

FENOMENOLOGÍA DE UN GHP PULSANTE

I. De Paul, R. Piera¹

CIUNSa – Facultad de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta – Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta
TE: 387-255424 - e-mail: depaul.irene@gmail.com
¹ Becario EVC - CIN

Recibido 16/08/14, aceptado 25/09/14

RESUMEN: Se ensayó un tubo de calor asistido por la gravedad (GAHP) hecho en cobre que emplea agua destilada como fluido de transferencia a potencia constante en el rango 3.7W a 60.2W. Las medidas térmicas muestran un funcionamiento pulsante consistente con observaciones previas que evidencian distintos regímenes de funcionamiento termohidrodinámico que dependen de la potencia suministrada. Se calculó el coeficiente global de transferencia y la resistencia térmica para las distintas potencias ensayadas y se las comparó con resultados previos observándose algunas discrepancias. Se analizan los resultados desde el punto de vista fenomenológico.

Palabras clave: tubo de calor asistido por la gravedad, transferencia de energía, ebullición geiser.

INTRODUCCIÓN

Los tubos de calor asistidos por la gravedad (*gravity assisted heat pipes* GAHP) son un caso particular de los tubos de calor (*heat pipes* HP) que operan en posición vertical, en los que el regreso del líquido de trabajo desde el condensador hacia el evaporador se realiza por gravedad y por lo tanto se comportan como un termosifón (Anwarul Hasan y otros, 2003, Joudi y Witwit, 2000, Filippeschi, 2009). Como los HP, son dispositivos que transfieren calor muy eficientemente y su uso se está extendiendo a distintas áreas de la tecnología: reactores nucleares, electrónica, satélites, colectores solares, etc (Khandekar, 2004, Shafii y otros, 2002, Khandekar y otros, 2003, Charoensawan y otros 2003, Tang y otros, 2010, Yang y otros 2009, Dobson y Ruppertsberg, 2007, Ruppertsberg y Dobson, 2007; Azad, 2008; Rittidech, y Wannapakne, 2007).

Un GAHP consiste en un tubo cerrado en ambos extremos, al cuál se le ha practicado el vacío y se le ha introducido un fluido de trabajo adecuado a la temperatura a la cuál debe operar. Este fluido se encuentra en equilibrio entre sus fases vapor y líquida. Se distinguen tres secciones: la evaporadora donde el aparato absorbe calor y evapora el líquido, la condensadora donde entrega calor a otro medio y el vapor se condensa y la intermedia entre ambas que se conoce con el nombre de sección adiabática que sirve de pasaje del fluido en ambas direcciones (Chi, 1976, Dunn y Reay 1976, Ivanovskiyii, 1982).

Las experiencias realizadas con un HP en vidrio para poder visualizar el flujo en su interior y uno de cobre de características similares, mostraron que la descripción de su funcionamiento que se hace en la bibliografía (Chi, 1976, Dunn y Reay 1976, Ivanovskiyii, 1982) no se ajustaba a lo observado, apareciendo un carácter pulsante en la transferencia (De Paul y otros 2009, Frigerio y otros 2009, De Paul y Frigerio, 2012) asociado a un fenómeno mucho más complejo, el “efecto geiser” reportado en publicaciones desde mediados de los 90 (Lips, y otros 2010, Khazaeaa, y otros 2010, Lin y otros 1995, Sarmasti Emami, M.R. y otros 2009, Tadrict, L. 2007).

El estudio comparativo del comportamiento termo-fluidodinámico de tubos de calor asistidos por la gravedad de cobre y vidrio que siguió, mostró que ante las mismas condiciones de trabajo ambos tubos tenían un comportamiento pulsante, cada uno con sus características propias lo que podía inferirse a partir de medidas térmicas. Estas experiencias se realizaron en principio suministrando potencia térmica variable, llevando la temperatura del agua de un termo a un valor máximo especificado y analizando el enfriamiento hacia el ambiente producido por los GAHP (De Paul y otros 2010, Frigerio y otros 2010). Las siguientes experiencias fueron realizadas a potencia constante empleando como fuente de calor primero un termostato, y posteriormente con calentamiento eléctrico empleando un calefactor construido al efecto.

Las experiencias actuales se centraron en el GAHP de cobre, extendiendo el rango de potencia eléctrica suministrada, variando los valores de potencia en rangos más próximos, aumentando la frecuencia de muestreo y, a partir de las medidas térmicas, inferir las características del flujo y la transferencia térmica desde un enfoque fenomenológico.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El GAHP de cobre ensayado tiene 71cm de longitud total, diámetro externo 1,5cm y diámetro interno 1,3cm. El evaporador mide 15,5cm, la sección adiabática 6,5cm y el condensador mide 49 cm, el líquido de trabajo que se empleó es agua destilada y desgasada con una fracción de llenado del 12% (figura 1.a).

El calefactor es una barra de aluminio de 20cm de largo y 5cm de diámetro en la que se realizó una perforación de 2,2cm de diámetro donde se colocó el GAHP; para mejorar el contacto térmico se agregó glicerina al hueco del calefactor. Sobre la barra se enrolló una resistencia de 18Ω que, conectada a un variac, suministra el calentamiento manteniendo la potencia

constante que se desea. La barra está colocada en un soporte de PVC envuelta en 5 cm de lana mineral aislante que asegura que menos del 0.3% de la potencia suministrada se pierde hacia el exterior (figura 1.b), por lo que se consideró que toda la potencia eléctrica que se emplea en calentar el cilindro es evacuada hacia el ambiente por el GAHP.

Con termocuplas se midieron las temperaturas en el extremo inferior que corresponde al evaporador (T_{evap}), al superior que corresponde al condensador (T_{cond}), en el punto medio (T_{medio}) del tubo, en el fondo del calefactor (T_{fondo}) y la temperatura ambiente (T_{amb}), empleando un sistema de adquisición de datos Omega DaqPro 5300, con intervalos de medida de 10 segundos.



