

CARACTERÍSTICAS CAÓTICAS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN DESTILADOR

I. De Paul, M. A. Perales, I. Ramos, J. Quintana, C. González, S. Gündel, B. Ramos
 Facultad de Ciencias Exactas – Universidad Nacional de Salta – Av. Bolivia 5150 C.P. 4400 Salta
 Tel. 0387-4255389 – Fax 0387-4255449 e-mail: depaul@unsa.edu.ar

RESUMEN. En trabajos anteriores se mostró que el funcionamiento de un destilador sometido a calentamiento según el ciclo solar presentaba valores anormalmente altos del coeficiente de transferencia térmica h lo que sugería un funcionamiento de tipo caótico. Esto planteó la necesidad de profundizar el conocimiento de esta característica para optimizar el funcionamiento de dispositivos solares. Con este objetivo se realizaron medidas sobre un destilador en laboratorio con alta frecuencia de muestreo para poner en evidencia, eventualmente, características caóticas. Los resultados permiten identificar frecuencias características en el espectro de Fourier de h y del destilado, analizar la tasa de crecimiento e identificar la presencia de un atractor caótico en el espacio de representación.

Palabras clave: Destilación, coeficiente h , caos, optimización del funcionamiento.

INTRODUCCION

En las actuales circunstancias en que los recursos energéticos convencionales son cada día más escasos y por lo tanto más caros, la optimización del uso desde el punto de vista energético de los dispositivos que se emplean normalmente se plantea como una necesidad urgente. Este objetivo requiere el conocimiento profundo de las características de funcionamiento de dichos dispositivos. En experiencias previas [De Paul 2000, De Paul 2001a, De Paul 2001b, De Paul y Quintana 2003, De Paul y Quintana 2004] se mostró que ante determinadas condiciones de funcionamiento el coeficiente de transferencia térmica convectivo h en el interior de un destilador alcanzaba valores excepcionalmente altos, proponiéndose que el origen de esos valores era un comportamiento caótico del destilador y que esta característica podría aplicarse a otros dispositivos solares, permitiendo aumentar significativamente la transferencia térmica. Dentro de este marco el ensayo del destilador en laboratorio se presentaba como un buen elemento para comenzar a identificar el funcionamiento caótico de sistemas térmicos procurando optimizar su funcionamiento

Los fenómenos caóticos se encuentran presentes en muchas disciplinas y son objeto de estudios profundos debido a la importancia que implica el poder controlarlos. La biología, la ecología, la meteorología, la economía, la geología, la sociología y la dinámica de fluidos entre otras, son algunas de las disciplinas que tratan con fenómenos caóticos [Baker, y Gollub 1990; Boccaletti, y otros 2004; Brittingham, y otros 1995; Manneville 2004; Mladin y Zumbunnen 1994; Vasseur y otros 1987; Zumbunnen y Aziz 1993]. En el caso particular del destilador solar, una de las etapas más importantes de su funcionamiento es la transferencia convectiva de calor y masa desde la superficie del agua salada calentada por el sol hasta la cubierta de vidrio donde se produce la condensación. La convección natural es un fenómeno no lineal, tridimensional [Manneville 2004] por lo que es de esperar que presente un comportamiento caótico cuyas características es necesario identificar [De Paul 2000; De Paul y Quintana 2003, De Paul y Quintana 2004]. Con este objetivo se realizaron medidas sobre un destilador en laboratorio con alta frecuencia de muestreo para poner de manifiesto eventuales características que permitieran caracterizar el fenómeno caótico. Los resultados permitieron identificar frecuencias características en el espectro de Fourier de h y del destilado, analizar la tasa de crecimiento e identificar el atractor correspondiente en el espacio de representación.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

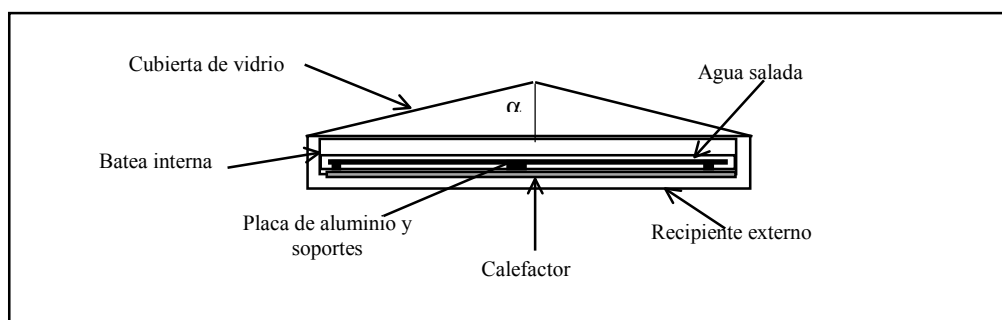


Figura 1. Esquema del destilador empleado en laboratorio.

