

VISUALIZACIÓN DE FLUJOS EN UN DESTILADOR MULTITAPPA

Irene De Paul, Sonia Esteban
UNSa - INENCO[#]
Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta
TE: 87-255424
E-mail: depaul @ unsa.edu.ar

RESUMEN. El objetivo del trabajo es visualizar el flujo convectivo en el interior de un destilador multietapa ensayado en el INENCO con el fin de adquirir información que permita mejorar su diseño y producción. Se empleó un laser de argón y una lente cilíndrica para generar un plano luminoso con el cual se pueden visualizar pequeñas gotas de agua que condensan en el interior del destilador y actúan como trazadores. Los resultados muestran un flujo turbulento, con un patrón de circulación global particular en las etapas más bajas y diferente en la última. Se proponen algunas recomendaciones que eventualmente pueden mejorar la producción del destilador.

Palabras clave. Destilación, visualización de flujos, destilador multietapa.

INTRODUCCION

En trabajos previos (Franco, Esteban, Saravia, 1998 , Franco, Esteban, Saravia, 1999; Franco, Esteban, Fernández, 2000) se presentaron los resultados de los ensayos térmicos y de productividad realizados sobre un destilador multietapa diseñado en INENCO. El primer prototipo contaba de cuatro etapas; los resultados obtenidos con este equipo permitieron estudiar el comportamiento térmico del mismo e incorporar una quinta etapa al destilador que proporciona un control de la temperatura fría del sistema. En distintos trabajos se propusieron diferentes tipo de calentamiento para la bandeja inferior: resistencias eléctricas, placas de aluminio calentadas eléctricamente, un vaporizador montado sobre un colector concentrador solar, etc. En los mismos se han encontrado dificultades como así también algunas mejoras que han proporcionado información acerca del mejor funcionamiento del sistema.

Con el fin de investigar las características del flujo en su interior y, a partir de este conocimiento, eventualmente proponer modificaciones en su diseño que permitieran mejorar su rendimiento, se realizaron experiencias de visualización de flujos basadas en técnicas desarrolladas previamente (De Paul, Saravia, 1995; De Paul, 2000; Hoyos, De Paul, 1994; Hoyos, Peñas Martín, De Paul, 1995). Para la visualización se hace uso del hecho que en el interior de un destilador el vapor generado condensa en pequeñas gotas que actúan con trazadores que son arrastradas por las corrientes convectivas y se pueden ver a simple vista al ser iluminadas por un laser suficientemente potente. Con un laser de argón de 3 W de potencia, espejos y una lente cilíndrica se genera un plano luminoso que puede ser orientado de distintas maneras y así permitir la visualización en distintos planos en el interior del destilador.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El destilador consiste de una caja rectangular (50cm x 50 cm x 36 cm) construido íntegramente con vidrio y aislado externamente con poliestireno expandido de 5 cm de espesor. La bandeja inferior está hecha de acero inoxidable ya que es en ésta donde se alcanzan las temperaturas más altas. Se usan cinco etapas de vidrio con una inclinación de 4°, como se muestra en la figura 1. El agua salada fría es suministrada desde arriba y cae de una etapa a la próxima por gravedad hasta alcanzar la bandeja, la cual es calentada desde la parte inferior. El exceso de agua, con alto contenido de sal, es eliminado del sistema por rebalse. El agua salada calentada, evapora y el vapor es transferido por convección hacia arriba donde condensa en el vidrio superior que se encuentra a menor temperatura. El destilado escurre por gravedad a lo largo del vidrio y es recogido en canaletas ubicadas en el extremo inferior de cada etapa.

En la parte superior de cada superficie de vidrio se construyeron pequeños diques de vidrio de 1 cm de alto, puestos como lo muestra la figura 1. El agua que es suministrada por la parte superior de cada dique, forma pequeños lagos con una profundidad promedio de 0.5 cm que llegan a cubrir la totalidad de la superficie ya que la inclinación es muy baja; se necesita así una muy pequeña cantidad de agua para cubrir la superficie. La etapa inferior es calentada directamente por medio de un serpentín, realizado en caños de cobre, por el que circula vapor proveniente de un sistema de vaporización. La disposición del mismo es

[#] Instituto UNSa - CONICET

diametral . La temperatura de trabajo del destilador multietapa es de 90-95 °C en la bandeja inferior; la temperatura fría, T_f , es determinada por la circulación de agua en la etapa superior y en general es la temperatura ambiente. El salto de temperatura máximo medido en el destilador es de aproximadamente 60-65 °C, el cual se distribuye en las cinco etapas. Esta distribución no es uniforme observándose diferencias de temperaturas menores, de 5 a 10°C, en las etapas inferiores y mayores, de aproximadamente 20°C, en las superiores. A una temperatura media de 94,6°C en el rango 91-97,6 °C la producción promedio del destilador fue de 1809,2 ml/hr.