(a)



(b)

Figura 1. Fotos de la experiencia armada con el tubo de cobre (a) y del calefactor empleado (b).

ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron 17 experiencias variando la potencia suministrada entre 3,7W y 60,2W evacuando el calor hacia el ambiente por convección natural, en condiciones en que la temperatura del laboratorio fue prácticamente constante, alrededor de los 15°C. Siguiendo la bibliografía se calcularon el coeficiente global de transferencia térmica UA y la resistencia térmica R del GAHP con las siguientes expresiones.

Potencia suministrada: $Q = VI$ (1)

Coefficiente global de transferencia térmica: $UA = Q/(T_{\text{evap}} - T_{\text{cond}})$ (2)

Resistencia térmica: $R = 1/UA$ (3)

En la Tabla I se presentan las condiciones en que se realizó cada serie de medidas y los valores medios obtenidos para UA y R en la etapa pulsante del funcionamiento.

| 2014 | voltaje V | potencia W | UA W/°C | R °C/W |
|----------|-----------|------------|---------|--------|
| serie 1 | 8 | 3,7 | 0,22 | 4,52 |
| serie 2 | 10 | 5,9 | 0,45 | 2,23 |
| serie 3 | 15 | 13,2 | 1,09 | 0,92 |
| serie 4 | 15 | 13,2 | 1,01 | 0,99 |
| serie 5 | 20 | 23,5 | 1,61 | 0,63 |
| serie 6 | 20 | 23,5 | 1,71 | 0,59 |
| serie 7 | 20 | 23,5 | 1,62 | 0,62 |
| serie 8 | 22 | 28,4 | 1,54 | 0,65 |
| serie 9 | 24 | 33,8 | 1,85 | 0,54 |
| serie 10 | 25 | 36,8 | 2,43 | 0,41 |
| serie 11 | 25 | 36,8 | 2,14 | 0,47 |
| serie 12 | 25 | 36,8 | 2,01 | 0,50 |
| serie 13 | 26 | 39,7 | 2,99 | 0,36 |
| serie 14 | 28 | 46,1 | 2,50 | 0,40 |
| serie 15 | 30 | 52,9 | 4,12 | 0,25 |
| serie 16 | 30 | 52,9 | 3,96 | 0,26 |
| serie 17 | 32 | 60,2 | 10,31 | 0,29 |

Tabla I. los valores obtenidos para UA y R en la etapa pulsante del funcionamiento.

RESULTADOS DE LAS MEDIDAS Y ANÁLISIS

Análisis de las temperaturas.

A modo de ejemplo se muestran en las figuras 2 a, b, c y d las temperaturas medidas correspondientes a cuatro potencias de calentamiento que cubren el rango ensayado: 3,7W, 23,5W, 46,1W y 60,2W; se indican las posiciones en que se realizaron las medidas como: fondo o calefactor, evaporador, medio y condensador. Se observa cómo cambian las series temporales, indicando así los cambios en la transferencia termo-fluidodinámica en el GAHP a medida que aumenta la potencia.

