

MEDIDAS DE VELOCIDAD DEL VAPOR DE AGUA EN EL INTERIOR DE UN DESTILADOR SOLAR TIPO BATEA.

Irene De Paul, Daniel Hoyos, Luis Saravia*
INENCO#

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta

TE: 87-255424

E-mail: depaul@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

La optimización del diseño de un destilador solar requiere del conocimiento de la rapidez con que se transfiere el vapor de agua desde la superficie líquida donde se produce la evaporación, hacia la cubierta de vidrio donde se produce la condensación. El primer paso en este sentido es determinar la velocidad con que se mueve el vapor de agua y las características particulares de la circulación en el interior del recinto. Empleando un módulo de un destilador solar a escala natural y un haz láser que permite visualizar el movimiento de las gotitas de vapor de agua en un plano en su interior, se pudo apreciar que en condiciones de funcionamiento normales el flujo es muy turbulento. Se desarrolló un método de medida que, por captura y procesamiento de imágenes, permite medir automáticamente el campo de velocidades en el plano iluminado. Se describe las características del método y se presentan los resultados obtenidos.

DESCRIPCION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL

Se construyó un módulo de destilador tipo batea a escala real, en latón de 1.36 m de largo, 1.16 de ancho, con techo de vidrio flotado a dos aguas, de 0.80 m de altura en la cúspide y 0.17 m de alto en las paredes laterales (figura 1). Las paredes están aisladas con poliestireno expandido de 0.03 m de espesor. La pared anterior es de vidrio en el que se realizó una abertura que permite introducir un sensor para medir la temperatura del agua o realizar observaciones directas del vapor de agua; esta abertura está normalmente tapada con poliestireno.

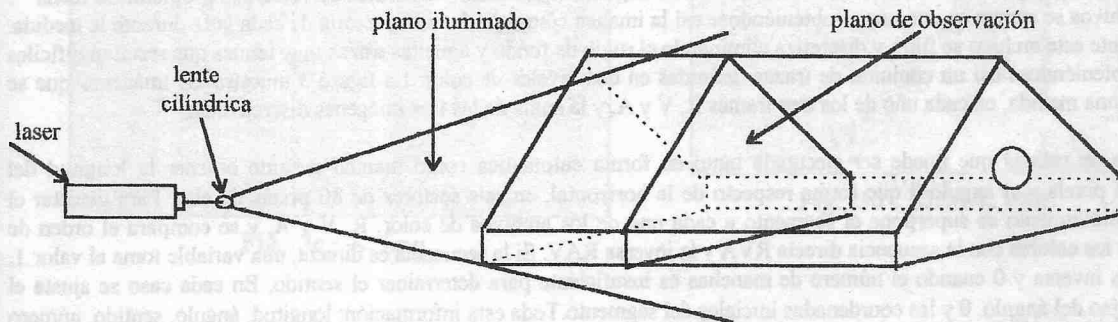


Figura 1: esquema del destilador y del dispositivo de medida.

Con una bomba se hace circular en la batea agua termostata a una temperatura de 50 °C a 60 °C, que es el rango de valores que se obtienen en funcionamiento normal, con temperatura ambiente entre 15 °C y 20 °C.

El agua condensada sobre cada uno de los vidrios del techo se recoge en sendos recipientes, lo que permite analizar si la producción es simétrica. La Tabla 1 muestra valores típicos de producción de destilado.

mayo 16	T (°C)		Destilado en cm ³		
hora	T amb	T agua	izquierdo	derecho	total
8.35	19	22.8	0	0	0
9.35	19	33.2	25	25	50
10.3	19	41.6	100	80	180
11.35	19	48.3	140	150	290
15.1	21	57.9	910	950	1860
16.05	21	57.3	260	270	530
18.05	21	57.8	640	640	1280
9	19	22	600	640	1240
Total			2675	2755	5430

Tabla 1: producción típica del destilador

Con un láser de 2 W de potencia y una lente cilíndrica se genera un plano iluminado vertical que incide perpendicularmente sobre la cubierta y una de las paredes laterales del destilador (fig. 1). La potencia del haz es suficiente para visualizar a simple

* Investigador del CONICET

Instituto UNSa - CONICET

vista las gotitas de vapor de agua que son arrastradas en el movimiento convectivo. Para realizar la captura de imágenes se empleó una cámara de video con zoom y sensibilidad de 1 lux, conectada a una computadora con una tarjeta ITEX MFG para captura y procesamiento de imágenes. Cada imagen se registra en 8 bits en uno de los tres frames de color RGB, con una velocidad de 128 ms. La pantalla del monitor se trabaja en una resolución de 512 por 480 pixels.

DESCRIPCION DEL METODO DE MEDIDA

El método que se emplea para medir automáticamente la velocidad de las gotitas de vapor de agua en el plano iluminado consiste en hacer una secuencia de seis registros a intervalos regulares cuya duración se puede fijar por teclado. Cada uno de estos registros es realizado en un frame diferente, siguiendo la secuencia rojo (R), verde (V) y azul (A). Esto genera un archivo imagen que consiste en un conjunto de trazas de colores que representan las trayectorias seguidas por las gotitas que convectan en el plano.

