunas de ellas contaminadas con arsénico. Se han detectado problemas de salud en la población de ciertas regiones donde el único tipo de agua disponible es la que contiene arsénico (1). La destilación solar puede ser una solución para la producción de agua potable, especialmente en zonas rurales donde se pueden instalar pequeñas unidades en edificios públicos como escuelas, puestos sanitarios y también en casas aisladas. Los destiladores solares tipo invernadero han sido estudiados y se ha comprobado que son una excelente tecnología para aplicar en diversos casos (2). Se realizaron numerosos estudios tendientes a mejorar la eficiencia de estos sistemas con el objeto de reducir el área de colección solar requerida para satisfacer la demanda. Esto es importante no solo para reducir costos sino también por los problemas de mantenimiento que requiere esta tecnología. Una de las posibilidades es el uso de unidades de destilación pasiva de múltiple efecto

En este trabajo se propone un destilador de múltiple efecto con algunas diferencias de diseño respecto a trabajos previos. Se discuten y comparan los resultados experimentales con los valores obtenidos del modelo experimental. El modelo computacional se usa además para evaluar los efectos en los cambios de los distintos parámetros de diseño del sistema.

DESCRIPCION DEL DESTILADOR

La figura 1 muestra un esquema del destilador. Consiste en una serie de bandejas de acero inoxidable inclinadas un cierto ángulo (que llamaremos etapas), cubiertas por una tela de algodón por donde circula el agua en forma de un film. El agua es calentada en la bandeja inferior por una fuente de calor externa. Se alimenta el equipo con la salmuera desde la segunda etapa, escurre por la misma y pasa a las siguientes hasta llegar a la bandeja inferior. La tela permite una mejor distribución del agua sobre la superficie de las etapas. El agua de la bandeja inferior es la que tiene la mayor temperatura, el vapor producido condensa en la primera superficie que está a temperatura inferior, y es recolectada en una canaleta. El calor de condensación es transferido al agua que está escurriendo provocando nuevamente vapor, este proceso se repite en las distintas etapas. La diferencia de temperatura entre la bandeja y la superficie superior se mantiene enfriando la superficie superior con agua fría. El agua que ha escurrido a través de todas las etapas y no se ha evaporado sale de la bandeja a la máxima temperatura.

* Becaria CONICET

Director INENCO

@ Instituto de Investigaciones en Energías No-Convencionales.

Para calentar el agua de la bandeja se puede usar colectores solares planos de agua caliente. También se puede utilizar otras fuentes de energía como por ejemplo leña que es abundante en algunas regiones de Salta donde se podrían usar estos sistemas.

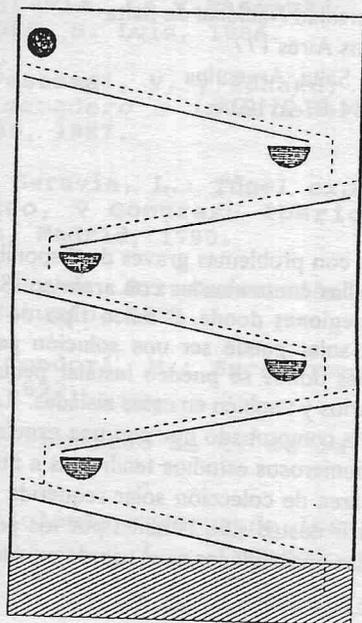


Fig.1: Destilador Multietapa

PROTOTIPO Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se construyó un prototipo para probar su funcionamiento y estudiar los detalles constructivos. Este prototipo utiliza cuatro etapas incluyendo la que se enfría con agua de la red. La bandeja inferior mide 0.4 m de ancho por 0.6 m de largo. El ángulo de inclinación de las superficies es de 30° . las paredes se construyeron en acrílico para permitir la inspección ocular del equipo y está aislado con placas de poliestireno expandido de 4 cm de espesor.

El flujo de agua necesario es muy bajo, se usaron valores entre 0.0001 kg/s y 0.0007 kg/s en las diversas experiencias. Para poder obtener una distribución uniforme de agua en la primera superficie se conectó una manguera de flujo controlado utilizada usualmente para riego por goteo en invernaderos, este tipo de cañería resultó muy adecuado.

