

## ENSAYO DE UN DESTILADOR SOLAR AL VACIO

Salomón Perpignat, Luis Saravia \* y Judith Franco  
INENCOV, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177, 4400 Salta - Argentina

### RESUMEN

En este trabajo se presentan y analizan datos iniciales de funcionamiento de una planta piloto construida a los fines de caracterizar un destilador rotativo de alto rendimiento propuesto por Howe y Fleimat (1).

Se ensayaron las técnicas constructivas y se fueron modificando cada una de las partes respecto al diseño original propuesto en un trabajo anterior (2) hasta obtener un funcionamiento aceptable.

Además del destilador rotativo la planta piloto consta de: un generador de vapor tipo flash para alimentar al destilador, un condensador para los vapores que genera el destilador, una bomba de vacío que mantiene todo el sistema a baja presión y el instrumental de medición.

En los primeros ensayos se conectó la salida del generador directamente al condensador y se tomaron medidas para determinar el funcionamiento de estos dos elementos.

Luego se intercaló el destilador pero aún no se ha logrado hacer fluir el vapor desde el tanque de flash al destilador en forma correcta.

### INTRODUCCION

Extensas zonas en la Argentina presentan requerimientos de agua no contaminada con sales. En general esas zonas tienen un buen recurso solar, por lo que puede plantearse la utilización del mismo para obtener agua desalinizada por destilación.

La producción de grandes cantidades de agua por destilación solar convencional requiere la cobertura de grandes áreas con destiladores. El costo de los destiladores y el trabajo requerido para el mantenimiento limitan la aplicación de destiladores solares convencionales a un tamaño reducido.

Para usar la energía solar mas efectivamente se propone el uso de sistemas de destilación múltiple, donde se eleva el rendimiento usando el calor de condensación de una unidad para provocar la evaporación en la siguiente.

\* Investigador del CONICET

‡ Instituto UNSa. - CONICET

La condición fundamental para que un destilador pueda ser usado en una combinación múltiple es que la caída de temperatura entre el vapor que llega al destilador y el que sale del mismo sea mínima, permitiendo así una máxima recuperación de calor para la próxima etapa.

Usando una combinación de dos conceptos previamente establecidos:

- 1- Los cepillos que giran dentro o fuera de un tubo pueden mantener películas muy delgadas durante la evaporación de agua.
- 2- El efecto centrífugo de la rotación puede mantener películas muy delgadas durante la condensación de vapor.

Tleimat desarrolló un destilador rotativo, que manteniendo películas delgadas en ambas caras de la superficie de transferencia, logra coeficientes de transferencia de calor del orden de 30 a 50  $\text{KW/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  y caídas de temperatura del orden de  $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Para el análisis experimental se construyó la planta piloto que se describe a continuación.

#### DESCRIPCION DEL SISTEMA.

##### Esquema general

La figura 1 muestra el esquema general de la planta piloto, esta consta de:

- I.- Un generador de vapor a baja presión que opera en el rango de temperaturas que puede proveer la capa de acumulación de una poza solar.
- II. El destilador rotativo
- III. Un condensador para el vapor de salida del destilador.
- IV. Una bomba de vacío para eliminar los gases no condensables del sistema.
- V. El instrumental de medición.

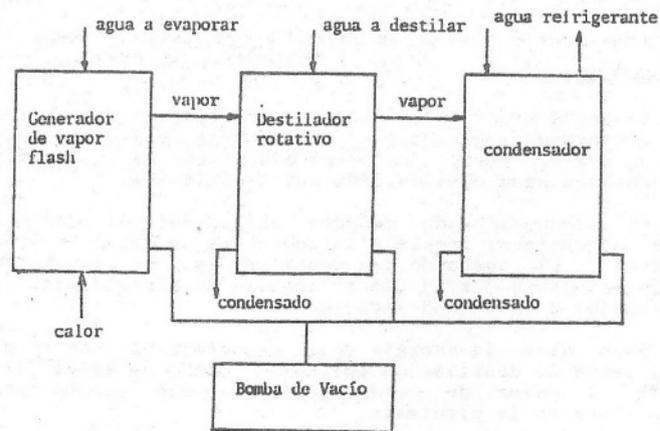


Fig. 1 - Esquema general de la planta piloto.