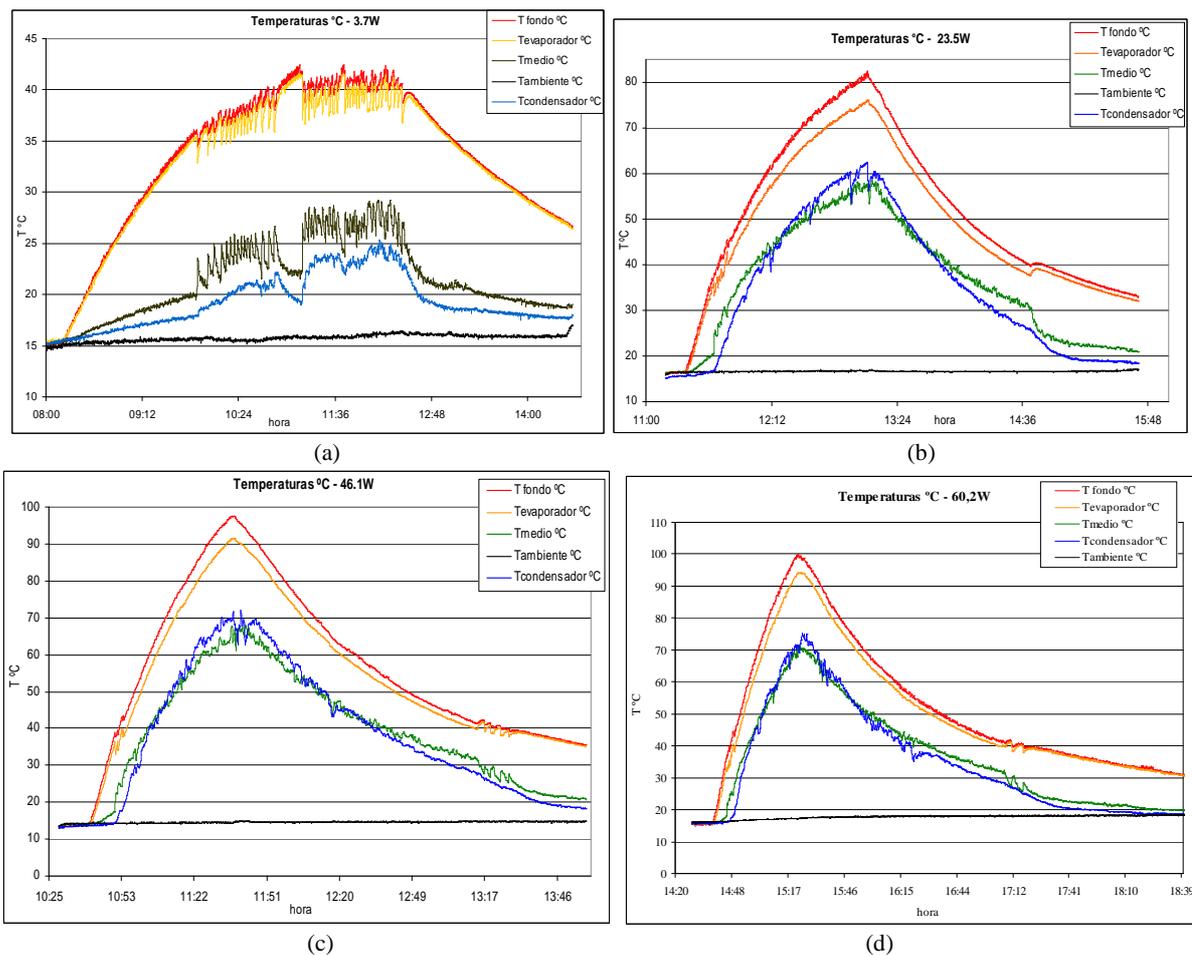


Figura 2. Temperaturas medidas en el HP de cobre para potencias térmicas a) 3.7W, b) 23.5W, c) 46.1W y d) 60.2W respectivamente.

Se pueden distinguir cuatro rangos de potencia con características particulares: potencia muy baja, baja, media y alta.

Potencia muy baja, hasta 6 o 7W aproximadamente. Las curvas correspondientes a las distintas posiciones aparecen separadas, salvo las de F y E que son muy próximas (fig 2 a). Al comienzo del calentamiento la temperatura sube regularmente, siendo casi lineal para M y C, hasta que se produce la primera pulsación. Se puede inferir que en esta etapa la conducción térmica se realiza por conducción en las paredes de cobre del tubo y por convección del vapor que se desprende de la superficie del líquido del evaporador, de acuerdo a la descripción usual. A continuación se observan oscilaciones muy regulares en las que F y E disminuyen (en fase) mientras que M aumenta en forma pulsante (a contrafase) y C aumenta con oscilaciones menos marcadas. Esto sugiere la formación de burbujas en el seno del líquido que absorben calor de cambio de fase y se desprenden como un pulso de vapor que calienta súbitamente M y más lentamente a C. También pueden formarse tapones de líquido que ascienden, dejando parte del líquido en las paredes, hasta que se rompen produciendo vapor. Estos fenómenos fueron observados y medidos en el GAHP de vidrio, descritos en (De Paul y otros 2009) y es lo que se conoce como “efecto geiser” (figura 3).

En la curva de 3,7W se observan dos intervalos en los que no hay pulsaciones sino un aumento sistemático de la temperatura de F y E y una disminución de M y C. Esto sugiere que en ellos no se formaron burbujas, el calentamiento de F y E proviene del calefactor mientras que M y C se enfrían hacia el ambiente: el suministro de calor desde el evaporador es bajo y el enfriamiento está dominado por la transferencia hacia el ambiente. En esta experiencia parece alcanzarse una temperatura de equilibrio en la fuente, alrededor de los 40°C.

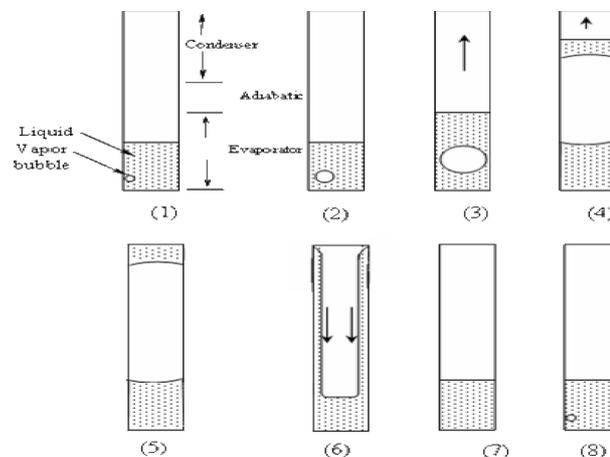


Figura 3. Esquema del efecto geiser, Ref: Sarmasti Emami y otros, 2009

Cuando cesa el calentamiento se produce una última pulsación que enfría F y E calienta M y C. A continuación se produce el desacople entre el evaporador y el punto medio, F y E aumentan un poco y comienzan a enfriarse lentamente sin pulsaciones, mientras que M disminuye rápidamente su temperatura para posteriormente enfriarse lentamente junto con C. En esta etapa el calor sería transmitido por conducción en el cobre hacia arriba y hacia el ambiente, y en menor medida por convección en el interior.

Potencia baja, de 6 a 20W aproximadamente. Las curvas de temperaturas están siempre separadas en las cuatro posiciones medidas. El comportamiento inicial es similar al caso anterior hasta la primera pulsación. Se producen pulsaciones de gran amplitud en fase en F y E y a contrafase en M, mientras que C aumenta suavemente sin grandes oscilaciones. Las temperaturas suben sistemáticamente y se produce una transición a un régimen en el que se observan oscilaciones rápidas de menor amplitud y mayor frecuencia, (oscilaciones pequeñas) hasta que se produce una pulsación anómala: F y E aumentan su valor mientras que M disminuye bruscamente; a continuación el calentamiento continúa regularmente con pequeñas oscilaciones. Cuando se corta el calentamiento cesan las oscilaciones pequeñas y todos los puntos se enfrían lentamente. Puede aparecer otra pulsación anómala y se produce el desacople entre E y M como en el caso anterior.

