

ANÁLISIS DE LA INTENSIFICACIÓN CAÓTICA DE LA TRANSFERENCIA TÉRMICA CONVECTIVA EN UN DESTILADOR

I. De Paul

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. Procurando establecer criterios de control sobre la transferencia térmica convectiva caótica, se realizaron ensayos en un destilador de laboratorio con pendiente de 20° en las cubiertas y calentamiento similar al solar de días claros. Los resultados permitieron identificar frecuencias características bajas en el espectro de Fourier de h y de Tagua, analizar la tasa de crecimiento e identificar efectos de histéresis que se manifiestan en un distinto comportamiento ante condiciones de calentamiento o de enfriamiento. Se compararon los resultados con los obtenidos con una pendiente de 45° en las cubiertas mostrando la influencia de la geometría.

Palabras clave: Destilación, coeficiente h , caos, optimización de la transferencia térmica

INTRODUCCION

Las sucesivas crisis mundiales a las que se ve sometido el suministro de combustibles no renovables debido a la escasez de las reservas y los problemas políticos que se presentan, ha planteado la necesidad de optimizar el empleo de los recursos energéticos disponibles promoviendo la realización de trabajos que procuran lograr el control de la transferencia térmica en los dispositivos. Muchos trabajos se orientan al estudio de las características caóticas de funcionamiento de dispositivos que actúan bajo la acción de la convección natural [Baker, y Gollub 1990; Boccaletti, y otros 2004; Brittingham, y otros 1995; Bryden y Brenner, 1999; Manneville 2004; Mladin y Zumbrennen 1994; Rodrigo y otros 2006, Vasseur y otros 1987; Zumbrennen y Aziz 1993] procurando lograr un control de los fenómenos caóticos para optimizar la transferencia térmica.

En experiencias previas [De Paul 2000, De Paul 2001a, De Paul 2001b, De Paul y Quintana 2003, De Paul y Quintana 2004 De Paul y otros 2006] 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

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]. Se realizaron medidas sobre un destilador en laboratorio con 45° de pendiente en las cubiertas y con alta frecuencia de muestreo, cuyos resultados permitieron reconocer el fenómeno caótico, 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.

En la búsqueda de parámetros de control sobre h se realizaron experiencias en las que se procuró analizar la influencia de la geometría del sistema en los parámetros caóticos empleando un destilador con pendiente de 20° en las cubiertas y se compararon los resultados con los obtenidos con pendiente de 45°, cuyos resultados se muestran a continuación.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

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 20°. 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, contenida en un segundo recipiente en el que un conjunto de resistencias eléctricas 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 m³ y 2x10⁻⁵ m³. 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 calentamiento comienza a las 8:00hs y se corta a las 19:00hs; el periodo de muestreo de las temperaturas fue de cinco minutos mientras que el destilado se midió manualmente cada diez minutos. Se realizaron en total nueve series de medidas de cuatro a cinco días consecutivos cada una.



Figura 1. Destilador empleado en laboratorio.

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 cuyo cálculo se presentó en las referencias [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

Comportamiento térmico y coeficiente h

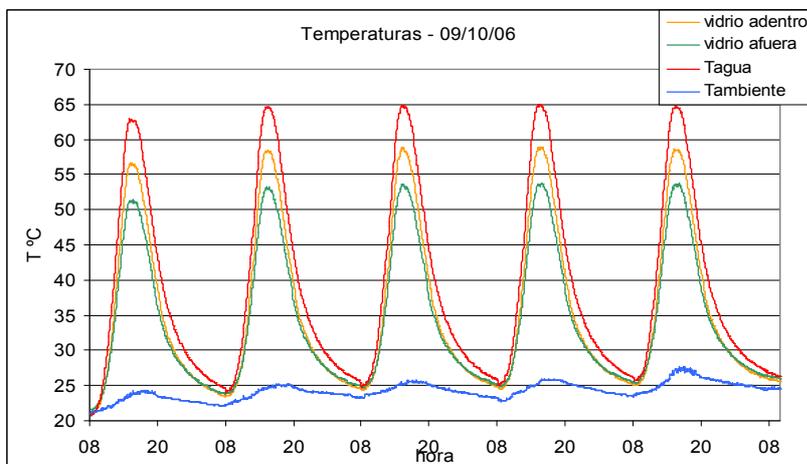


Figura 2. Temperaturas alcanzadas en el destilador en una serie típica de medidas.