El módulo de la velocidad se calcula dividiendo la longitud de cada traza por el tiempo que emplea la computadora en realizar los registros. El sentido del movimiento se determina detectando la secuencia de colores que se presenta en cada traza: RVA, indica sentido directo; RAV indica sentido inverso. Todas estas operaciones se realizan automáticamente por software, quedando la opción de realizarlas manualmente en aquellos casos en que el campo de velocidades sea muy inhomogéneo, donde el conjunto de trazas registradas resulte inconexo.

DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE CAPTURA Y PROCESAMIENTO DE IMAGENES

El programa fue desarrollado en lenguaje C y se ejecuta en dos etapas [1 , 2, 3]. Durante la primera se realiza la captura de seis imágenes secuenciales a través de la cámara de video, a intervalos que pueden ser fijados por el operador. El intervalo mínimo de registro entre cada imagen es de 128 ms. Cada uno de los registros se realiza en un frame distinto siguiendo la secuencia RVARVA, por lo que la trayectoria de una gota de vapor que se mueva durante el intervalo medido consiste en un conjunto de seis manchas, dos de cada color, desplazadas en el espacio. Las imágenes capturadas en cada frame se guardan en tres archivos separados, R.img, V.img y A.img.

Durante la segunda parte se realiza el procesamiento de las imágenes registradas y la medida de velocidad propiamente dicha. Los tres archivos se suman en uno nuevo obteniéndose así la imagen completa de la trayectoria de cada gota durante la medida. Posteriormente este archivo se filtra y discretiza eliminando el ruido de fondo y aquellas trazas muy tenues que resultan difíciles de medir, obteniéndose así un conjunto de trazas definidas en dos niveles de color. La figura 3 muestra las imágenes que se obtienen en una medida, en cada uno de los tres frames R, V y A, y la suma de las tres imágenes discretizadas.

Un conjunto de rutinas que puede ser ejecutada tanto en forma automática como manual permite obtener la longitud del segmento en pixels y el ángulo θ que forma respecto de la horizontal, en seis sectores de 80 pixels de alto. Para detectar el sentido del movimiento se superpone el segmento a cada uno de los archivos de color, R, V y A, y se compara el orden de aparición de los colores con la secuencia directa RVA y la inversa RAV. Si la secuencia es directa, una variable toma el valor 1, -1 cuando es inversa y 0 cuando el número de manchas es insuficiente para determinar el sentido. En cada caso se ajusta el valor y el signo del ángulo θ y las coordenadas iniciales del segmento. Toda esta información: longitud, ángulo, sentido, número de manchas y coordenadas de los baricentros es guardada en un archivo ascii.

Para calcular la velocidad se introduce un factor de escala que permite transformar la longitud del segmento medida en pixels, a centímetros; ésto se realiza manualmente dado que depende de la magnificación con que se tomó la imagen, midiendo la distancia entre dos posiciones de referencia fijadas sobre la cubierta del destilador. En el cálculo del intervalo de tiempo asociado a cada traza se tiene en cuenta el número de manchas que la determinan y el intervalo entre cada imagen capturada que, como señalamos anteriormente, lo determina el operador. También es necesario introducir un factor de corrección asociado al ángulo que forma la dirección de observación desde la cámara respecto de la normal al plano iluminado.

MEDIDAS REALIZADAS

Como el plano iluminado es muy grande para tomar las imágenes con suficiente resolución, se colocaron sobre la cubierta de vidrio una serie de marcas que permiten dividir el campo en tres zonas, 1, 2 y L, y cada una de ellas en seis subzonas A, B, C, D, E, F y G. (Figura 4). La longitud de estas marcas permite introducir el factor de escala para transformar la longitud de las trazas medidas en pixels a centímetros.