El dispositivo experimental empleado se muestra en la figura 1, y consiste en un módulo de destilador, en latón de 1.36 m de largo, 1.16 m de ancho, con cubierta de vidrio flotado a dos aguas con una pendiente de 45°. Las paredes están aisladas con poliestireno expandido de 0.03 m de espesor. Las paredes anterior y posterior son de vidrio de 0.004 m de espesor; en la

anterior se realizó una abertura que permite introducir un sensor para medir la temperatura del agua; esta abertura está normalmente tapada con poliestireno. La base del destilador es un recipiente doble: la batea que contiene el agua para destilar, encerrada en un recipiente que contiene un conjunto de resistencias eléctricas que permiten calentar el agua simulando el calentamiento solar.

Se midió la temperatura del agua, del ambiente y de las caras interna y externa de la cubierta de vidrio con termocuplas y un sistema de adquisición de datos Omega. Las termocuplas y el sistema de adquisición de datos fueron calibrados con un bloque calibrador TECHNE 2000 cuya temperatura fue controlada con un termómetro patrón de 0.1 °C de apreciación; el error en la medida de temperatura varía entre 0.2°C y 0.3 °C dependiendo del canal. El volumen de agua destilado se midió en vasos graduados con una precisión de 10^{-6} m^3 y $2 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. El calentamiento se realizó manualmente empleando un autotransformador con el que se suministró corriente variable a las resistencias del calefactor, que permitió reproducir con suficiente precisión las características generales del calentamiento en un destilador colocado a la intemperie, en condiciones de radiación de cielo claro, en invierno, en Salta [Esteban y otros, 2001]. El periodo de muestreo de las temperaturas fue de cinco minutos mientras que el destilado se midió manualmente cada diez minutos.

Se realizaron seis series de medidas de 4 a 5 días consecutivos cada una, en las que la temperatura se midió cada 5 minutos en cada serie y el destilado se midió desde el momento que comenzaba a producirse, alrededor de la 10:30 hs de la mañana hasta las 19:30 hs, hora en la que se cortaba el calentamiento. A las 8:00 hs del día siguiente se recogió el destilado nocturno y, haciendo uso de resultados previos [Esteban y otros, 2001], se interpoló el destilado horario durante la noche. En total se realizaron 1375 medidas del destilado y 7200 medidas de temperatura.

Sobre una de las cubiertas de vidrio se colocaron termocuplas enfrentadas, una en la cara interna y otra en la cara externa del vidrio lo que permitió medir el calor que pasa por conducción y calcular el coeficiente de transferencia térmica convectiva h en el interior del destilador con la siguiente expresión, siendo k y e la conductividad térmica y el espesor del vidrio respectivamente y T_{vapor} la temperatura del medio encerrado en el interior del destilador [De Paul 2000; De Paul, 2002].

$$h = \left(\frac{k}{e} \right) \frac{(T_{\text{interna}} - T_{\text{externa}})}{(T_{\text{vapor}} - T_{\text{interna}})} \quad (1)$$

RESULTADOS EXPERIMENTALES

La Tabla 1 muestra un resumen de las medidas realizadas mientras que las figuras 2 y 3 muestran el comportamiento térmico típico de una serie de medidas.

Resumen de medidas		Tagua	Tambiente	h W/m ² °C
Serie 1	promedio	39,0	25,7	-7,3
	maximo	69,0	29,2	152,2
	minimo	25,0	21,2	-955,2
Serie 2	promedio	33,3	23,8	-47,1
	maximo	65,7	27,1	155,1
	minimo	22,9	22,1	-2328,8
Serie 3	promedio	33,7	19,6	10,6
	maximo	62,2	21,8	79,2
	minimo	18,5	17,9	-522,5
Serie 4	promedio	35,7	21,9	4,7
	maximo	64,3	23,7	817,4
	minimo	19,9	19,7	-1690,7
Serie 5	promedio	32,3	18,0	17,4
	maximo	60,1	22,8	3122,2
	minimo	17,5	16,6	-629,5
Serie 6	promedio	32,8	18,2	25,1
	maximo	60,3	20,2	7251,2
	minimo	16,3	16,2	-1028,1
	promedio	34,5	21,2	0,6
	maximo	63,6	24,1	1929,6
	minimo	20,0	19,0	-1192,5

Tabla 1. Resumen de medidas

La figura 4 muestra los valores de h obtenidos a partir de la expresión (1). Los valores positivos corresponden al funcionamiento diurno; normalmente se asignaba al funcionamiento nocturno un valor despreciable debido a que el agua salada alcanzaba equilibrio con la temperatura ambiente. En este trabajo se tiene en cuenta todos los valores de h que resultan de las temperaturas medidas.