La Figura 1 muestra las temperaturas alcanzadas en una serie particular de medidas poniendo en evidencia la repetibilidad del calentamiento y su concordancia con un calentamiento solar verdadero de día claro.

La figura 2 muestra los valores obtenidos para el coeficiente h en función del tiempo en una serie típica de medidas mostrando la misma característica oscilante que la observada en las experiencias previas realizadas con pendiente de 45° , con algunos valores muy grandes respecto de la tendencia general.

La Tabla I muestra los valores promedios, máximos y mínimos alcanzados en cada serie de medidas en los parámetros más importantes: la temperatura del agua Tagua, la temperatura ambiente, T_{amb} y el coeficiente de transferencia térmica h .

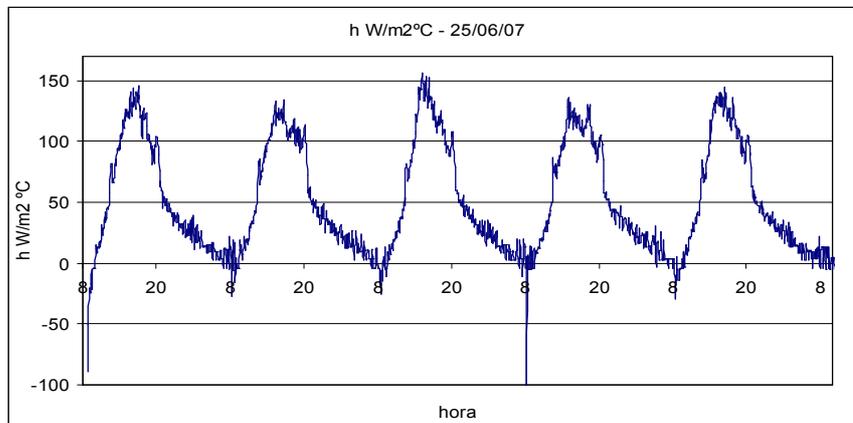


Figura 3. Comportamiento típico del coeficiente de transferencia térmica h .

Resumen de medidas 20°		Tagua	T ambiente	h W/m 2 °C
Serie 1	promedio	36,7	21,4	37,0
	maximo	63,8	23,3	153,6
	minimo	22,3	20,1	-94,1
Serie 2	promedio	37,2	22,3	38,3
	maximo	63,7	24,9	3763,7
	minimo	21,2	19,8	-588,4
Serie 3	promedio	38,7	24,2	34,1
	maximo	65,0	27,8	1781,8
	minimo	20,8	20,8	-1964,4
Serie 4	promedio	40,5	26,1	30,0
	maximo	66,5	28,8	153,1
	minimo	25,5	23,7	-150,3
Serie 5	promedio	33,6	17,5	32,8
	maximo	61,3	19,6	316,4
	minimo	16,0	15,6	-568,5
Serie 6	promedio	34,1	17,5	46,3
	maximo	62,9	19,1	135,2
	minimo	16,9	15,5	-73,2
Serie 7	promedio	30,1	13,6	35,8
	maximo	60,7	16,0	1511,6
	minimo	12,6	11,8	-964,5
Serie 8	promedio	32,6	16,7	49,5
	maximo	61,7	19,7	190,5
	minimo	7,0	8,0	-90,8
Serie 9	promedio	32,2	15,8	50,4
	maximo	59,2	17,6	156,2
	minimo	16,1	14,6	-109,5
promedio		35,1	19,5	39,4
maximo		62,8	21,9	906,9
minimo		17,6	16,7	-511,5

Tabla I. Resumen de parámetros medidos en las experiencias realizadas con pendiente de 20°

Análisis de Fourier y tasa de crecimiento

La figura 3 muestra el espectro de Fourier de h y de la temperatura del agua para un caso particular, mostrando un predominio de bajas frecuencias característico de fenómenos caóticos y presentando frecuencias comunes entre sí lo que indica el acoplamiento entre lo que ocurre en el agua y en la transferencia térmica sobre las cubiertas.

