

UN NUEVO DISEÑO PARA ENFRIAMIENTO PASIVO

E. Frigerio, L. Saravia¹, R. Lozano y G. Campos²

INENCO*

Buenos Aires 177 - 4400 Salta

Tel.: (087) 255423

Fax:

INTRODUCCION.

En trabajos presentados anteriormente se indicó la necesidad de generar equipos de enfriamiento en zonas aisladas que funcionen en forma pasiva. En particular, en zonas altas como La Puna y los valles Calchaquíes se indicó la importancia del recurso de la radiación nocturna.

Un equipo que usaba tubos de calor presentado anteriormente no dió resultados satisfactorios, pero mostró la necesidad de prestar más atención al problema de transferencia en los extremos de dichos tubos.

Se han construido dos tipos de equipos para dar respuesta a los problemas planteados.

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS.

El primero de ellos es un circuito de convección natural simple en donde la irradiación a cielo se efectúa mediante un tanquecito plano construido en chapa galvanizada. (fig. 1). Este radiador, dispuesto inclinado respecto a la horizontal, ha sido aislado por debajo y por los costados con una caja de poliestireno expandido de 5 cm de espesor. La parte

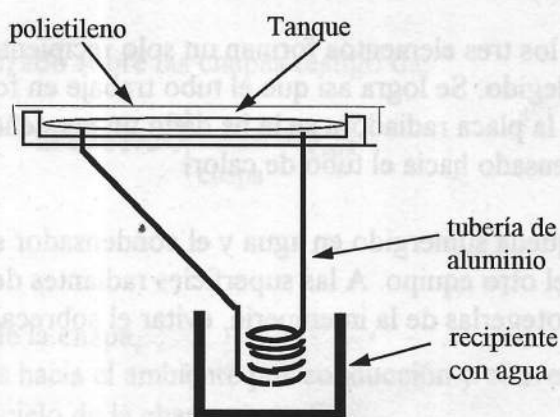


Figura 1

¹ Investigador del CONICET

² Facultad de Cs. Ex. y Tecnología - Univ. Nac. de Santiago del Estero.

* Instituto UNSa.-CONICET

superior ha sido cerrada con una lámina de polietileno, dejando una superficie de irradiación de $0,5 \text{ m}^2$.

El tanque está conectado a un serpentín, que se encuentra inmerso en un recipiente con 8 dm^3 de agua. Tanto las conexiones como el serpentín han sido hechos con un tubo de aluminio de 8 mm de diámetro interior. El fluido elegido para circular por el circuito es metanol, conteniendo todo el sistema alrededor de 5 dm^3 .

El segundo equipo (fig. 2) consiste en un tubo de calor de cobre cuyo extremo evaporador es un tanque unido en forma solidaria e intercomunicado con él. El evaporador, de forma prismática, tiene 430 cm^3 de capacidad y presenta un aleteado externo por debajo.

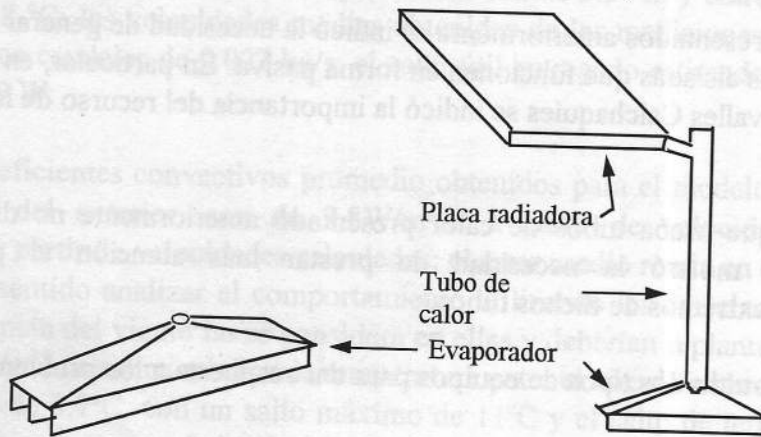


Figura 2

Al extremo condensador se encuentra unida y conectada a él una placa radiante consistente en otro tanque plano de 1 m^2 de superficie y 1 cm de alto. Dentro del tanque se le colocaron espigas metálicas para evitar el aplastamiento cuando se hace vacío. Ambos tanques fueron hechos en chapa galvanizada.