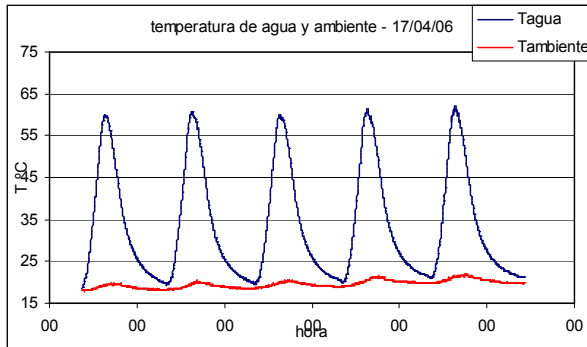


Figura 2. Temperatura del agua y ambiente.

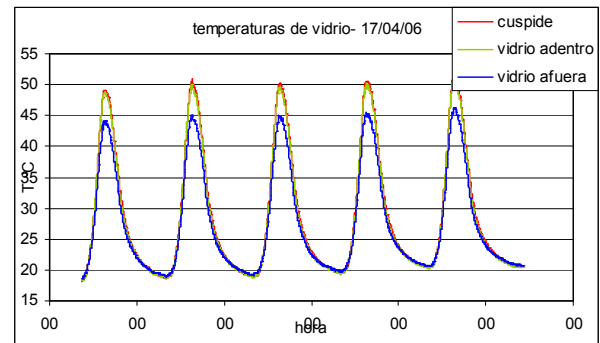


Figura 3. Temperaturas medidas en la cubierta.

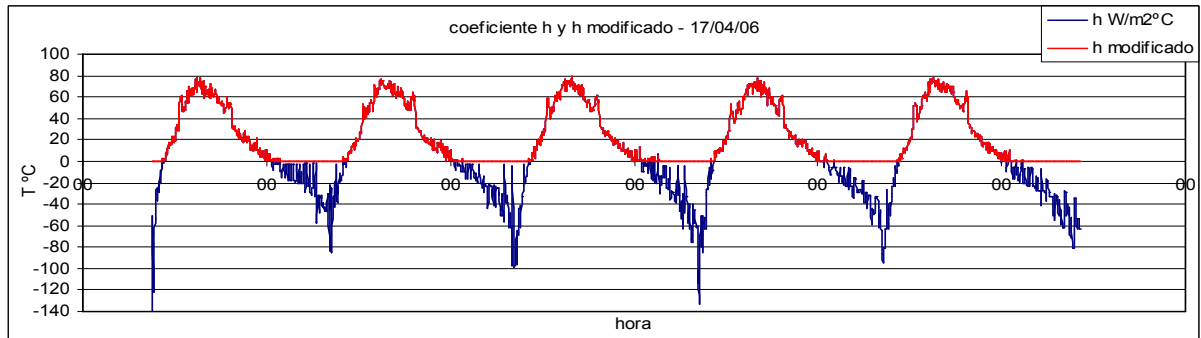


Figura 4. Coeficiente de transferencia térmica h en el destilador.

APROXIMACIÓN EMPÍRICA A LA IDENTIFICACIÓN DEL CAOS

La posibilidad de detectar un comportamiento caótico a partir de resultados experimentales no es simple debido a la complejidad de los sistemas en consideración. En el caso de la convección, depende no sólo de la naturaleza del fluido en convección sino también de la configuración experimental y en algunos casos de la historia misma de la experiencia [Manneville, 2004; Boccaletti, y otros, 2004]. El espacio de las fases de un sistema convectivo es en general complejo y mal conocido, por lo que se suele representar la dinámica del mismo en un “*espacio de reconstrucción*” definido adecuadamente. Este método permite describir empíricamente la evolución temporal, medir el grado de caos eventual presente y desarrollar técnicas de control adaptadas al sistema estudiado a partir únicamente de los registros experimentales.

Los datos medidos se representan esencialmente bajo la forma de series temporales de un observable, muestreadas en tiempos discretos $W_k = W(t_k)$, donde $t_k = k\tau$ siendo $1/\tau$ la frecuencia de muestreo. El primer paso es la inspección visual de la señal medida que muestra si hay características recurrentes o intermitentes que sugieran un comportamiento caótico. Las periodicidades presentes en una señal se ponen de manifiesto objetivamente por medio del análisis de Fourier.