La figura 4 muestra la tasa de crecimiento de h definida como $S = (dh/dt) / h$ poniendo en evidencia una secuencia de episodios en los que S permanece próxima a cero, lo que indica condiciones de estabilidad, seguidos de otros en que S crece o decrece rápidamente, indicando condiciones de inestabilidad y transiciones desde un estado caótico cuando S es positivo a otro cuasiestable en el intervalo analizado. Este comportamiento se encontró en todas las series de medidas realizadas.

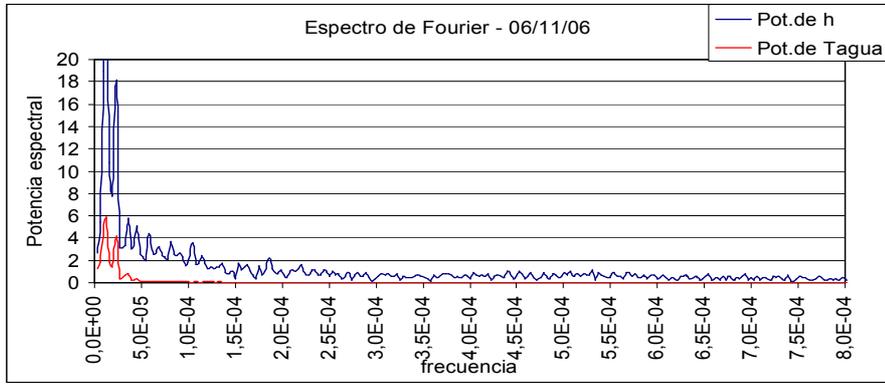


Figura 4. Espectro de Fourier de h y de Tagua mostrando predominio de bajas frecuencias.

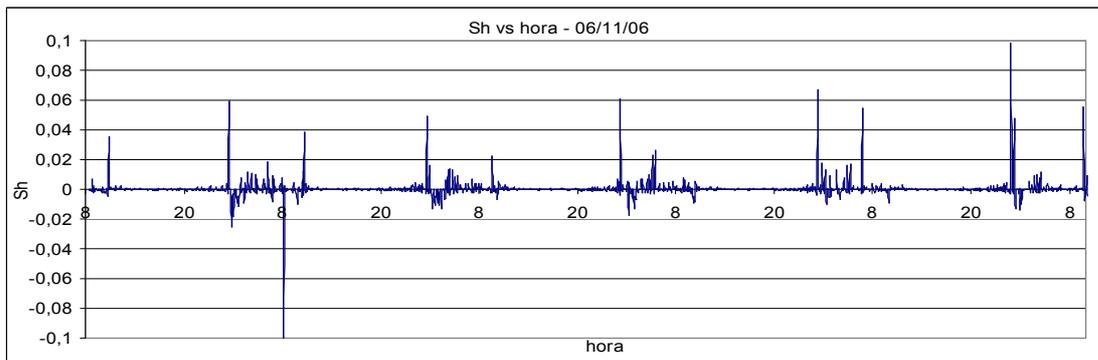


Figura 5. Tasa de crecimiento de h mostrando transiciones entre estados estables e inestables.