¿Qué puede provocar una pulsación anómala, en la que F y E aumentan y M disminuye? Una posibilidad es que un tapón de agua a media altura absorba calor del tubo, se rompa y genere una onda de vapor que se propaga hacia abajo aumentando la temperatura de F y E. Otra posibilidad es que se forme una burbuja en la película líquida de retorno desde el condensador al evaporador. Al hacerlo absorbe calor bajando la temperatura en M, el vapor liberado se propaga como una onda que calienta súbitamente E y F. Esto requiere mayor análisis.

Potencias medias, de 20 a 35W aproximadamente. La primera etapa del calentamiento presenta un comportamiento similar a los casos anteriores salvo que las oscilaciones pequeñas se hacen imperceptibles. Después de las pulsaciones grandes F y E suben monótonamente mientras que empiezan a aparecer oscilaciones entre M y C. A 23.5W la temperatura máxima que alcanza C se aproxima a la temperatura de M; a potencias mayores la temperatura del condensador supera la de M durante un cierto intervalo, las curvas se cruzan (figuras 2 b, c y d). Esto sugiere que el calor es transportado por un proceso convectivo intenso en el tubo, que predomina sobre la conducción del cobre. Al terminar el calentamiento se produce el desacople entre E y M y, a veces, se observa posteriormente una última pulsación.

Potencias altas, de 35 a 60W aproximadamente. El comportamiento general es similar al observado a potencias medias salvo que después del desacople se producen algunas oscilaciones grandes antes de seguir un enfriamiento monótono.

Análisis de las diferencias de temperaturas.

La diferencia de temperatura entre el evaporador y el condensador es un indicativo de la transferencia térmica dentro del GAHP, mientras que la diferencia de temperatura entre el condensador y el ambiente es una medida de cuánto calor es liberado en la fuente fría, en este caso el ambiente. Como la transferencia depende de la temperatura media del ambiente durante cada experiencia, a fin de poder comparar los valores obtenidos se adimensionó la temperatura de la siguiente forma:

$$T' = \frac{(T - T_{\text{ambiente}})}{T_{\text{ambiente}}} \tag{4}$$

La figura 4 muestra las diferencias $T'_{\text{evap}} - T'_{\text{cond}}$ mientras que la figura 5 muestra las diferencias $T'_{\text{cond}} - T'_{\text{ambiente}}$ como función del tiempo desde el inicio del calentamiento, teniendo como parámetro la potencia eléctrica suministrada al calefactor. Se observa que la transferencia es pulsante después del desacople entre el evaporador y el punto medio, es decir, aún cuando ya cesó el calentamiento.

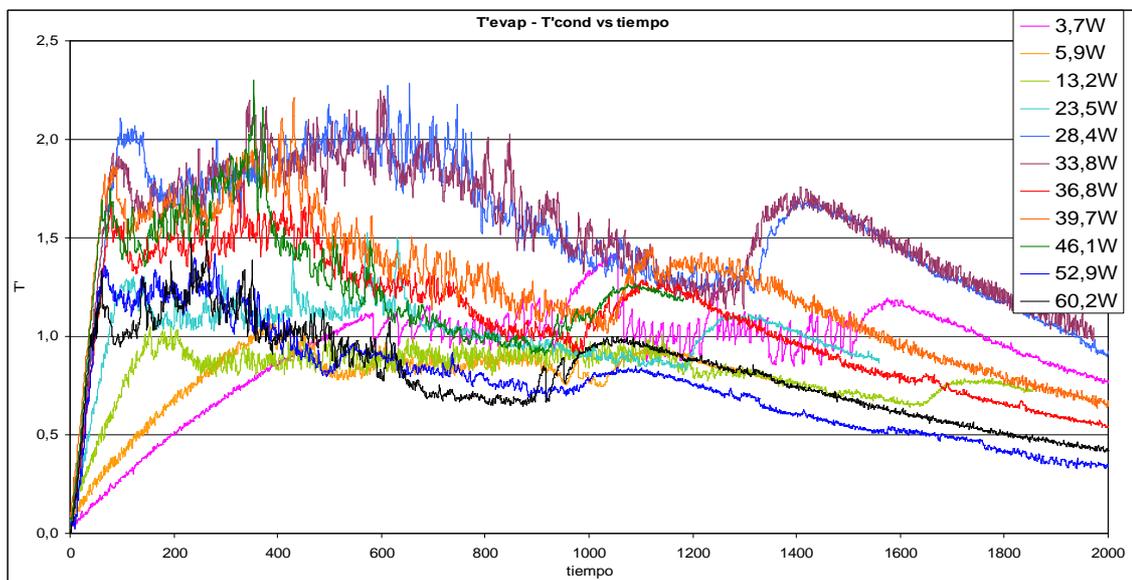


Figura 4. Diferencia de temperatura adimensional entre evaporador y condensador.