El método empleado generalmente para conocer la dinámica del sistema se basa en el “*método del retardo*” propuesto por Ruelle y Takens [Takens 1981] que consiste en analizar la evolución del sistema a partir solamente de la representación de los valores medidos $W_{k+\kappa}$ en función de W_k , siendo κ el retardo en el observable W (espacio de reconstrucción). La trayectoria del sistema en el espacio de reconstrucción es equivalente a la trayectoria que le corresponde en el espacio de las fases. El conocimiento del valor de κ óptimo permite determinar la frecuencia efectiva de muestreo y evitar tener un número excesivo de datos para manejar.

Una de las características de los sistemas caóticos es su fuerte sensibilidad a las condiciones iniciales. Esto significa que si bien el estado del sistema en un instante particular t_k determina el estado en un instante posterior $t_{k+\kappa}$, cualquier fluctuación en las condiciones del mismo es amplificada y al cabo de pocos pasos de tiempo la dinámica del sistema no tiene memoria de las condiciones iniciales. En general y para pequeñas perturbaciones se puede escribir en primera aproximación la evolución de un observable W de la siguiente manera:

$$\frac{dW}{dt} = \Sigma W \quad (2)$$

siendo Σ la tasa de crecimiento de W , en general función del parámetro de control r , que en el caso de la convección natural puede expresarse en función del número de Rayleigh Ra y el valor crítico correspondiente Ra_c :

$$r = \frac{Ra - Ra_c}{Ra_c} \quad (3)$$

Si \mathcal{L} es negativa indica la presencia de modos estables en la perturbación y una amortiguación de la misma, mientras que valores positivos significan que en las fluctuaciones se establecen modos inestables que amplifican la perturbación y conducen al establecimiento de un régimen caótico.

En el presente trabajo se analizan estos aspectos a partir de las medidas realizadas de destilado y del coeficiente de transferencia térmica h . Si bien el análisis no es exhaustivo permite tener por primera vez una aproximación al comportamiento caótico de un destilador.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Un gráfico elaborado por Krishnamurti [Krishnamurti, 1973] que es una compilación de resultados experimentales permite, por medio de la representación del $\log_{10}(Ra)$ en función del $\log_{10}(Pr)$, donde Pr es el número de Prandtl, establecer las características globales de la convección y la transición hacia la turbulencia a partir de una cascada de bifurcaciones (Figura 5). De acuerdo a los valores medidos las experiencias realizadas se ubican en un régimen de convección turbulenta u oscilante en 3D, lo que está de acuerdo con lo observado en experiencias de visualización de flujos [De Paul, 2000; De Paul, 2002].

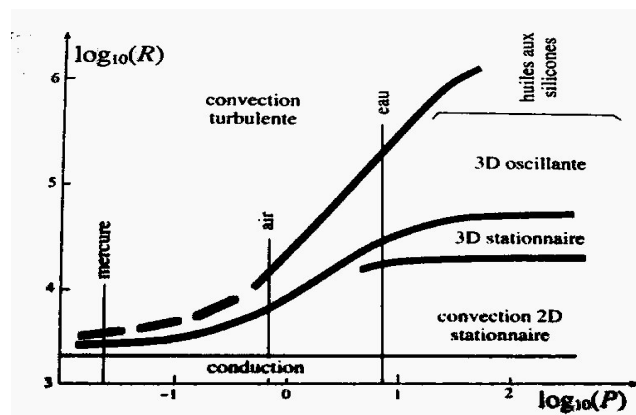


Figura 5. Caracterización de la convección según Krishnamurti.

Las Figuras 6 y 7 muestran el espectro de Fourier de h y del destilado para dos series de medidas. Se observa un espectro donde predominan las frecuencias bajas con contribuciones armónicas de orden superior.

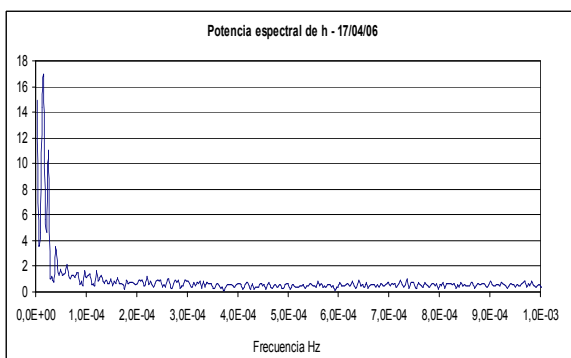


Figura 6. Espectro de Fourier de h .