#### L. Generador de vapor flash

En la figura 2 se muestra un esquema del generador de vapor flash cuyas componentes son:

- 1- Un tanque de hierro de 0.35 m de diámetro y 1m de alto pintado con epoxy, con tapa abulonada para facilitar su limpieza y cerrado de modo que pueda mantenerse a baja presión.
- 2- Un calentador domiciliario a gas que permite operar en el rango de temperaturas que provee una poza solar. En el futuro será reemplazado por un intercambiador.
- 3- Dos bombas que permiten circular el agua entre el calentador y el tanque.
- 4- Un depósito de agua para cargar el tanque.

#### FUNCIONAMIENTO.

Se carga el tanque con el agua del depósito hasta la altura deseada que se puede leer en un tubo lateral de vidrio graduado en milímetros.

Se hace circular el agua del tanque a través del calentador por medio de las bombas. El agua caliente ingresa al tanque pasando por cuatro picos para fumigación que produciendo una lluvia de gotas muy chicas facilitan la evaporación. Una fracción del agua que entra se evapora y el resto se hace recircular.

Se hace vacío en el tanque a través de la salida de vapor, llegando a un equilibrio entre el vapor que fluye y la caída de temperatura.

Además del propósito específico de este generador que es proveer de vapor para que funcione el destilador, la instalación del mismo nos permitió adquirir experiencia con este tipo de evaporadores. Debimos hacer algunas modificaciones hasta lograr un funcionamiento aceptable, pero aún queda por hacer. Originalmente se había colocado una sola bomba para circular el agua, pero dejaba de ser efectiva al hacer vacío en el tanque debido a que producía cavitación por lo que hubo que agregar una bomba volumétrica. Se reemplazó también una ducha común que se había colocado a la entrada del tanque por picos para fumigación que producen una mejor rotura del agua.

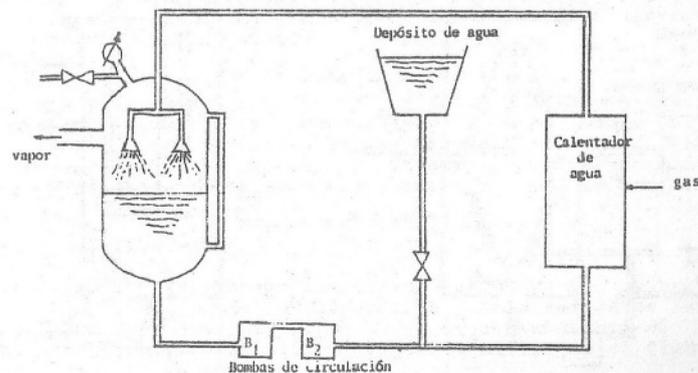


Fig. 2 - Esquema del generador de vapor

## II. El destilador rotativo.

Consta de dos discos de 0,25 m de diámetro soldados, que forman una cavidad abierta en un extremo y cerrada en el otro. El conjunto va montado sobre un eje dentro de una caja cerrada de modo que se pueda mantener a baja presión.

El vapor que se admite en la cavidad condensa sobre la superficie interna de la misma. Al hacerla girar la fuerza centrífuga arrastra el condensado hacia la periferia donde se recoge como agua producida por medio de tubos estacionarios.

Sobre la superficie exterior de la cavidad van montados cepillos radiales estacionarios a través de los cuales llega y se distribuye el agua a evaporar.

Un inconveniente que se plantea en el destilador es eliminar los gases no condensables de adentro de la cavidad y lograr que el vapor fluya desde el tanque de flash al interior de la cavidad.

Un primer intento para solucionar estos inconvenientes fué conectar el tubo de salida del agua producto a la bomba de vacío, pero no se consiguió hacer fluir el vapor, pensamos que esto se debe a la baja conductancia de los tubos.

En la figura 3 se da un esquema del destilador rotativo y del condensador.

## III. El condensador.

Es un intercambiador convencional que consta de:

- 1- un tanque de hierro de 0,22 m de diámetro y 0,30 m de alto pintado con epoxy con una superficie interna de 0,55 m<sup>2</sup>.
- 2- Una cañería refrigerada con agua de la red con 0,65 m<sup>2</sup> de superficie.