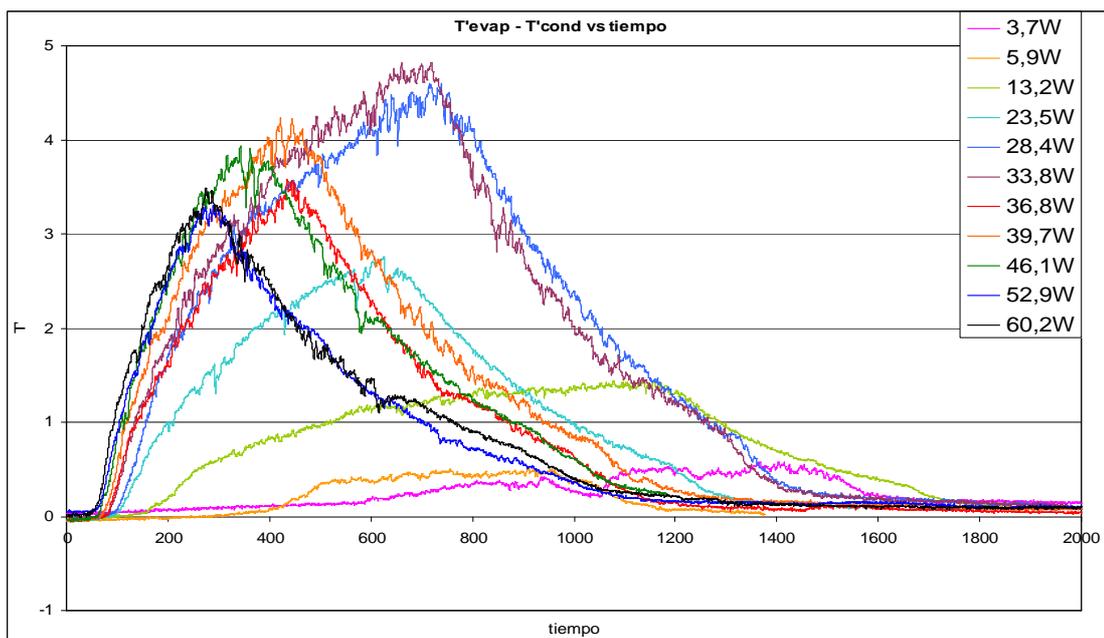


Figura 5. Diferencia de temperatura adimensional entre condensador y ambiente.

Se observan otros comportamientos inesperados. Uno pensaría que a medida que aumenta la potencia eléctrica suministrada el calentamiento sería más rápido (la pendiente de la curva sería mayor), y las diferencias de temperatura máximas entre el condensador y el ambiente crecerían monótonamente. Sin embargo los gráficos muestran que este comportamiento se cumple para potencias menores a unos 30W, pero a valores mayores la rapidez de calentamiento parece alcanzar algún valor que no puede superarse, las curvas están muy próximas. La diferencia de temperatura máxima entre el condensador y el ambiente también crece mientras la potencia es menor que unos 30W y después disminuye.

Análisis de los coeficientes globales de transferencia UA y resistencia R

Las figuras 6 a) y b) y la Tabla I muestran los valores promedio de los coeficientes globales de transferencia UA y la resistencia R durante el período pulsante en función de la potencia disipada P. A fin de comparar con los resultados previos, en las figuras 7 a y b se muestran todos los resultados obtenidos hasta ahora.

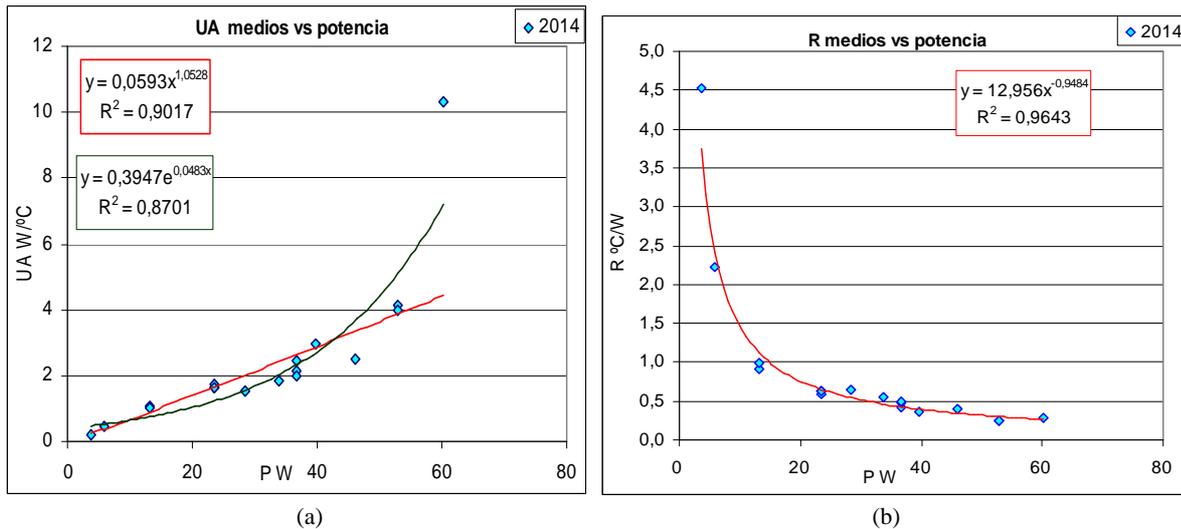


Figura 6. Valores medios de (a) UA y (b) R en función de P, experiencias actuales.