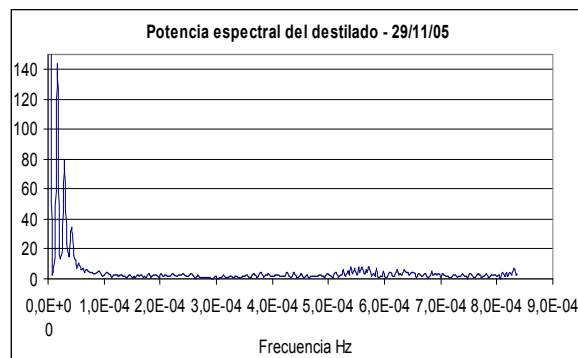


Figura 7. Espectro de Fourier del destilado.

La Tabla 2 muestra las frecuencias correspondientes a los máximos en el espectro de Fourier del destilado. La Tabla 3 muestra las frecuencias más bajas correspondientes a los máximos del espectro de Fourier de h , habiéndose encontrado máximos relativos hasta la armónica n° 16 de la frecuencia fundamental. La Tabla 4 compara las frecuencias encontradas en ambas variables, destacándose el hecho de que hay frecuencias comunes, múltiplos de la fundamental, asociada a un periodo de 10hs 40' 12".

Frecuencias de destilado y periodo asociado nº de ocurrencia en 25 días de medida		
frecuencia	periodo hr	nº
2,604E-05	10,667	0
5,208E-05	5,333	0
7,813E-05	3,556	0
1,042E-04	2,667	12
1,302E-04	2,133	1
1,563E-04	1,778	13
1,823E-04	1,524	3
2,083E-04	1,333	10
2,344E-04	1,185	5
2,604E-04	1,067	10
2,865E-04	0,970	9
3,125E-04	0,889	8
3,385E-04	0,821	6
3,646E-04	0,762	10
3,906E-04	0,711	9
4,167E-04	0,667	6
4,427E-04	0,627	10
4,688E-04	0,593	8
4,948E-04	0,561	9
5,208E-04	0,533	4
5,469E-04	0,508	2
5,729E-04	0,485	13
5,990E-04	0,464	10
6,250E-04	0,444	3
6,510E-04	0,427	5
6,771E-04	0,410	8
7,031E-04	0,395	11
7,292E-04	0,381	4
7,552E-04	0,368	6
7,813E-04	0,356	9
8,073E-04	0,344	7
8,333E-04	0,333	7
8,594E-04	0,323	0

Tabla 2. Frecuencias de destilado

Frecuencias más bajas encontradas en el espectro de Fourier de h y periodos asociados		
nº de orden	frecuencia	Periodo
4	1,302E-05	21,333
5	1,628E-05	17,067
17	5,534E-05	5,020
18	5,859E-05	4,741
19	6,185E-05	4,491

Tabla 3. Frecuencias más bajas

Frecuencia y periodos comunes en los espectros de Fourier de h y del destilado			
nº de orden	frecuencia	h periodo hr	destilado periodo hr
4	1,302E-05	21,333	
5	1,628E-05	17,067	
8	2,604E-05	10,667	10,667
12	3,906E-05	7,111	
15	4,883E-05	5,689	
16	5,208E-05	5,333	5,333
17	5,534E-05	5,020	3,556
18	5,859E-05	4,741	2,667
19	6,185E-05	4,491	
30	9,766E-05	2,844	
32	1,042E-04	2,370	
34	1,107E-04	2,133	2,133
36	1,172E-04	1,984	
39	1,270E-04	1,778	1,778
40	1,302E-04	1,707	1,524
51	1,660E-04	1,673	1,333
54	1,758E-04	1,580	
60	1,953E-04	1,255	
62	2,018E-04	1,185	1,185
64	2,083E-04	1,123	
66	2,148E-04	1,067	1,067
68	2,214E-04	1,028	
69	2,246E-04	1,004	
72	2,344E-04	0,959	
73	2,376E-04	0,948	
76	2,474E-04	0,918	
78	2,539E-04	0,898	
79	2,572E-04	0,889	0,889

Tabla 4. Comparación de frecuencias

La Figura 8 (a) muestra la tasa de crecimiento de h en función del tiempo mostrando valores oscilantes. La Figura 8 (b) es un detalle de la anterior que muestra que entre la hora 2 y la 6 Σh realiza oscilaciones de amplitud creciente; súbitamente toma valores prácticamente nulos y a partir de las 8 hs comienza nuevamente a oscilar. Esto estaría indicando una transición desde un estado caótico a otro cuasiestable en el intervalo analizado. Este comportamiento se encontró en todas las series de medidas realizadas y se puso de manifiesto al realizar el análisis de Fourier de Σh .