Al ser el mismo orden ambas superficies es de esperar que el vapor condense en ambas por igual.

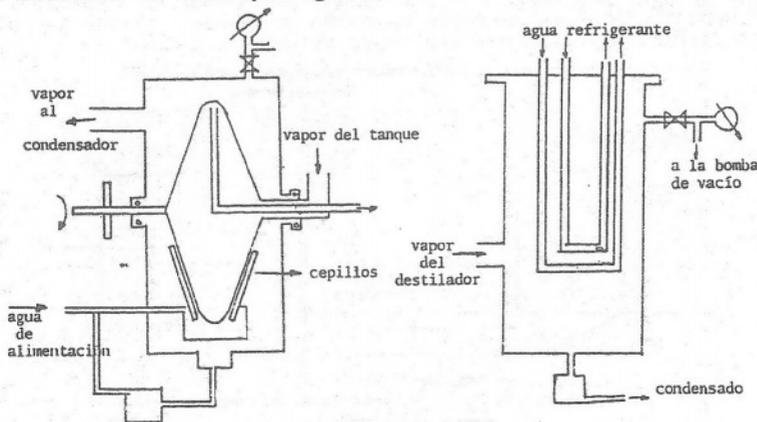


Fig. 3 - Esquema de detalles del destilador y el condensador

El caño de entrada de vapor está ubicado a 0,12 m de la base por lo que la capacidad para el condensado es de aproximadamente 4,5 litros. Esto limita el tiempo de ensayo.

En los ensayos la aspiración se hizo a través del condensador, al apagar la bomba todo el sistema quedaba a menos presión que esta, de modo que hubo que colocar una válvula de admisión de aire en el sistema para evitar que se contaminara el condensado con el agua de la bomba.

## IV. La bomba de vacío.

Es una bomba con anillo de agua, para evitar los problemas de contaminación mutua que traería una bomba sellada en aceite.

El problema es que la presión última que puede alcanzar la bomba es la presión de vapor del agua a la temperatura de la misma, por lo que es necesario evitar que se caliente con el vapor que no haya condensado en el condensador.

Posimos una camisa refrigerante en el caño de entrada a la bomba pero no fue suficiente, hay que renovar permanentemente el agua de la bomba.

La bomba está conectada a cada uno de los elementos a través de una válvula de estrangulación y un manómetro independientemente a fin de poder ensayar cada uno por separado.

## V. Medidas e instrumentos.

### (a). Temperaturas.

Se midió con termocuplas de cobre constatan entre (40-70) °C, se usó como cero una mezcla de hielo y agua, la f.e.m se midió con un voltímetro digital [Ap = 1 uV alcance = 20 mV]. Se tomó para la constante el valor 40 uV/°C, esto no introdujo un error apreciable ya que la dispersión de las medidas fue del orden de 1 °C.

En general se tomaron 5 valores a intervalos regulares durante el tiempo de ensayo que variamos entre (10-30) minutos.

### (b). Presión.

Se midió con manómetros de 20 torr de apreciación, durante los ensayos se mantuvo entre 180 y 220 torr, con una ligera diferencia entre el condensador y el tanque.

### (c). Volúmenes y Caudales.

Se usó una probeta de Ap = 20 cm<sup>3</sup>, alcance = 2000 cm<sup>3</sup> para medir el volumen de agua en el condensador y para medir el caudal refrigerante del mismo se usó un cronómetro de apreciación 0,1 seg. Se varió entre 8 y 12 litros/min. El volumen de agua evaporada en el tanque se calculó midiendo la altura inicial y final de agua en el mismo.

## Análisis de los resultados.

Después de los ensayos preliminares destinados a un ajuste inicial, se hizo una serie de 15 ensayos con la salida de vapor del tanque de flash conectada directamente al condensador con el fin de medir el flujo de recirculación de agua en el tanque de flash. Las variables medidas y su rango de variación son:

T<sub>en</sub> = temperatura de entrada al tanque de flash (55 - 70) °C

T<sub>ex</sub> = temperatura de salida del tanque de flash (55 - 65) °C

H<sub>i</sub>, H<sub>f</sub> = altura inicial y final de agua en el tanque 350-600 mm

$C_r$  = Caudal refrigerante en el condensador 8 - 10 litros/min.  
 $V_c$  = Volumen de agua condensada en el condensador 1,5 - 4,5 litros.  
 $t$  = tiempo de ensayo 10-30 minutos.