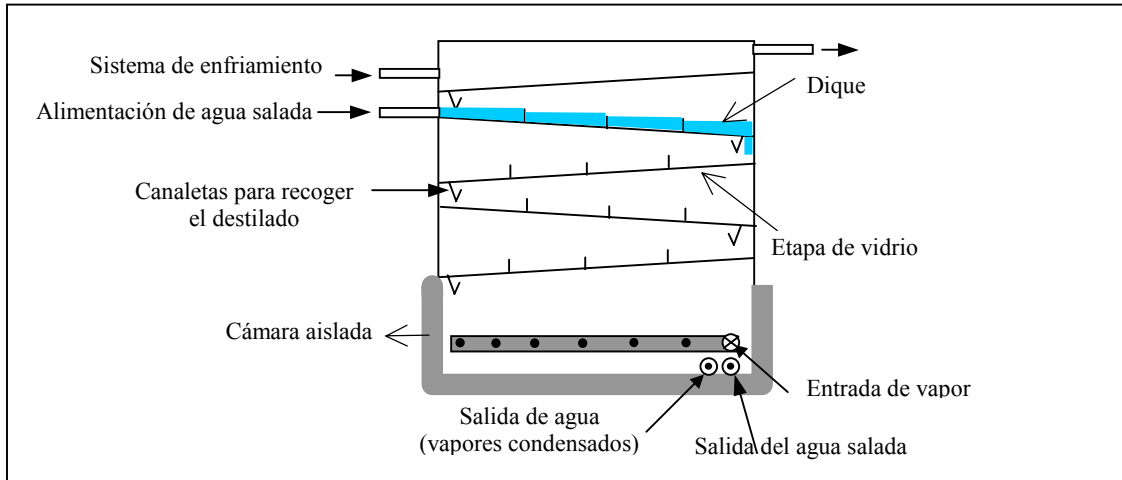


Figura 1. Esquema de la sección transversal del destilador.

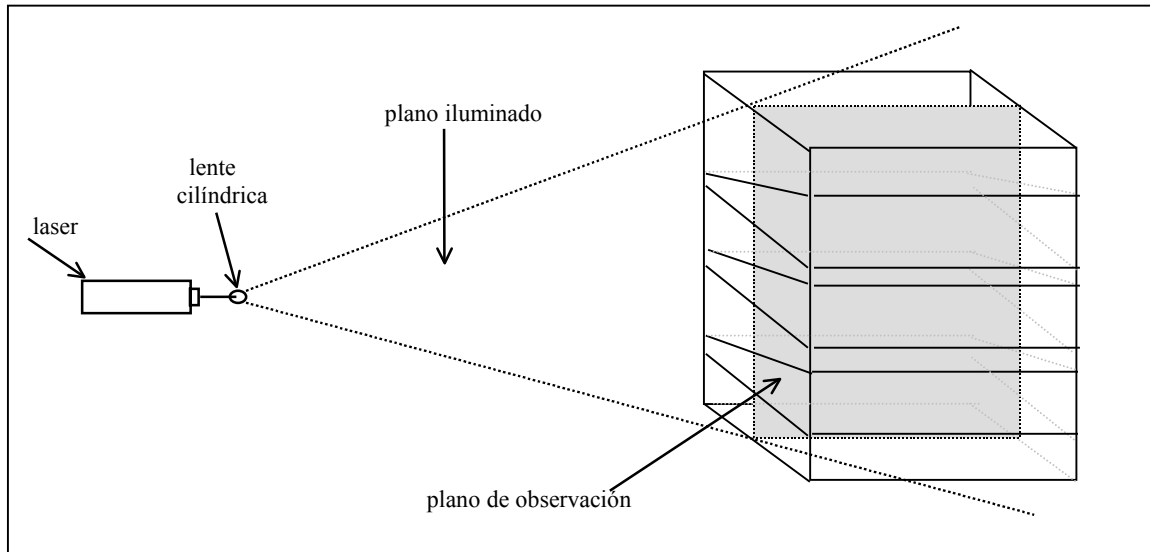


Figura 2. Esquema del destilador y del dispositivo de visualización.