De esta manera los tres elementos forman un solo recipiente por donde circula el fluido de intercambio elegido. Se logra así que el tubo trabaje en forma vertical lo que ayuda a su funcionamiento. A la placa radiadora se le ha dado un pequeño ángulo para facilitar el escurrimiento del condensado hacia el tubo de calor.

El evaporador queda sumergido en agua y el condensador se aisló de la misma manera que se hizo en el otro equipo. A las superficies radiantes de ambos equipos se las pintó de blanco para protegerlas de la intemperie, evitar el sobrecalentamiento de día y mejorar la emisividad.

Una pequeña pérdida en el equipo que hasta el presente no fué reparada hace que las medidas realizadas sean insuficientes y no confiables, por lo que no se incluyen resultados de los ensayos en el presente trabajo.

MEDICIONES.

En el equipo de convección natural se han colocado termocuplas en la entrada y salida del tanque radiador, en el centro del tanque, a la entrada y a la salida del serpentín justo por arriba del nivel de agua del recipiente que lo contiene y, finalmente, dos en el seno del agua y a distintas alturas para verificar la probable estratificación. Su disposición se

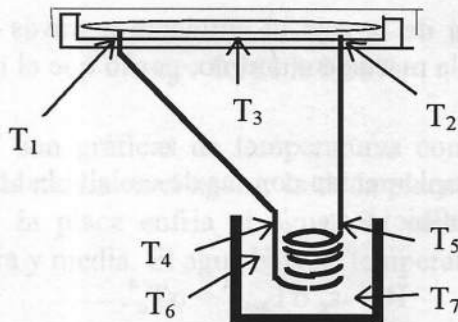


Figura 3

esquematisa en la figura 3. Junto con estas medidas se midió radiación infrarroja R con un pirgeómetro y temperatura ambiente de bulbo seco T_s y bulbo húmedo T_h .

Por otra parte, se colocaron dos chapas testigo iguales en una caja de poliestireno preparada de la misma forma que la de la placa radiadora para poder estimar la emisividad de las placas. Sólo una de las chapas está pintada de blanco, lo que permite verificar la utilidad de la pintura. Se midió la temperatura central de ambas chapas.

CALCULOS.

Un balance realizado sobre las chapas testigo da:

$$A \cdot (R \uparrow - R) = \left(m c_p \frac{\delta T}{\delta \tau} \right) \Big|_{\text{chapa}} - Q_{\text{pérd}},$$

donde:

τ = tiempo,

A = superficie de la chapa,

$Q_{\text{pérd}}$ = pérdidas hacia el ambiente por conducción y convección,

$R \uparrow$ = emisión a cielo de la chapa = $\epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$,

y donde el subíndice chapa refiere a los parámetros de la chapa. Despejando de esta ecuación obtenemos la emisividad aparente de la chapa. Los términos de la derecha son mucho menores que R por lo que

$$\epsilon \approx R / (\sigma T^4)$$

es una muy buena aproximación.

Otro parámetro importante a conocer es el \dot{m} , es decir, el flujo másico adquirido por el alcohol en el sistema. Para ello se planteó un balance energético en el recipiente con agua, resultando:

$$m c_p (T_4 - T_5) \Big|_{\text{metanol}} = M C_p \frac{\delta T}{\delta \tau} \Big|_{\text{agua}} + Q_p \quad (3)$$

donde Q_p designa las pérdidas de la caja al ambiente a través de sus paredes. En esta ecuación no se tiene en cuenta la masa de aluminio, por lo que el resultado del cálculo dará un límite superior.

Estas ecuaciones se complementan con las de emisividad de cielo y temperatura de cielo obtenidas a partir de su definición:

$$R = \epsilon_c \sigma T_{\text{amb}}^4 = \sigma T_c^4 \quad (4)$$

RESULTADOS.