El flujo de masa del vapor generado,  $m_v$ , entre el tanque de flash y condensador se obtiene del descenso de altura ( $H_1 - H_2$ ) del agua en el tanque de flash. Si  $A$  es la sección del tanque y la  $\rho$  la densidad del agua

$$m_v = \rho A (H_1 - H_2)/t$$

Si  $h_{1v}$  es el calor de cambio de fase del agua, debe cumplirse

$$m_v h_{1v} = m_a C_p (T_{EF} - T_{SF})$$

ya que el calor de evaporación es entregado por el descenso de temperatura del flujo del agua que se evapora.

En los distintos ensayos se cambia  $m_v$  cerrando parcialmente la válvula de salida de vapor del tanque. Dado que  $m_a$  es aproximadamente constante, será :

$$m_v = C_p m_a / h_{1v} \Delta T = K \Delta T$$

Para los distintos ensayos, en la fig. 4 se muestran los resultados de  $m_v$  versus  $T$ , mostrando la bondad de la hipótesis y permitiendo tener un valor para  $K$ .

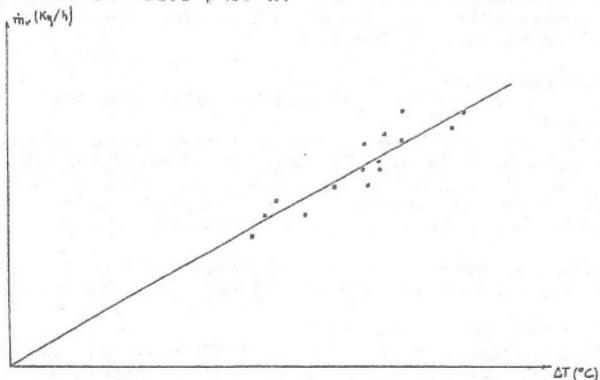


Fig. 4 valores medidos y recta de ajuste  $m_v = K \Delta T$ ,  $K = 0,55 \text{ kg/h}^\circ\text{C}$   
 $\Delta K = 0,04 \text{ kg/h}^\circ\text{C}$

#### CONCLUSIONES.

El trabajo realizado con el sistema de ensayo ha permitido su puesta a punto, suponiendo el funcionamiento del evaporador de flash y la línea de vacío. La caída de temperatura en el sistema de flash es aún muy grande y debe ser corregida instalando una nueva bomba de recirculación que aumente el flujo  $m_a$ . Las medidas realizadas han permitido obtener el valor actual de  $m_a$  con lo cual se podrá encarar la adquisición de una bomba adecuada.

Con la colocación de un circuito de refrigeración se mejoró el funcionamiento de la bomba de vacío, impidiendo su calentamiento con los vapores absorbidos. Aunque en esta etapa no se han aislado el tanque de flash y caños de conducción de vapor para facilitar la detección de pérdidas, habría que hacerlo en el futuro.

Por ahora no se ha logrado un buen funcionamiento del prototipo ensayado, es decir el sistema rotativo. No se ha logrado un buen flujo de vapor hacia el, lo que puede ser causado por dos razones:

a) falta de suficiente vacío dentro de los discos rotativos porque la bomba no desaloja los gases no condensables. Ello puede ser producido por entrada excesiva de aire a través de los sellos en el eje, o porque la entrada de la bomba de vacío tiene mucha pérdida de carga no permitiendo su accionar.

b) condensación insuficiente en las paredes por una mala distribución del agua de refrigeración.

Se está estudiando el problema para encontrar el real origen del mismo.

#### Referencias.

- 1 - Tleimat B.: The Use of the wiped-film rotating-disk evaporator in solar - powered distillation; Proceedings of the 2nd. SOLERAS workshop.
- 2 - Franco J. y Saravia L.: Diseño de un sistema de producción de agua potable utilizando una poza solar como fuente térmica.