El dispositivo de visualización de flujos consiste en un laser de argón de 2 W de potencia y una lente cilíndrica que genera un plano iluminado vertical que incide perpendicularmente sobre la pared lateral del destilador (fig. 2). La potencia del haz es suficiente para visualizar a simple 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 montada sobre un trípode (figura 2 y 3).



Figura 3. Disposición experimental para visualización de flujos en el destilador multietapa.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

El destilador fue ensayado anteriormente para medir su productividad por lo que sobre la superficie del vidrio se depositaron sales que fue necesario remover. Posiblemente debido a que el vidrio empleado era bastante poroso y no suficientemente plano (vidrio común) las sales no se pudieron remover completamente, el vapor condensaba sobre algunos sectores de las superficies en forma de gotas y no llegaba a formar una película. Esto produce dos efectos: por un lado las gotas dispersan la luz del laser disminuyendo la potencia del haz que ilumina las gotas, dificultando la visualización. Por otra parte produce recirculación, al gotear sobre los diques parte del destilado que, de esta manera, no es recogido en las canaletas.

En la primera experiencia realizada, el destilador estuvo aislado completamente, que es su modo de funcionamiento normal. Para visualizar el flujo se retiró la aislación; se observó que el vapor no llegaba a condensar en gotas, por lo que no se podía visualizar el flujo. Para evitar este efecto en la siguiente experiencia se trabajó sin aislación y se aumentó el caudal del agua del sistema de enfriamiento; en estas condiciones se obtuvo una mayor densidad de gotas que permitieron la visualización.

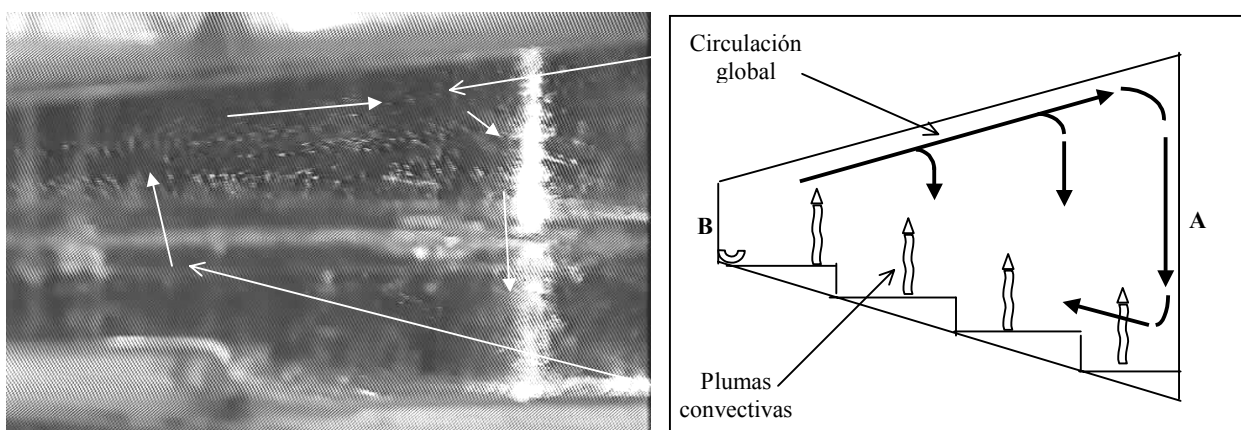


Figura 4. Fotografía y esquema de la circulación general en el interior de las etapas más bajas.

Se observó que el flujo es turbulento, con plumas convectivas que se desprenden de la superficie del agua de los diques. La inclinación de la superficie de condensación imprime un sentido general de circulación al vapor como el que se muestra en la figura 4.

Este patrón de circulación es común a las etapas más bajas; en la última etapa, que está en contacto directo con el sistema de enfriamiento, predomina este efecto sobre el calentamiento del vapor desde el agua y el sentido de circulación se invierte (figura 5).

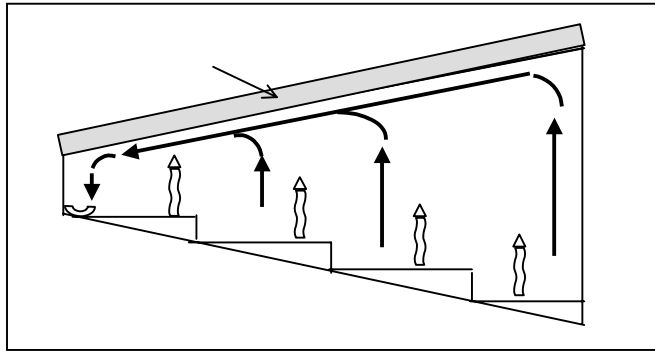


Figura 5. Circulación general en la etapa superior.