Los resultados de las mediciones se vuelcan en los gráficos siguientes. En la figura 4 se muestran las temperaturas alcanzadas por las chapas testigo en una noche de cielo despejado, incluyendo la ambiente y la de cielo a fines comparativos. La diferencia de temperatura lograda entre la chapa blanca y el ambiente es de unos 11 grados, llegando la chapa a 0,5 °C. La otra chapa se mantiene persistentemente un par de grados por encima

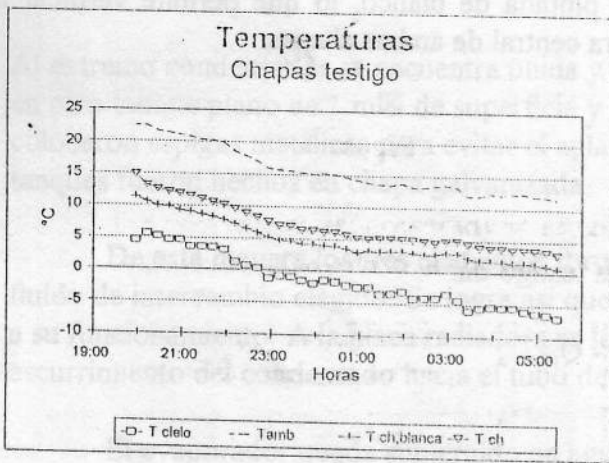


Figura 4

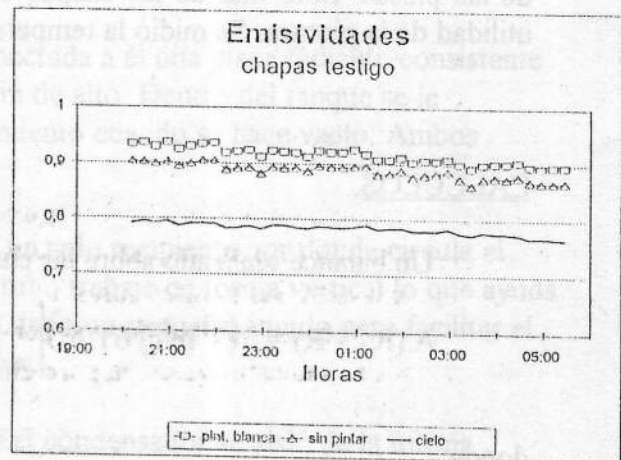


Figura 5

evidenciando una menor emisión. Se observa también que el cielo estaba "caliente", debido principalmente a la humedad reinante.

La figura siguiente, que muestra las emisividades calculadas para el mismo período, reafirma lo aseverado en el párrafo anterior. La emisividad de cielo permanece prácticamente constante y alta para la localidad y la época. La emisividad promedio para la chapa pintada es:

$$\epsilon_1 = 0,91 \pm 0,01, \quad (5)$$

y para la chapa sin pintar:

$$\epsilon_2 = 0,88 \pm 0,01. \quad (6)$$

La de cielo fue:

$$\epsilon_c = 0,781 \pm 0,007. \quad (7)$$

Las figuras 6 y 7 son gráficas de temperaturas conseguidas en el equipo. En la primera sólo se muestran la media en el agua y la de la placa radiadora acompañadas por la ambiente. Se nota cómo la placa enfría el agua. Su efecto se ve con un retardo de aproximadamente una hora y media. El agua baja su temperatura por debajo de la