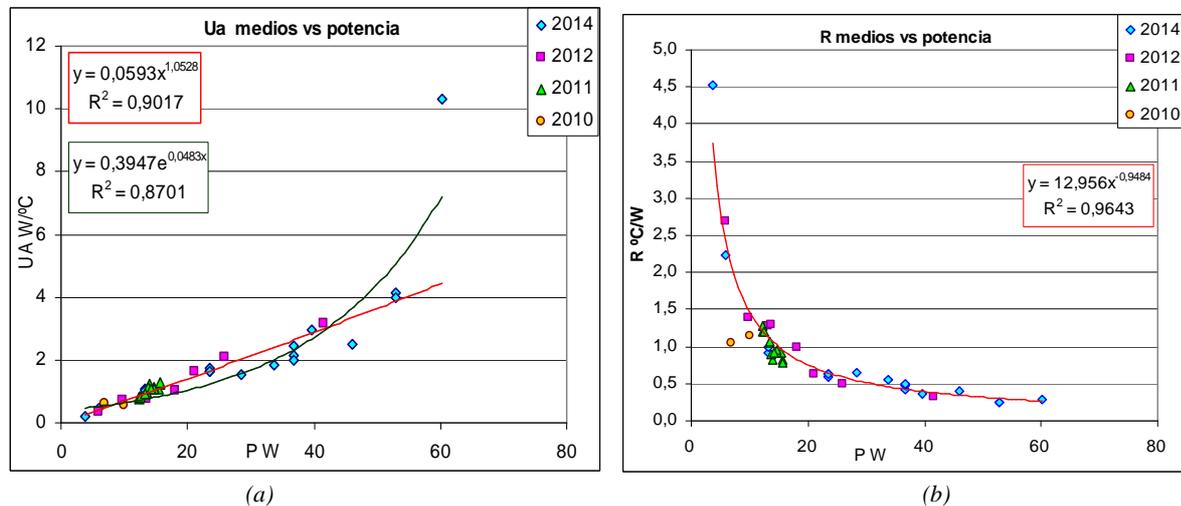


Figura 7. Valores medios de (a) UA y (b) R en función de P, incluye experiencias previas.

Se observa que, a diferencia de experiencias previas en las que UA mostraba una tendencia lineal creciente, los resultados actuales que extendieron el rango de potencias ensayado, muestran un mejor ajuste con una curva potencial inducido por la medida realizada a 60,2W. R por su parte muestra una tendencia decreciente siguiendo un ajuste potencial como se observó en experiencias previas y de acuerdo a lo que reporta la bibliografía. En el rango de potencias térmicas $3W < P < 60W$ se puede caracterizar el GAHP de cobre con las siguientes relaciones para el coeficiente global de transferencia térmica y su resistencia térmica:

$$UA = 0,059P^{1,053} \quad [W/^{\circ}C] \quad \text{con } R^2 = 0,902 \quad (5)$$

$$R = 12,956 P^{-0,948} \quad [^{\circ}C/W] \quad \text{con } R^2 = 0,964 \quad (6)$$

Analizando la discrepancia con los ajustes previos se calculó la potencia evacuada en la serie 17 a partir de los valores de UA y de la diferencia $\Delta T = T_{\text{evap}} - T_{\text{cond}}$ promediados durante el período pulsante obteniéndose un valor de 180W, mucho mayor

que lo que suministraba la fuente. El gráfico de diferencias de temperatura en función del tiempo mostró que en ese intervalo los valores de ΔT fueron negativos, es decir, el condensador estaba más caliente que el punto medio (figura 8).

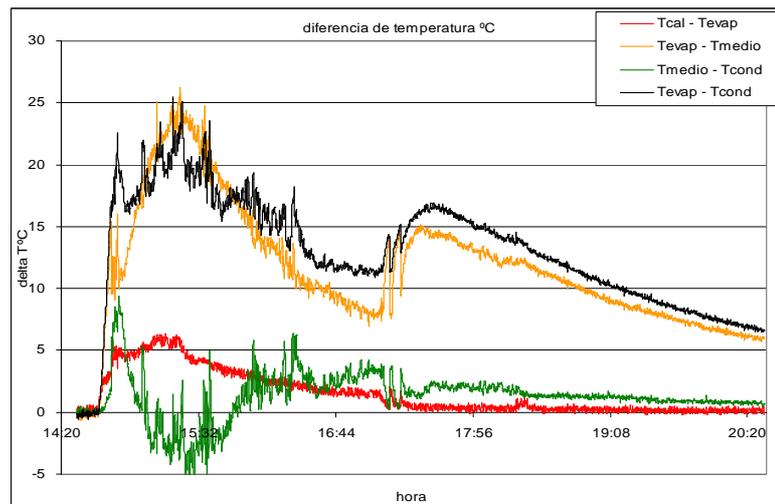


Figura 8. Diferencias de temperatura correspondiente a 60.2W.

Esto sugería que el condensador extraía calor no sólo de la fuente sino de la zona media del tubo de cobre. Para investigar esta posibilidad se calculó un nuevo coeficiente de transferencia, UA1 de la siguiente manera y se lo comparó con el coeficiente global UA (figura 9 a y b).

$$UA1 = Q / (T_{\text{medio}} - T_{\text{cond}})$$

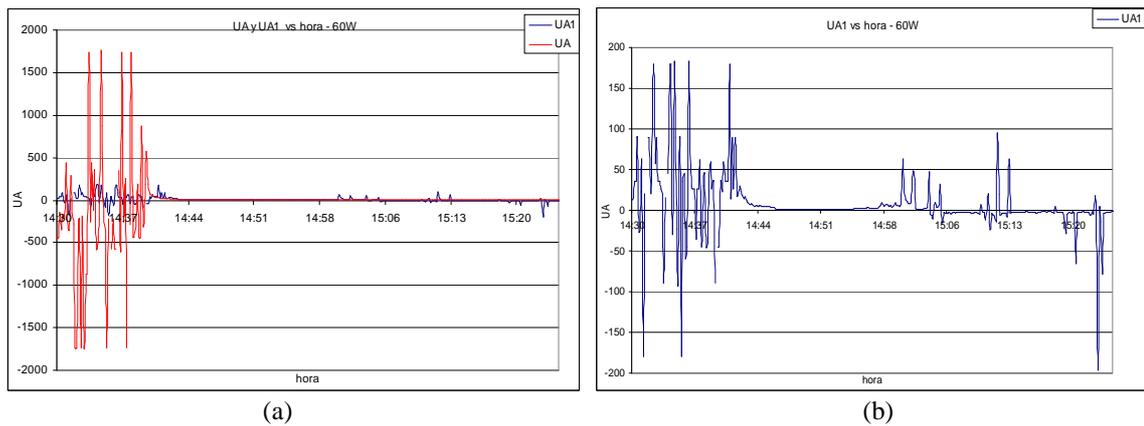


Figura 9. Coeficiente de transferencia a) UA entre el evaporador y el condensador y UA1 entre el punto medio y el condensador, y b) UA1 entre el punto medio y el condensador.