COMPRACIÓN CON MODELOS A PEQUEÑA ESCALA

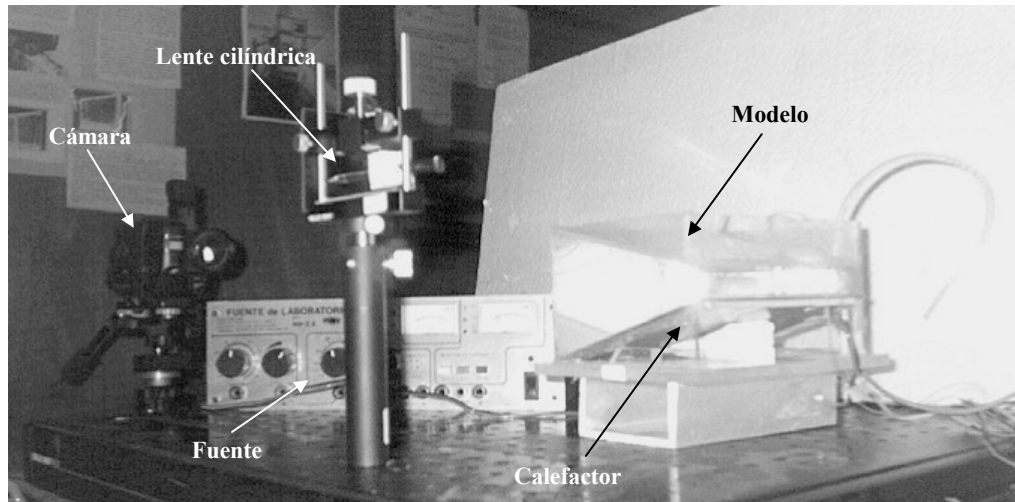


Figura 6. Módulo a pequeña escala de una etapa del destilador y elementos de medida.

En experiencias anteriores se ensayó un módulo a pequeña escala de una de las etapas, construido en vidrio y acrílico, en el que se empleó agua como fluido convectivo y microesferas huecas de vidrio como trazadores para visualizar el flujo (Figura 6). Un calefactor de constantán colocado en el vidrio inferior simulaba el calentamiento desde el agua salada que produce la convección del fluido y los trazadores.