El gráfico de h en función del parámetro de control de la transferencia convectiva $r = (Ra - Ra_c) / Ra_c$ donde Ra es el número de Rayleigh y Ra_c es el Ra crítico muestra también dos discontinuidades que indican bifurcaciones en un régimen caótico (Figura 5)

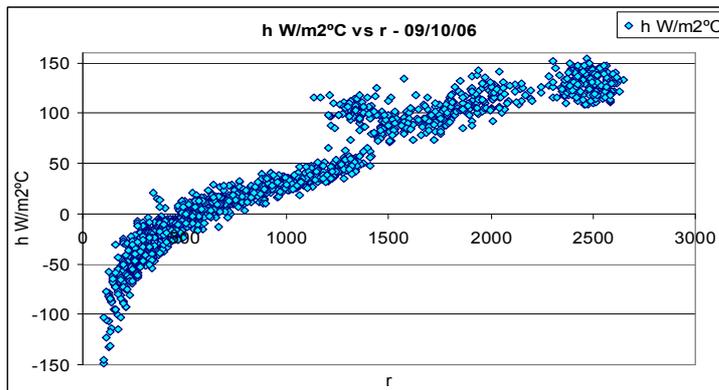


Figura 6. h en función del parámetro de control r mostrando bifurcaciones.

Análisis de h anómalos y efectos de histéresis

La figura 2 muestra valores anormalmente grandes de h tanto en la etapa de calentamiento como en la de enfriamiento. Dado que los efectos de histéresis, es decir, una respuesta diferente del sistema ante las mismas condiciones pero dependiendo de la historia previa, es también una prueba de un comportamiento caótico [Vadasz, 2000], se analizaron separadamente los

valores de h como función de la temperatura del agua en las etapas de calentamiento y de enfriamiento en cada uno de los días de las distintas series. Las figuras 6 y 7 muestran los valores anormalmente grandes de h en los rangos de temperatura de agua correspondientes para una dada serie de medidas. Un detalle se muestra en las figuras 8 y 9. Se observa que los valores de h son distintos en ambas situaciones, desplazándose ligeramente el rango de temperaturas del agua hacia valores mayores durante el enfriamiento. En este último caso (figura 7) se observa que, para una dada temperatura, los valores de h son menores a medida que transcurren los días, efecto que no es evidente en el calentamiento. Este comportamiento se observó con mayor o menor nitidez en todas las series de medidas, poniendo en evidencia efectivamente la histéresis en la transferencia térmica.

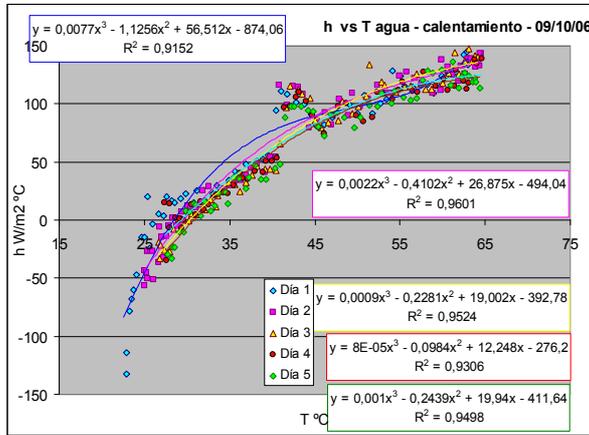


Figura 7. h vs Tagua en calentamiento.