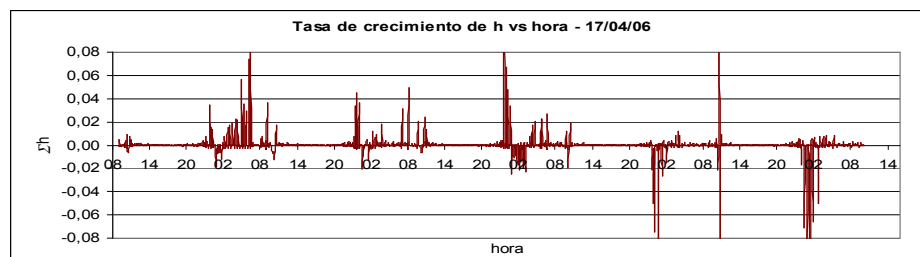


Figura 8 a. Tasa de crecimiento de h vs hora.

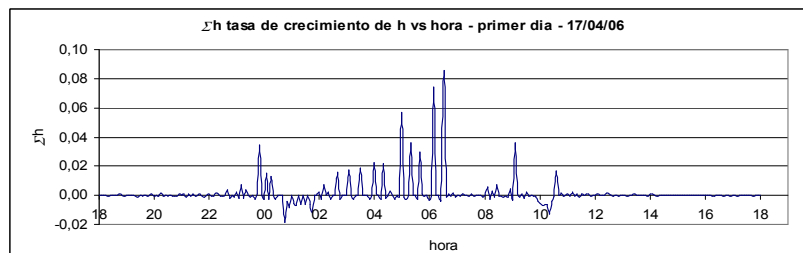


Figura 8 b. Detalle de la tasa de crecimiento de h.

Dado que la producción de un destilador está determinada fundamentalmente por la temperatura que alcanza el agua en la batea se trazó la trayectoria del sistema en el espacio de reconstrucción a partir de dos observables: la temperatura del agua

Tagua y el coeficiente h . Las Figuras 9 a, b y c muestran la trayectoria para Tagua con retardos de 25, 45 y 90 minutos poniendo de manifiesto que el retardo optimo se encuentra alrededor de $q = 50$. Todas presentan un carácter oscilante pero están circunscriptas a una región definida del espacio de representación lo que sugiere la presencia de un atractor.

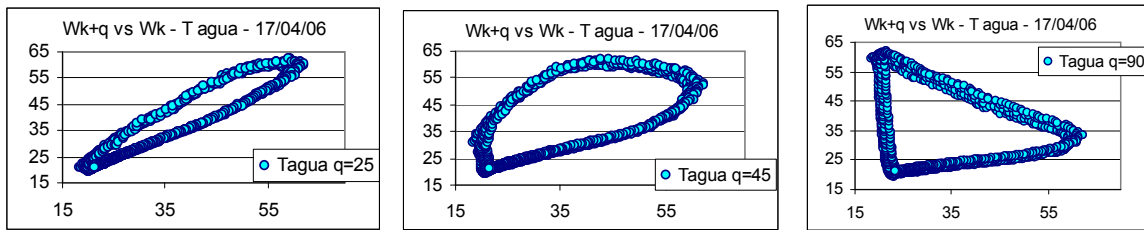


Figura 9. (a): Retardo = 25 min (b): Retardo = 45 min (c): Retardo = 90 min

La trayectoria para h en el espacio de reconstrucción muestra un aspecto más complejo como se puede apreciar en las Figuras 10 a, b y c, que corresponden a retardos de 10, 35 y 90 minutos respectivamente.