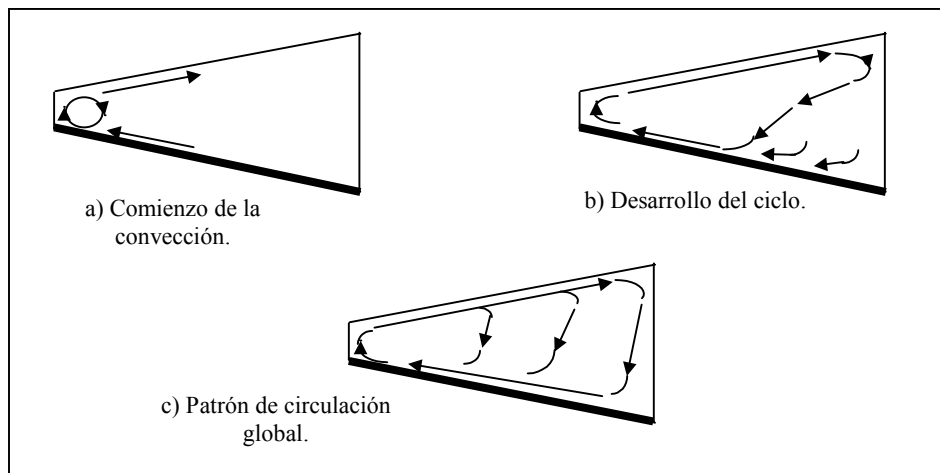


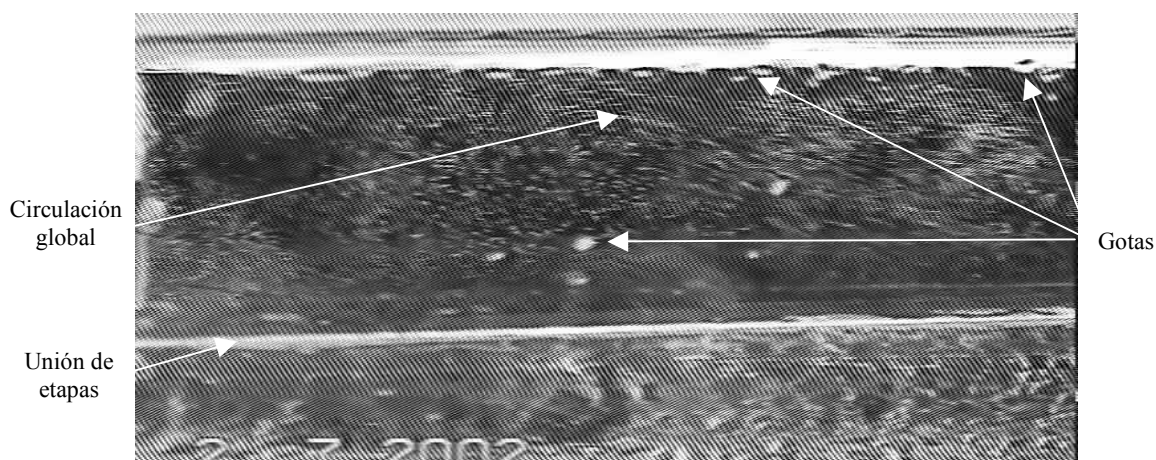
Figura 7. Etapas del desarrollo del patrón de circulación en el modelo a pequeña escala.

Con este módulo se pudo visualizar la etapa transitoria en que comienza la convección, que se produce desde la pared vertical de la zona más estrecha (cara B) (figura 7 a). Posteriormente se desarrolla un ciclo convectivo que se cierra sobre la zona media y arrastra el agua a lo largo de la superficie inferior (figura 7 b). Por último se establece un patrón de circulación similar al observado en las etapas bajas del destilador (figura 7 c).

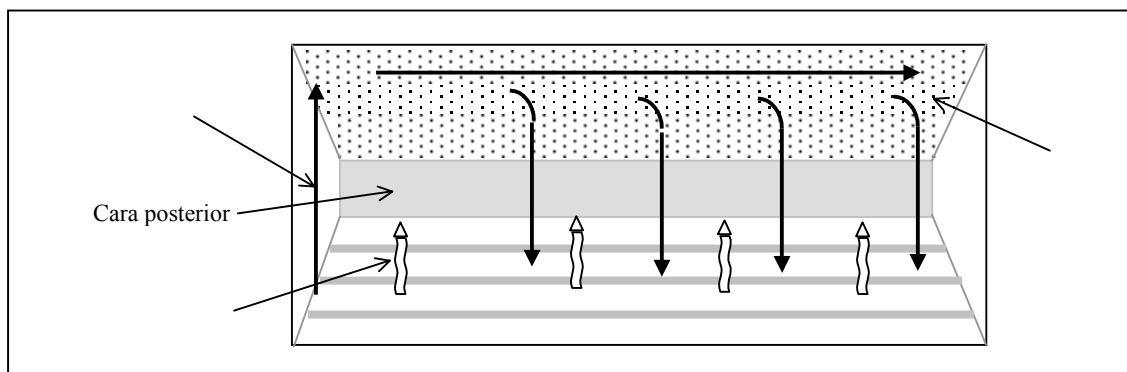
Estas experiencias permitieron comprobar una vez más que el uso de modelos a pequeña escala que emplean agua como fluido convectivo es una herramienta valiosa en el análisis de la circulación que puede tener un sistema a escala real en el que el fluido convectivo es el aire.

VISUALIZACIÓN EN EL PLANO FRONTAL

Por medio de espejos se dirigió el haz laser de manera que el plano luminoso incidiera lateralmente sobre el destilador. De esta manera se pudo visualizar la circulación en cada etapa, sobre cada uno de los diques (figuras 8 a y b). Se observó así el mismo flujo turbulento, con una tendencia a desplazarse hacia una de las caras laterales; este efecto, común a todas las etapas, se debe posiblemente a un desnivel en la base del destilador. También pudo observarse goteo desde las superficies de vidrio hacia los diques; si bien no parece ser un efecto muy importante, esto disminuye la productividad del destilador.



(a)



(b)

Figura 8. Fotografía (a) y esquema (b) de la circulación en un plano frontal..

CONCLUSIONES

De lo observado se puede concluir lo siguiente.

El patrón de circulación muestra que el flujo está dirigido fuertemente hacia la zona más alta de cada etapa (A), salvo en la última. Por lo tanto, si bien el agua destilada se recoge en la zona más estrecha de cada etapa (B) porque el líquido condensado escurre en ese sentido, es de esperar que una cantidad importante del vapor condense en la pared A y escurra fácilmente sobre la pared vertical. Si se colocara una canaleta en esta pared, este condensado, que actualmente realimenta los diques, podría ser recogido.