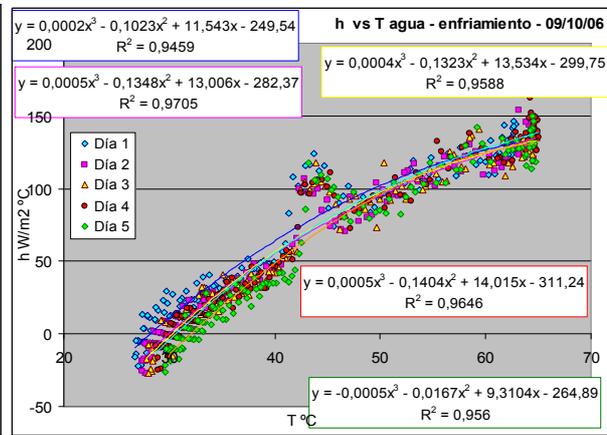


Figura 8. h vs Tagua en enfriamiento

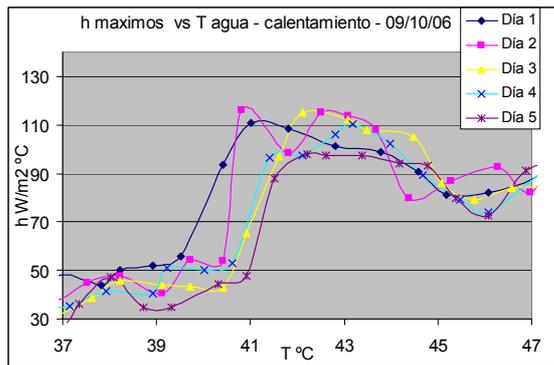


Figura 9. Detalle en el rango de h máximos, calentamiento.

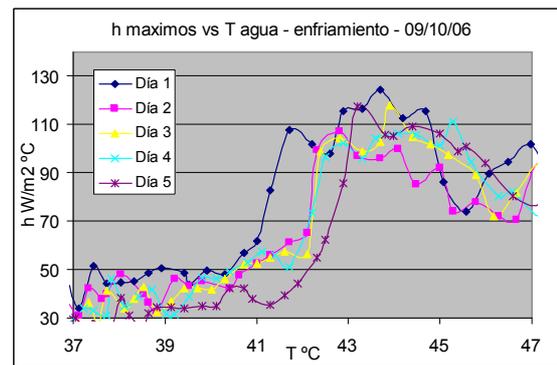


Figura 10. Detalle en el rango de h máximos, enfriamiento.

Las Tablas II y III muestran un resumen que permite comparar los efectos de histéresis tanto para la pendiente de 20° como para la de 45°. Se comparan los valores promedio de distintos parámetros de interés en la experiencia incluyendo la diferencia entre la temperatura del agua y la ambiente, denominada delta T, el número de Ra, el parámetro de control y la tasa de crecimiento Sh. Se expresan las diferencias respecto del calentamiento en forma dimensional y porcentual.

Promedios parciales: 09/10/06 - 20°										
Calentamiento		hora	Tagua	Tambiente	delta T	h W/m ² °C	Ra	r	R	Sh
C1	09/10/2006	12:40	42,8	22,5	20,3	91,5	2,445E+06	1,431E+03	3,719E+03	2,421E-04
C2	10/10/2006	12:28	42,8	23,4	19,4	86,7	2,334E+06	1,366E+03	3,550E+03	4,107E-04
C3	11/10/2006	12:25	42,7	24,3	18,4	81,8	2,218E+06	1,297E+03	3,373E+03	2,494E-04
C4	12/10/2006	12:25	42,7	24,2	18,5	82,7	2,206E+06	1,291E+03	3,355E+03	2,533E-04
C5	13/10/2006	12:28	43,1	24,8	18,3	78,2	2,249E+06	1,316E+03	3,421E+03	3,598E-04
Promedios totales:		12:29	42,8	23,9	18,9	83,8	2,284E+06	1,336E+03	3,473E+03	3,072E-04
Enfriamiento		hora	Tagua	Tambiente	delta T	h W/m ² °C	Ra	r	R	Sh
E1	09/10/2006	20:05	42,9	23,5	19,3	86,5	2,483E+06	1,453E+03	3,776E+03	-8,250E-05
E2	10/10/2006	20:15	43,0	24,7	18,2	72,6	2,365E+06	1,383E+03	3,596E+03	-1,299E-04
E3	11/10/2006	20:23	42,8	25,0	17,8	74,8	2,333E+06	1,365E+03	3,549E+03	-1,256E-04
E4	12/10/2006	20:38	42,5	25,3	17,2	73,4	2,256E+06	1,320E+03	3,431E+03	-6,942E-05
E5	13/10/2006	20:39	42,4	26,1	16,3	66,8	2,171E+06	1,270E+03	3,301E+03	-1,061E-04
Promedios totales:		20:24	42,7	25,0	17,7	74,5	2,317E+06	1,355E+03	3,523E+03	-1,029E-04
diferencias:			0,1	-1,1	1,2	9,3	-3,295E+04	-1,929E+01	-5,011E+01	4,101E-04
% respecto calentamiento			0,3	-4,5	6,3	11,1	-1,4	-1,4	-1,4	133,5