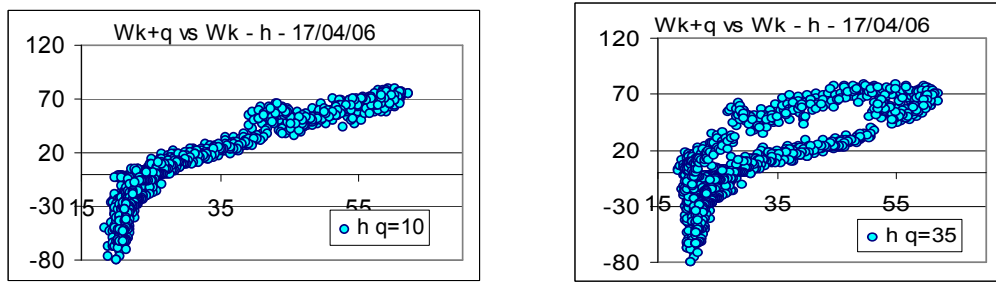


Figura 10. (a): Retardo = 10 min (b): Retardo = 35 min

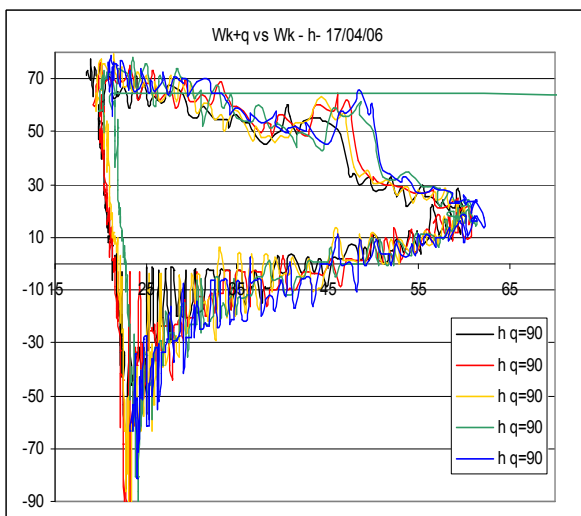


Figura 10. (c): Retardo = 90 min

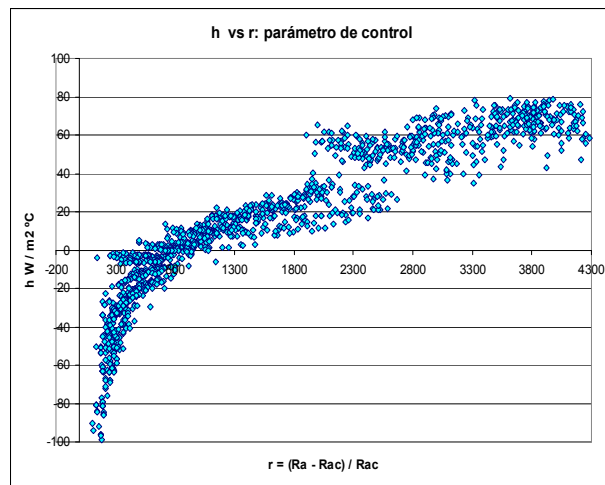


Figura 11. h en función del parámetro de control.

La Figura 10c realizada con trazo continuo pone en evidencia que el sistema oscila rápidamente entre distintos estados, situación que corresponde a la presencia de bifurcaciones en sistemas caóticos. La figura 11 en la que se representa el coeficiente h en función del parámetro de control r confirma esta situación.

CONCLUSIONES

Las medidas realizadas permitieron determinar el espectro de frecuencias que componen las series temporales de medidas del destilado y del coeficiente de transferencia térmica h en el destilador, mostrando que está dominado por un conjunto reducido de frecuencias bajas. Tanto el destilado como h presentan frecuencias comunes múltiplos de una fundamental asociada a un periodo de $10h 40' 12''$.

La tasa de crecimiento de h muestra un comportamiento oscilatorio en el que toma valores positivos y negativos, con intervalos de crecimiento sostenido seguidos de una brusca disminución a valores casi nulos.

Las trayectorias en el espacio de representación para Tagua presentan un carácter oscilante pero están circunscriptas a una región definida del espacio lo que sugiere la presencia de un atractor.

Las trayectorias en el espacio de representación para h son más complejas; presentan oscilaciones muy marcadas entre estados próximos en determinadas regiones, lo que sugiere la presencia de bifurcaciones. La representación de h en función

del parámetro de control confirma esta observación. La estructura de órbitas acotadas también sugiere la presencia de un atractor.