Se observa que en ambas variables hay bruscas oscilaciones. Cuando se produce una inversión de temperaturas entre el evaporador y el condensador $\Delta T < 0$, el coeficiente UA es negativo y se puede interpretar que desde el líquido en el evaporador se desprenden burbujas que ascienden rápidamente como frentes de vapor que calientan el condensador provocando fuertes oscilaciones en UA (figura 10 b).

Cuando se produce una inversión de temperaturas entre la zona media y el condensador, $\Delta T1 = T_{\text{medio}} - T_{\text{cond}} < 0$, el coeficiente UA1 es negativo y se puede interpretar que desde el líquido de la película de retorno en la zona media se desprenden burbujas que ascienden rápidamente como frentes de vapor que calientan el condensador provocando fuertes oscilaciones en UA1. En este caso el GAHP toma calor, no sólo del evaporador, sino también del ambiente y del cobre en la zona media, determinando que la potencia evacuada en el condensador sea mayor que la que suministra la fuente (figura 10 c). Estos resultados requieren más experiencias y análisis para confirmar esta hipótesis.

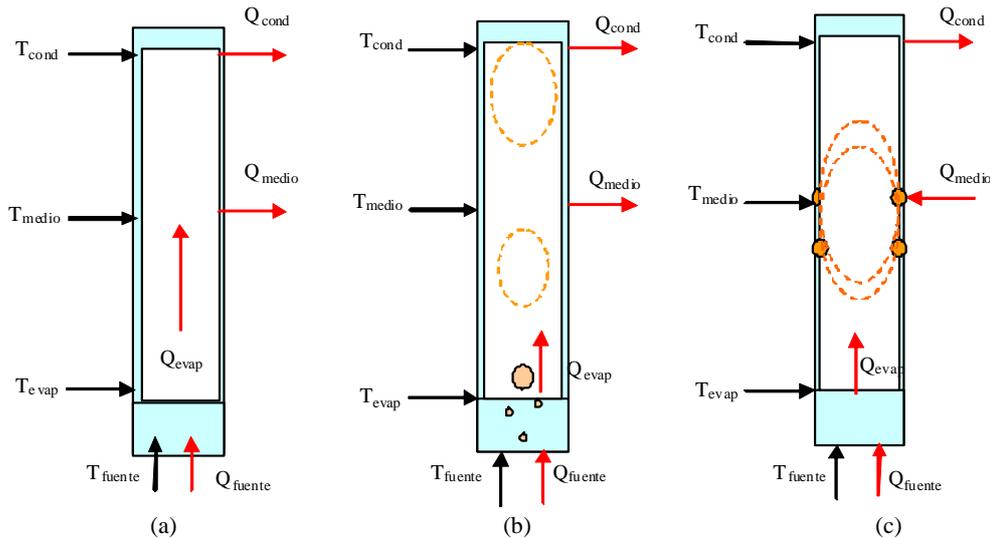


Figura 10. Posible explicación de los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

De las últimas experiencias realizadas con el GAHP de cobre, en condiciones de suministro de potencia térmica constante se puede concluir lo siguiente.

- Las medidas de temperatura muestran oscilaciones, asociadas a las pulsaciones causadas por el desplazamiento de agua líquida o vapor que confirman resultados previos.
- Se distinguen diferentes regímenes de funcionamiento del GAHP dependiendo de la potencia suministrada.
- Al comienzo del calentamiento la temperatura sube regularmente hasta que se produce la primera pulsación. A continuación se producen pulsaciones de gran amplitud en fase en F y E y a contrafase en M, mientras que C aumenta suavemente sin grandes oscilaciones. Se produce una transición a un régimen en el que se observan oscilaciones rápidas de menor amplitud y mayor frecuencia, (oscilaciones pequeñas).
- A veces se produce una pulsación anómala: F y E aumentan su valor mientras que M disminuye bruscamente.
- A potencia medias y altas la temperatura máxima que alcanza el condensador alcanza y supera la temperatura máxima de M durante un cierto intervalo.
- Durante el enfriamiento hay una transición en la que se desacoplan T_{medio} y T_{cond} de T_{fondo} y T_{evap} ; después del desacople se producen algunas oscilaciones grandes antes de seguir un enfriamiento monótono.
- La transferencia térmica global es pulsante aún cuando cesó el calentamiento y después del desacople.
- Se observa que a medida que aumente la potencia el calentamiento aumenta más rápidamente pero parece alcanzar un valor límite y que la diferencia de temperatura máxima entre el condensador y el ambiente crece mientras la potencia es menor que unos 30W y después disminuye.
- En el rango de potencias térmicas ensayado $3W < P < 60W$ se puede caracterizar el GAHP de cobre con las siguientes relaciones para el coeficiente global de transferencia térmica global y su resistencia térmica:

$$\begin{aligned}
 UA &= 0,059P^{1,053} \quad [W/^{\circ}C] & \text{con } R^2 &= 0,902 \\
 R &= 12,956 P^{-0,948} \quad [^{\circ}C/W] & \text{con } R^2 &= 0,964
 \end{aligned}$$

- En la experiencia a 60,2W se observa que la potencia media evacuada es mayor que la suministrada por la fuente. Se interpreta que en este caso el GAHP toma calor, no sólo del evaporador, sino también del ambiente y del cobre en la zona media, determinando que la potencia evacuada en el condensador sea mayor que la que suministra la fuente. Estos resultados requieren más experiencias y análisis para confirmar esta hipótesis.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Anwarul Hasan, Chowdhury MD Feroz, Sadrul Islam, A.K.M. (2003) *Performance of gravity assisted heat pipe* Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering 2003, Dhaka, Bangladesh.
- Azad, E. (2008) *Theoretical and experimental investigation of heat pipe solar collector*, Experimental Thermal and Fluid Science, **32**,8, pp. 1666-1672.
- Charoensawan, P., Khandekar, S., Groll, M., Terdtoon, P. (2003). *Closed loop pulsating heat pipes Part A: parametrical experimental investigations*, Applied Thermal Engineering. **23**, 16, 2009-2020.
- Chi, S.W. (1976). *Heat Pipe Theory and Practice – A source book* McGraw-Hill Book Company.