Tabla II. Valores promedio de los parámetros más significativos de una serie de medidas con pendiente de 20° en calentamiento y enfriamiento.

En la Tabla II se observa que para 20°, ante diferencias en la temperatura del agua de 0.1°C y del ambiente de 1.1°C el h es un 11% mayor en el calentamiento, el número de Ra es un 1.4% menor y la tasa de crecimiento es 133% mayor, este último resultado es esperable.

En la Tabla III se observa que para 45°, ante diferencias en la temperatura del agua de 0.3°C y del ambiente de 1.0°C el h es un 11% menor en el calentamiento, el número de Ra es un 17% mayor y la tasa de crecimiento es 145% mayor.

Promedios parciales: 17/04/06 - 45°										
Calentamiento		hora	Tagua	Tambiente	delta T	h W/m2°C	Ra	r	R	Sh
C1	17/04/2006	12:52	42,4	18,8	23,6	44,9	1,732E+08	1,014E+05	2,635E+05	3,394E-04
C2	18/04/2006	12:38	42,4	18,8	23,6	44,9	1,732E+08	1,014E+05	2,635E+05	3,394E-04
C3	19/04/2006	12:48	42,6	19,3	23,3	52,7	1,601E+08	9,373E+04	2,435E+05	-3,228E-05
C4	20/04/2006	12:40	42,4	19,6	22,8	44,3	1,661E+08	9,724E+04	2,526E+05	4,715E-04
C5	21/04/2006	12:38	42,0	20,5	21,6	45,3	1,569E+08	9,186E+04	2,386E+05	3,441E-04
Promedios totales:		12:43	42,3	19,4	23,0	48,6	1,638E+08	9,592E+04	2,492E+05	2,027E-04
Enfriamiento			Tagua	Tambiente	delta T	h W/m2°C	Ra	r	R	Sh
E1	17/04/2006	19:00	42,8	19,5	23,3	53,4	1,420E+08	8,311E+04	2,159E+05	1,512E-05
E2	18/04/2006	19:05	42,6	19,6	23,0	55,3	1,425E+08	8,344E+04	2,168E+05	-1,162E-04
E3	19/04/2006	19:08	42,6	20,2	22,4	56,5	1,362E+08	7,975E+04	2,072E+05	-1,122E-04
E4	20/04/2006	19:18	42,5	21,1	21,4	54,2	1,324E+08	7,749E+04	2,013E+05	-1,747E-04
E5	21/04/2006	19:23	42,7	21,4	21,3	52,2	1,297E+08	7,592E+04	1,972E+05	-8,405E-05
Promedios totales:		19:11	42,7	20,4	22,3	54,2	1,365E+08	7,991E+04	2,076E+05	-9,193E-05
diferencias:			-0,3	-1,0	0,7	-5,6	2,734E+07	1,601E+04	4,159E+04	2,947E-04
% respecto calentamiento			-0,7	-5,3	3,1	-11,6	16,7	16,7	16,7	145,3

Tabla III. Valores promedio de los parámetros más significativos de una serie de medidas con pendiente de 45° en calentamiento y enfriamiento.

Aparentemente no sólo hay un distinto comportamiento ante el calentamiento y el enfriamiento, sino que también hay una influencia significativa de la geometría del sistema. Es necesario profundizar más en estos análisis para determinar si es posible encontrar algún parámetro que contribuya a controlar la transferencia térmica.