Se utilizaron velas de cuarzo para calentar la bandeja inferior. Se midieron la temperatura y el flujo de agua destilada en estado estacionario.

La Tabla I muestra los resultados obtenidos en dos experiencias realizadas.

Tabla I
Temperaturas y Flujo de agua
destilada en las etapas

Etapa	0,00032		0,0006	
	Temp °C	Flujo (kg/h)	Temp °C	Flujo (kg/h)
1	81	0,290	80	0,310
2	75	0,310	70	0,310
3	60	0,250	56	0,230
4	27	0,160	29	0,085
Total		1,010	0,935	

MODELO COMPUTACIONAL

Se utilizó un modelo computacional para simular el comportamiento térmico del sistema. Se utilizaron las ecuaciones para la transferencia de calor por radiación, convección y evaporación propuestas originalmente por Dunkle y Cooper para los destiladores solares de una etapa (tipo invernadero).

Se supuso que la temperatura en la superficie de cada etapa, tanto en la cara superior como en la inferior es uniforme. Se consideró un coeficiente constante de transferencia de calor entre la superficie metálica y la tela. La temperatura en cada superficie se determina por iteración. Se supuso una distribución inicial de temperatura en todas las superficies, entonces la desviación de la ecuación de balance de calor en cada etapa se calcula con la temperatura supuesta y con un pequeño corrimiento de las temperaturas correspondientes a cada etapa. De ahí, se estima una nueva temperatura tratando de satisfacer la ecuación de balance de calor. Los cálculos se realizan para cada etapa y se repiten hasta satisfacer todas las ecuaciones. Las temperaturas de la bandeja inferior y de la primera superficie inclinada se mantienen constantes.

Se hicieron los cálculos usando los valores experimentales de temperatura de la bandeja y de la superficie inclinada, se utilizó un flujo de agua igual al doble del flujo de agua destilada. Los resultados obtenidos se dan en la Tabla II para un área de bandeja igual a la del prototipo experimental.

Tabla II
Cálculo de temperatura y de flujo de
agua destilada en cada superficie

Superficie	0,24 m ²	Caudal 0,00033 (kg/h)	
	Temp.(°C)	Flujo (kg/h)	
Bandeja	91,3		
1	82,5	0,377	x 0,82 0,309
2	71,2	0,347	0,284
3	55,5	0,296	0,242
4	32,0	0,211	0,296
Total		1,231	1,010

El consumo eléctrico en la bandeja evaluado fue de 255 W. Si definimos un factor de multiplicación, f_m , que se calcula como la relación entre el calor necesario para evaporar el agua producida y el consumo de energía, se encuentra en este caso un valor igual a 2,89. Se considera que hay una cierta pérdida de agua, comparando los valores calculados con los experimentales esta puede ser estimada en un 18 %. Esto se muestra en la última columna de la tabla anterior multiplicando los valores de flujo de agua destilada por 0,82. Se encontró un acuerdo entre los valores medidos de temperatura y de producción de agua en cada etapa, y los resultados computacionales.

El modelo se puede usar para estimar la sensibilidad del factor de multiplicación a los diversos parámetros de funcionamiento, especialmente el flujo de agua y la temperatura de la bandeja.

La tabla III muestra los valores de f_m obtenidos para una temperatura de bandeja de 91,3 °C y una temperatura de enfriamiento de 32 °C, 4 etapas y diferentes flujos.

Tabla III
Factores de multiplicación calculados
para diferentes flujos de agua

Flujo de agua kg/s m ²	Flujo de destilado kg/s m ²	Potencia W	f_m
0,00135	0,00137	1100	2,89
0,0027	0,00132	1313	2,43
0,0054	0,00143	1797	1,85

Como se puede observar de la tabla el aumento en el flujo de agua no altera significativamente la cantidad total de agua destilada, pero consume mas potencia, provocando un decrecimiento en el factor de multiplicación. El exceso de calor es eliminado por el agua caliente que sale de la bandeja inferior. Se debe usar un valor mínimo de flujo de agua, compatible con la eliminación de sal del sistema. El flujo de agua también produce un cambio en la cantidad de agua destilada en cada etapa. Cuando el flujo aumenta, el salto de temperatura entre la bandeja y la primera etapa aumenta, incrementando la condensación de agua. Cuando varía la temperatura de la bandeja, el flujo de agua destilada varía considerablemente. Por esto para evaluar la sensibilidad con la temperatura de la bandeja se analizó el programa usando valores de flujo de agua igual al doble del flujo de agua destilada. La temperatura de enfriamiento se mantuvo constante en 32 °C. Los resultados se dan en la Tabla IV.