Estos análisis confirman el comportamiento caótico en el funcionamiento del destilador pero todavía son insuficientes para establecer criterios de control que permitan optimizar su funcionamiento haciendo uso de las características caóticas.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Baker, G. L., Gollub, J. P. (1990). Chaotic dynamics, an introduction. Cambridge University Press.
- Boccaletti, S., Gluckman, B. J., Kurths, J., Pecora, L. M., Meucci, R., Yordanov, O. Ed. (2004). Experimental Chaos. 8th. Experimental Chaos Conference - Italy, 2004. American Institute of Physics Conference Proceedings Vol 742. Melville, New York.
- Brittingham, R.A., Mladin, E.C., Zumbrunnen, D.A. (1995). Heat transfer transients in stagnation flows due to changes in flow velocity. *Journal of Thermophysics and heat transfer*, **10**, 1, 186-189,
- Burmeister, L. C. (1983). Convective heat transfer. J. Wiley & Sons. Kansas. EE. UU.
- Chikhaoui, A. Marcillat, J. F. y Sani, R. L., (1988). Successive transitions in thermal convection within a vertical enclosure. *Natural Convection in Enclosures*, ASME, HTD – **Vol 99**, 29.
- Close, D. J. Peck, M. K., White, R. F. y Wong, P. H., (1988). Natural convection heat transfer rates and flow patterns in a cavity filled with a gas vapour mixture. *Natural Convection in Enclosures*, ASME, HTD – **Vol 99**, 23.
- De Paul, I. (2000). Estudio experimental de la transferencia de energía por convección natural en recintos cerrados empleando modelos a varias escalas. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas, UNSa.
- De Paul, I. (2001)a. Comparación del comportamiento térmico y producción de destiladores con distinta pendiente en las cubiertas en estado estacionario. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 5**, versión CD, pp.03.01-03.6.
- De Paul, I. (2001)b. Comportamiento de un destilador tipo batea con pendiente alta en las cubiertas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 5**, versión CD, pp.03.07-03.12.
- De Paul, I., Hoyos, D. (1999). Comportamiento fluidodinámico de un destilador solar tipo batea con cubierta a dos aguas. *Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 6**, pp.27-36.
- De Paul. (2002). A new model of a basin-type solar still. *Journal of Solar Energy Engineering*. **Vol. 124**, 3, pp: 311-314. ISSN 0199-6231
- De Paul, J. M. Quintana. (2002). Características del funcionamiento no estacionario de un destilador solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 6**, versión CD, pp.02.07-02.12. ISSN. 0329-5184.
- De Paul, J. M. Quintana. (2004). Peculiaridades del funcionamiento no estacionario de un destilador solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 8**, versión CD, pp.03.01-03.06. ISSN. 0329-5184.
- Del Campo, E. M., Sen, M., Ramos, E. (1988). Analysis of laminar natural convection in a triangle enclosure. *Numerical Heat Transfer*, **13**, pp: 353-372.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. (1980). *Solar Engineering of Thermal Processes*, J. Wiley and Sons.
- Dunkle, R. V., *Solar Water Distillation: the roof type Still and a Multiple Effect Still*, Int. Development in Heat transfer, Conference at Denver, **Part 5**, 895, (1961).
- Esteban, S., Vilte, M., De Paul, I., Hoyos, E. (2001). Comparación de resultados en destiladores con distintas pendientes : medidas de campo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 5**, versión CD, pp.02.37-02.41.
- Isachenko, V., Osipova, V., Sukomel, A. (1974). *Heat transfer*. Mir Publishers. Moscú.
- Krishnamurti, R. (1973). Some further studies on the transition to turbulent convection. *J. Fluid Mech.* **60**, p: 285.
- Mac Adams, W. H. (1978). *Transmisión de calor*, 3^a. Edición. Mc Graw Hill. México.
- Manneville, P. (2004). *Instabilités, chaos et turbulence*. Editions de l'École Polytechnique. Francia.
- Mladin, E.C., Zumbrunnen, D.A. (1994). Dependence of heat transfer to pulsating stagnation flow on pulse characteristics. *Journal of Thermophysics and heat transfer*, **9**, 1, 181-192.
- Takens, F. (1981). Detecting strange attractors in turbulence. *Lect. Notes Math.* **898**, p: 366.
- Sayigh, A. A. M. (1977). *Solar Energy Engineering*, Academic Press.
- Vasseur, P., Robillard, L., Sen, M. (1987). Unicellular convective motion in an inclined fluid layer with uniform heat flux. *Bifurcation Phenomena in Thermal Processes and Convection*. HTD-Vol. 94, AMD-Vol. 89, pp: 23-29. ASME.
- Zumbrunnen, D.A., Aziz, M. (1993). Convective heat transfer enhancement due to intermittency in an impinging jet. *Journal of Heat Transfer*, **115**, 91-98,

ABSTRACT. The operation of a solar still under conditions of solar heating was shown in previous papers. Very high values of the heat transfer coefficient h were obtained suggesting chaotic characteristics. The necessity of a deeper knowledge of this behaviour for optimizing the functioning of solar systems was proposed. With this aim, measurements at high frequency on a laboratory still were performed to eventually make evident the chaotic characteristics. The results obtained allow to identify characteristics frequencies in the Fourier spectrum of h and of the distillate, to analyze the growing rate and to identify the presence of a chaotic attractor in the representation space.

Keywords: Distillation, h coefficient, chaos, optimisation of production.