CONCLUSIONES

- Las experiencias realizadas con una pendiente de 20° en las cubiertas del destilador muestran evidencias de comportamiento caótico similares a las obtenidas con 45°.
- Los espectros de Fourier de h y de la temperatura del agua muestran un predominio de bajas frecuencias característico de fenómenos caóticos y presentan frecuencias comunes entre sí lo que indica el acoplamiento entre lo que ocurre en el agua y en la transferencia térmica sobre las cubiertas.
- La tasa de crecimiento de h muestra secuencias de variaciones bruscas indicando transiciones entre estados estables o cuasiestables y estados inestables de tipo caótico en los intervalos analizados.
- El gráfico de h en función del parámetro de control r muestra discontinuidades que indican bifurcaciones en un régimen caótico.
- Los valores de h anómalos son distintos en condiciones de calentamiento y enfriamiento, desplazándose ligeramente el rango de temperaturas del agua hacia valores mayores durante el enfriamiento, poniendo en evidencia efectos de histéresis.
- Durante el enfriamiento se observa que, para una dada temperatura, los valores de h son menores a medida que transcurren los días, efecto que no es evidente en el calentamiento.
- Los valores promedios de h, del número de Rayleigh, del parámetro de control r y de la tasa de crecimiento Sh, ante las mismas condiciones de temperatura del agua y temperatura ambiente, presentan un comportamiento diferente no sólo ante condiciones de calentamiento o enfriamiento, sino que también muestran una marcada influencia de la geometría del sistema.
- Los resultados obtenidos confirman hipótesis previas y plantean la necesidad de profundizar las investigaciones tendientes a determinar criterios de control sobre la transferencia térmica.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a los alumnos M. A. Perales, C. González, J. Quintana, S. Gündel, B. Ramos, I. Ramos, G. Aguirre quienes colaboraron en la realización de las medidas de laboratorio.

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., Zumbrennen, 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,

- Bryden, M. D., Brenner, H. (1999), Mass-transfer enhancement via chaotic laminar flow within a droplet. *Journal of Fluid Mechanics* 379, 319-331 Cambridge University Press
- 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.
- De Paul, I., Perales, M. A., Ramos, I., Quintana, J., González C., Gündel, S., Ramos, B. (2006). “Características caóticas del funcionamiento de un destilador” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 10**, versión CD, pp.03.07-03.13. 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.
- Mac Adams, W. H. (1978). *Transmisión de calor*, 3ª. Edición. Mc Graw Hill. México.
- Manneville, P. (2004). *Instabilités, chaos et turbulence*. Editions de l'École Polytechnique. Francia.
- Mladin, E.C., Zumbrennen, D.A. (1994). Dependence of heat transfer to pulsating stagnation flow on pulse characteristics. *Journal of Thermophysics and heat transfer*, **9**, 1, 181-192.
- Rodrigo, A.J.S., Mota, J.P.B, Rodrigues, R.C.R. (2006) Heat Transfer Enhancement in Annular Stokes Flows. *Journal of Enhanced Heat Transfer*, **13**, 3
- Vadasz, P. (2000) Subcritical transitions to chaos and hysteresis in a fluid layer heated from below. *Int. Journal of Heat and Mass Transfer*, **43**, 5, pp:705-724.
- 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.
- Zumbrennen, D.A., Aziz, M. (1993). Convective heat transfer enhancement due to intermittency in an impinging jet. *Journal of Heat Transfer*, **115**, 91-98.

ABSTRACT. Trying to establish control criteria on the chaotic convective heat transfer, experiences were performed with a laboratory still with 20° slope in the covers and heating conditions similar to those of solar clear days. The results allow to identify characteristics low frequencies in the Fourier spectrum of h and T_{water} , to analyze the growing rate of h and to recognize hysteresis effects that manifests as a different behaviour under heating or cooling conditions. The results were compared with those obtained with a slope of 45° in the covers showing the influence of the geometry.

Keywords: Distillation, h coefficient, chaos, heat transfer optimisation.