Tabla IV
Valores calculados del f_m
para diferentes temperaturas de bandeja

Temp. °C	Flujo de agua kg/s m ²	Flujo de destilado kg/s m ²	Potencia W	f_m
90	0,0027	0,00134	1255	2,48
80	0,00152	0,00075	718,6	2,42
70	0,00086	0,00041	402,4	2,37
60	0,00044	0,00021	210,0	2,32

El factor de multiplicación no varía sensiblemente pero la cantidad de agua destilada producida es mucho mayor, obteniéndose una mejor productividad para la misma superficie. Cuando la diferencia entre la temperatura del agua de enfriamiento y la temperatura de la bandeja se duplica la producción de agua destilada se multiplica por un factor 6.

Por último se consideró la influencia con el número de etapas. La Tabla V muestra el efecto cuando el número de etapas varía de 4 a 1, mientras la diferencia de temperatura entre la bandeja y la etapa superior es constante e igual a 82 y 30 °C.

Tabla V
Valores calculados del factor de multiplicación
para números diferentes de etapas

Numero de etapas	Flujo total de agua kg/s	Flujo total de destilado kg/s	fin
4	0,0016	0,00087	2,5
3	0,0020	0,00096	1,9
2	0,0028	0,00111	1,4
1	0,0030	0,00150	1,0

Cuando el número de etapas decrece la productividad aumenta pero el factor de multiplicación disminuye rápidamente.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Se está estudiando un diseño final de destilador pequeño para uso familiar en algunas regiones de la Provincia de Salta. Se supone el uso de leña como fuente de calor, ya que hay disponible en la región y daría un sistema mas compacto y barato que uno que utilice energía solar. La tabla VI muestra las características de diseño mas importantes.

Tabla VI
Características principales de un
destilador familiar pequeño

Area de bandeja	: 0,25 m ²
Producción de agua destilada	: 30 kg/día
Consumo total de agua	: 60 kg/día
Periodo de trabajo	: 24 hs/día
Consumo de combustible	: 3,5 kg/día de leña
	: 0,7 kg/día de gas natural
Temperatura de bandeja	: 90 °C

El consumo de combustible fue evaluado con el 50% de eficiencia de quemado, en el caso de madera y 75 % para gas natural.

Se colocará el tanque de alimentación de agua para el destilador encima del sistema. El piso del tanque sera inclinado y se lo usará como la superficie superior de condensación. Las paredes del tanque no deben estar aisladas para dar una gran superficie de disipación del calor colectado en la superficie de condensación. La temperatura de condensación estará alrededor de 10 °C sobre la temperatura ambiente. Debajo del destilador se colocará un pequeño calentador de leña para calentar la bandeja.

Se colocaran otros dos tanques debajo del destilador y su calentador para almacenar el agua destilada y el concentrado caliente que sale de la bandeja. Este último puede tener algún uso ya que el agua de salida está a una temperatura de alrededor de 90 °C. Si los dos tanques son iguales, la diferencia de niveles de agua puede usarse de referencia para regular el agua de alimentación del tanque.

Las superficies inclinadas seran diseñadas permitiendo una facil extracción de las sales depositadas en la tela.

CONCLUSIONES

Se propone un nuevo diseño para el destilador pasivo multietapa con algunas potenciales ventajas con respecto a los diseños anteriores:

- 1) Solo una fuente de alimentación será necesaria simplificando los controles de alimentación.
- 2) La masa de agua en el destilador es muy baja lo que permite una reacción rápida a los cambios en la fuente de calor.
- 3) No es necesario agua para enfriamiento.

REFERENCIAS

- 1.- "Estudio Cuantitativo de Arsénico en las Aguas de la Provincia de Salta", Sastre , Salmoral, Varillas, Courtade, Aguilera; Univ. Nacional de Salta.
- 2.- "Solar Energy Engineering", A. A. M. Sayigh, Academic Press, 1977□