- De Paul, I., Frigerio, E., Hoyos, D., Quintana, J. (2009). *Visualización de flujos en un tubo de calor asistido por la gravedad*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. **Vol. 13**, versión CD, pp.03.09-03.15. ISSN. 0329-5184
- De Paul, I., Frigerio, E., Quintana, J. (2010). *Explorando el comportamiento caótico en tubos de calor asistidos por la gravedad*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente **Vol. 14**, pp.03.191-03.197. ISSN. 0329-5184.
- De Paul, I., Frigerio, E. (2012) *Caracterización de un ghp pulsante*, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente **Vol. 16**, versión CD, pp.03.07-03.14. ISSN. 0329-5184.
- Dobson, R.T., Ruppertsberg, J.C., *Flow and heat transfer I a closed loop thermosyphon. Part I – theoretical simulation*. Journal of Energy in Southern Africa, Vol 18, N° 3, 32-40. (2007)
- Dunn, P.D., Reay, D.A. (1976). *Heat Pipes*, Pergamon Press.
- Filippeschi, S., *On periodic two-phase thermosyphons operating against gravity*, In. Journal of Thermal Science, 45, 124-137 (2009).
- Frigerio, E., De Paul, I., Quintana, J. *Estudio comparativo del funcionamiento de tubos de calor en cobre y vidrio* Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente **Vol. 14**, versión CD, pp.03.177-03.183. (2010). ISSN. 0329-5184.
- Frigerio, E., De Paul, I., Quintana, J. (2009). *Ensayo de un tubo de calor asistido por la gravedad*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. **Vol. 13**, versión CD, pp.03.01-03.07. ISSN. 0329-5184.
- Ivanovskiy, M.N., (1982). *The Physical Principles of Heat Pipes*, Clarendon Press, Oxford.
- Joudi, K.A., Witwit, A.M., (2000). *Improvements of gravity assisted wickless heat pipes*, Energy Conversion and Management, **41**, 2041-2061.
- Khandekar, S., Dollinger, N., Groll, M., (2003). *Understanding operational regimes of closed loop pulsating heat pipes: an experimental study*, Applied Thermal Engineering, 23,707-719.
- Khandekar, Sameer, (2004). *Thermo-Hydrodynamics Of Closed Loop Pulsating Heat Pipes*, Tesis de Doctorado, Institut für Kernenergetik und Energiesysteme der Universität Stuttgart.
- Khazaei, I., Hosseini, R., Noie, S.H. (2010) *Experimental investigation of effective parameters and correlation of geyser boiling in a two phase closed thermosyphon*, Applied Thermal Engineering 30 (5) 406-412.
- Lin, T.F., Lin, W.T., Tsay, Y.L., Wu, J.C. (1995) *Experimental investigation of geyser boiling in an annular two-phase closed thermosyphon*, Int. J. Of Heat and Mass Transfer, 38 (2) 295-307.
- Lips, S., Bensalem, A., Bertin, Y., Ayel, V., Romestant, C. (2010) *Experimental evidences of distinct heat transfer regimes in pulsating heat pipes (PHP)* Applied Thermal Engineering 30, 900-907
- Rittidech, S., Wannapakne, S., (2007), *Experimental study of the performance of a solar collector by closed-end oscillating heat pipe (CEOHO)*, Applied Thermal Engineering, **27**,11-12, pp.1978-1985.
- Ruppertsberg, J.C., Dobson, R.T., *Flow and heat transfer in a closed loop thermosyphon. Part II – experimental simulation*. Journal of Energy in Southern Africa, Vol 18, N° 3, 41-48. (2007)
- Sarmasti Emami, M.R., Noie, S.H., Khooshnoodi, M.K., Hamed Mosavian, M.T., Kianifar, A. (2009) *Investigation of geyser boiling phenomenon in a two-phase closed thermosyphon* Heat Transfer Engineering, 30(5), 408-415.
- Shafii, M.B., Faghri, A., Zhang, Y., (2002). *Analysis of heat transfer in unlooped and looped pulsating heat pipes*, Int. J. of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow, **12**, 5, 585-609.
- Tadrist, L. (2007). *Review on two-phase flow instabilities in narrow spaces*, International Journal of Heat and Fluid Flow, 28, 54-62.
- Tang, X., Quan, Z., Zhao, Y. *Experimental investigation of solar panel cooling by a novel micro heat pipe array*, Energy and Power Engineering, 2010, 2, 171-174
- Yang, H., Khandekar, S., Groll, M., *Performance characteristics of pulsating heat pipes as integral thermal spreaders*, Int. Journal of Thermal Science, 48, 815-824. (2009)

ABSTRACT

A gravity assisted heat pipe (GAHP) built in copper that uses distilled water as fluid of transference was tested at constant power in the range 3.7W to 60.2W. The thermal measurements show a pulsating functioning consistent with previous observations making evident that different thermohydrodynamic regimes are present that depend on the supplied power. The global coefficient of transfer UA and the thermal resistance R for the different tested powers were calculated showing some discrepancies when they are compared with previous results. The results are analyzed from a phenomenological point of view.

Keywords: gravity assisted heat pipe, energy transference, geyser boiling