La calidad del vidrio influye en las condiciones de condensación. Parece ser conveniente usar vidrio flotado que, por tener mayor planitud y ser menos poroso, disminuiría el problema de los depósitos de sales, evitaría la condensación en gotas que produce recirculación y disminuye la productividad, y favorecería el escurrimiento. Para facilitar el escurrimiento la limpieza del vidrio debe incluir un pulido con algún abrasivo suave tipo pasta de dientes o pasta de pulir para autos, y posterior limpieza con limpiavidrios a base de amoníaco.

El aislar completamente el destilador, si bien favorece la evaporación y permite tener temperaturas más altas en el agua salada, por otra parte no favorece la condensación. Si se incorporara una canaleta colectora sobre las paredes A, sería conveniente no aislar esas paredes para mejorar la condensación al estar a menor temperatura. Con esta disposición se favorecería el flujo descendente sobre esta pared.

El patrón de circulación observado en el destilador coincide con el observado en el modelo en agua a pequeña escala, lo que comprueba que empleo de modelos a pequeña escala es una herramienta valiosa en el análisis de la circulación que puede tener un sistema a escala real.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Franco, J., Esteban, S., Saravia, L. (1998). Destilador multiefecto compacto. *Actas LATCYM 98*, Vol. II, 437 – 440.
2. Franco, J., Esteban, S., Saravia, L. (1999). Destilador multietapa. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 3, 2, 9.31.
3. Franco, J., Esteban, S., Fernández, C. (2000). Calentamiento solar para un destilador multietapa pasivo compacto. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 4, 1, 03.71 – 03.75.
4. De Paul, I. y Saravia, L. (1995). Visualización de flujos aplicada al estudio del movimiento convectivo del aire húmedo en un destilador solar. En *Memorias del 4o. Simposio Internacional sobre recientes avances en Mecánica y Física de Fluidos*, Kuz, V., Gratton, R., Ferreri, J. C. (Editores), pp. 129-136, La Plata, R. Argentina.
5. 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*.
6. Bjorquist, D.G. "Particle image velocimetry analysis system". TSI Report. (1990).
7. Close, D. J. Peck, M. K., White, R. F. y Wong, P. H., 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, (1988).
8. Chikhaoui, A. Marcillat, J. F. y Sani, R. L., Successive transitions in thermal convection within a vertical enclosure. *Natural Convection in Enclosures, ASME, HTD – Vol 99*, 29, (1988).
9. De Paul, I., Javi, V., Lesino, G. "The use of water models in the determination of convective heat transfer coefficients". *Workshop on Material Science and Physics of Non Conventional Energy Sources*. pp: 445-451. Buenos Aires. (1992).
10. Hoyos, D., De Paul, I. (1994). "Programa de captura de imágenes, procesamiento y cálculo para medición de velocidades en líquidos." *Actas de la 17ª. Reunión de ASADES*. Tomo II pp: 683-688. Rosario.
11. Hoyos, D., Peñas Martín, R., De Paul, I. (1995). "Programa de análisis de trayectorias en sistemas solares pasivos". *Actas de 18ª. Reunión de ASADES*. San Luis.
12. Khalighi, B., Braun, M. J., Freitas, C. J. (Editores) "Flow visualization – 1989". *ASME Transactions*, (1989).
13. Merzkirch, W. "Flow visualization". Academic Press Inc. (1974).
14. Olson, D. A. J., Glicksman, L. R. y Ferm, H. M., Scale models studies of natural convection in enclosures with turbulent vertical boundary layers. *Natural Convection in Enclosures, ASME, HTD - Vol 63*, 17, (1986).
15. Ossler, F., Agrup, S., Aldén, M. Three dimensional flow visualization with picosecond Mie scattering and streak-camera detection. *Applied Optics*, Vol. 34, 3, 537, (1995).

ABSTRACT

The aim of the work is to visualize the convective flow inside a multistage still developed at INENCO for getting information that allows to have a better design and performance. An argon laser and a cylindrical lens were employed to generate a luminous plane for visualizing small water drops that condense inside the still and act as tracers. The results show a turbulent flow, with a global circulation pattern in the lowest stages and a different one in the last stage. Recommendations that could eventually improve the production of the still are proposed.

Keywords: Distillation, flow visualization, multistage still.