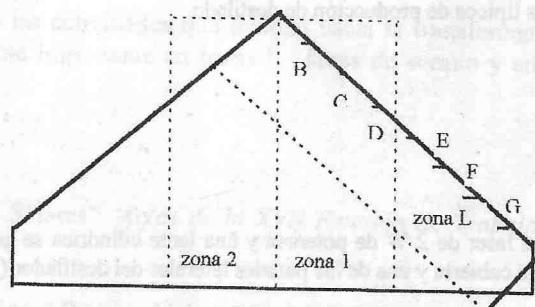


Figura 4: zonas y subzonas de medida

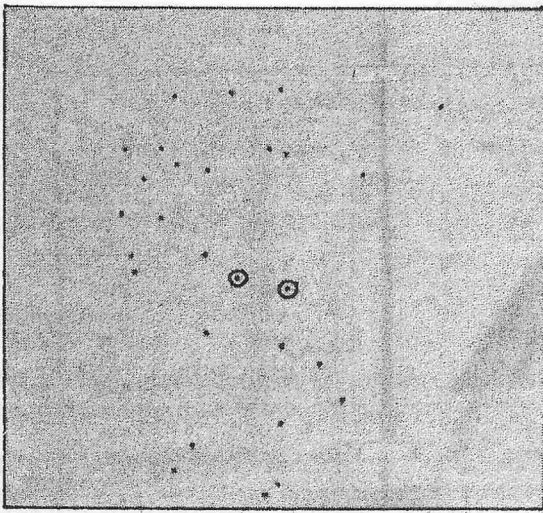


Fig. 3a : R. img

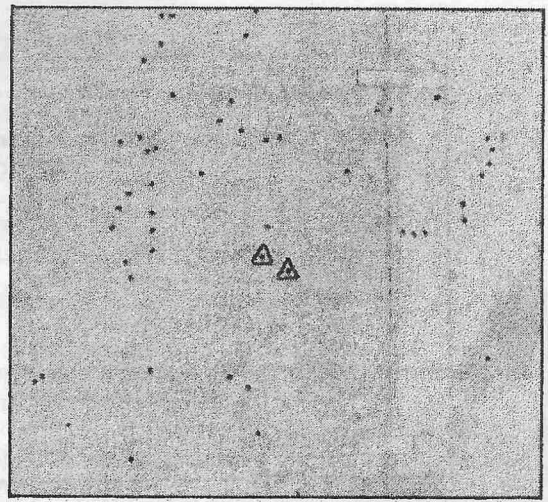


Fig. 3b : V. img

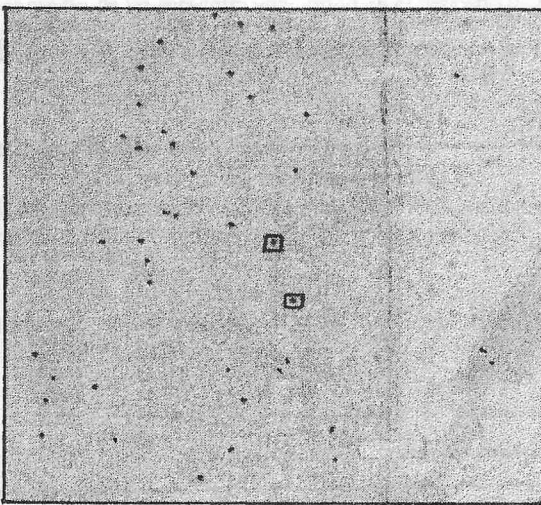


Fig. 3c : A. img

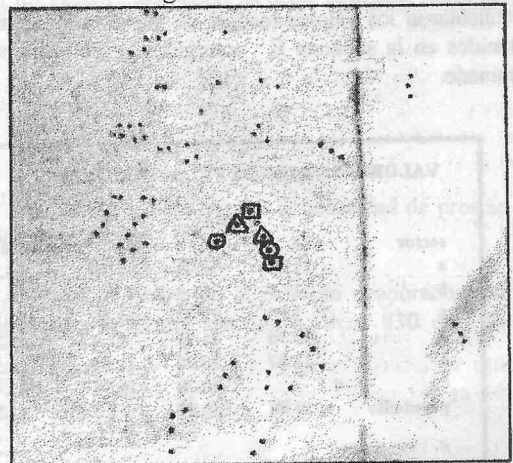


Fig. 3d : SUMA. img

Figura 3: muestra las imágenes que se obtienen en una medida, en cada uno de los frames R, V, A, y la suma de las tres imágenes. A los efectos de distinguir las manchas que determinan una traza en una impresión en blanco y negro, se identificaron con distinto símbolo las manchas correspondientes a cada frame: rojo: \circ , verde: Δ y azul: \square .

Se realizó una medida con la temperatura del agua a 55 °C que mostró un flujo muy turbulento, en el que el vapor que asciende a lo largo de las paredes alcanza poca altura antes de ser dominado por el flujo que desciende a lo largo del techo [4]. Las gotas de vapor, no permanecen en el plano iluminado el tiempo suficiente para realizar tres registros sucesivos R, V, A, de una misma gota, condición necesaria para poder determinar el sentido del movimiento, por lo que la información que se obtuvo automáticamente consiste principalmente en los módulos del vector velocidad.

Posteriormente se realizó otra medida con la temperatura del agua a 30 °C, observándose que, si bien el flujo es turbulento, se presenta mucho más ordenado que en el caso anterior, observándose muchas trazas formadas por los seis registros tomados por la computadora, lo que indica que el movimiento del vapor que convecta es más bidimensional. Las velocidades que se obtienen en ambos casos son lo suficientemente grandes como para que el conjunto de trazas asociadas al movimiento de una gota resulte inconexo, por lo que fue necesario completar la información realizando medidas en forma manual. La Tabla 2 muestra algunos de los valores obtenidos por cálculo automático.