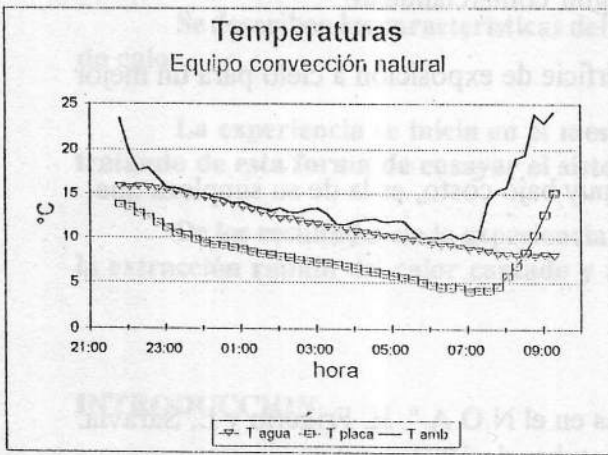


Figura 6

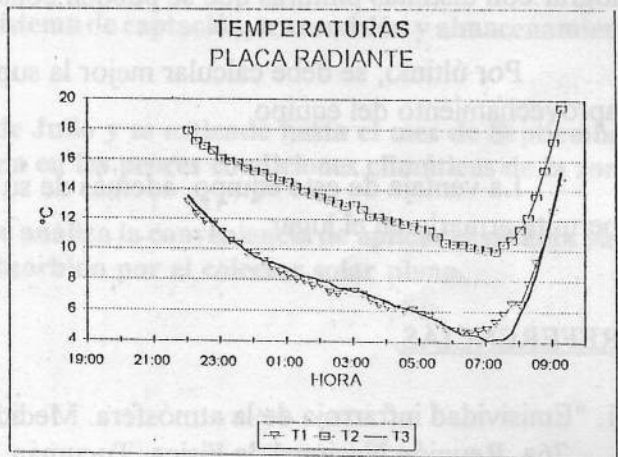


Figura 7

ambiente, llegando a unos 8 °C. En la segunda figura se graficaron las temperaturas de entrada (T_2) y salida (T_1) del radiador, además de T_3 tomada al centro del mismo. La correspondencia entre las temperaturas T_1 y T_3 indica que al menos la mitad de la superficie del radiador es desaprovechada para el flujo conseguido.

En la figura siguiente se dibujaron las velocidades calculadas según se describió más arriba. Un promedio sobre estos valores arroja los siguientes resultados:

$$\dot{m} = (0,7 \pm 0,4) \text{ g/s} \quad (8)$$

y

$$v = (1,8 \pm 0,9) \text{ cm/s}. \quad (9)$$

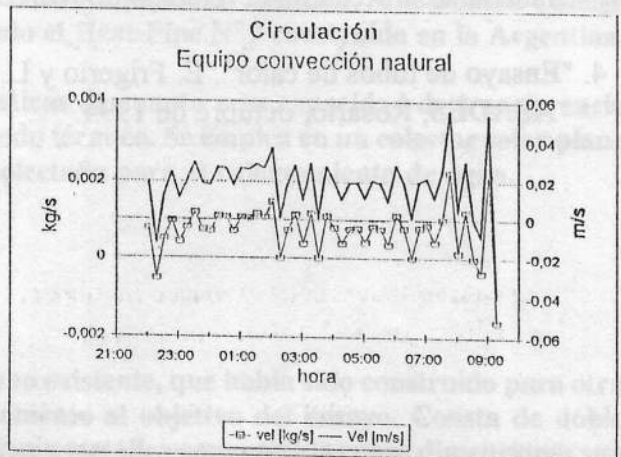


Figura 8

CONCLUSIONES.

El equipo fue probado bajo condiciones de trabajo que no responden a la región a la que está destinada. Sin embargo, las experiencias muestran que el sistema funciona en forma razonable, enfriando por debajo del ambiente. No se puede estimar todavía toda su capacidad de enfriamiento debido a que de día se produce un flujo inverso, calentando el agua. Para detenerlo se incorporará una llave de corte. Tampoco ayudó el tiempo, ya que no se dispuso con frecuencia de cielos claros y limpios.

Otro elemento que se piensa incorporar en su diseño, es la conexión del tanque al serpentín mediante mangueras plásticas, en lugar de tubos de aluminio, lo que facilitaría el armado del sistema.

La diferencia de emisividades observada entre las chapas testigo justifica pintar los radiadores. Sin embargo, se debe aún hacer un estudio de las emisividades que se pueden lograr con distintas pinturas que se pueden conseguir comercialmente.

Por último, se debe calcular mejor la superficie de exposición a cielo para un mejor aprovechamiento del equipo.

La ventaja de este equipo, además de su muy bajo costo, es la de su simpleza que permite armarlo en el lugar.

REFERENCIAS.

1. "Emisividad infrarroja de la atmósfera. Medidas en el N.O.A.". E. Frigerio y L. Saravia. 76a. Reunión Nacional de Física, Tucumán, octubre de 1991.
2. "Diseño de un equipo de enfriamiento por radiación nocturna". E. Frigerio y L. Saravia. 15a. Reunión de Trabajo de ASADES, Catamarca, 3 al 6 de noviembre de 1992.
3. "Equipo de enfriamiento por Radiación Nocturna: un primer prototipo". E. Frigerio y L. Saravia. 16a. Reunión de Trabajo de ASADES, La Plata, noviembre de 1993.
4. "Ensayo de tubos de calor". E. Frigerio y L. Saravia. 17a. reunión de trabajo de ASADES, Rosario, octubre de 1994.