

ENFRIAMIENTO PASIVO: ENSAYOS EN CACHI

Erico Frigerio¹

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta

Tel.: (0387) 4255424, (0387) 4255489.

Email: frigerio@unsa.edu.ar

RESUMEN. Se mejoró un sistema presentado en trabajos anteriores que enfría mediante la circulación natural de un alcohol. Para ello se tuvo en cuenta que una pintura encontrada tiene buenas propiedades antiselectivas que presuponen un 16% más de potencia irradiada que la de una pintura blanca común. Se ensayó el equipo en dos oportunidades en Cachi con el propósito de adaptarlo a las condiciones de los Valles Calchaquíes. Se logró formar hielo durante el transcurso de una noche. Se muestra una comparación con un ensayo realizado en Salta.

Palabras clave: Radiación nocturna, Enfriamiento pasivo, Sistemas, Diseño, Ensayos.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de enfriamiento pasivo por irradiación a cielo depende del clima y de la altura geográfica. Una atmósfera húmeda y cálida es un gran emisor radiativo por lo que se tiene poca capacidad de enfriar. A mayor altura, menor cantidad de atmósfera y mayor posibilidad de enfriamiento.

Las potencias disponibles son pequeñas, del orden de los 100 W/m² o menores por lo que para enfriar pasivamente se requiere de un buen diseño de los sistemas. Los Valles Calchaquíes y La Puna son lugares en la zona con potencias de ese orden y están disponibles, ya que poseen una gran ocurrencia de días claros.

Por otra parte, los equipos desarrollados se ensayaron hasta el presente en Salta, lugar cuya capacidad de enfriamiento es sensiblemente menor que en los mencionados. Es por ello que se deseaba probar el equipamiento en los Valles Calchaquíes y en La Puna. Se ha buscado mejorar un sistema presentado en trabajos anteriores (Lozano y Frigerio, 1999, Frigerio, 2003) que enfría mediante la circulación natural de un alcohol. Para ello se tuvo en cuenta que la pintura encontrada (Frigerio, AVERMA 2002) tiene buenas propiedades antiselectivas.

Por lo expuesto, se han realizado campañas en Cachi con el propósito de adaptar y ensayar el equipo a las condiciones de los Valles Calchaquíes.

EQUIPO Y MEDIDAS

El diseño del equipo es esencialmente el que se describió en trabajos previos (Frigerio, tesis 2000; Frigerio, 2003). Es un circuito por donde circula alcohol por convección natural. (Figura 1). Este circuito consta de un tanquecillo plano de 0,47 m² que actúa de radiador a cielo, un serpentín que toma calor de un depósito de agua y las conexiones mediante mangueras entre estos dos elementos.

Se cambiaron las mangueras de conexión por nuevas de 19 mm de diámetro interno y paredes gruesas (3 mm).

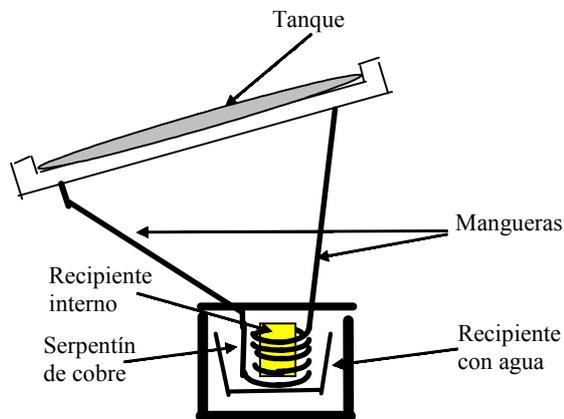


Figura 1. Esquema del equipo de enfriamiento utilizado.

¹ INENCO, Instituto UNSa - CONICET

En el actual diseño, el serpentín abraza un recipiente metálico y ambos están sumergidos en otro recipiente con agua que los contiene. Este último se encuentra dentro de una caja de poliestireno expandido de 7,5 cm de espesor. El conjunto del serpentín, los recipientes y la caja aislante conforman la conservadora. Este diseño presenta dos ventajas: por un lado se puede armar in situ lo cuál lo hace más transportable, y por otro se puede adaptar rápidamente al lugar elegido para su ubicación.

Se pintó el radiador con la laca antiselectiva, cuyas propiedades ya se discutieron (Frigerio, AVERMA 2002). Esta pintura, que se hizo preparar especialmente, persigue el propósito de mejorar su reflectividad evitando el sobrecalentamiento diurno y mejorar su emisividad infrarroja. Las propiedades de reflectividad medidas se muestran en la figura 2. Del intervalo entre 1,1 y 4 μm no se tienen datos o son defectuosos. La emisividad infrarroja promedio está cercana a 0,95 mientras que la medida para una pintura blanca común es de 0,91 (Frigerio, 2000).

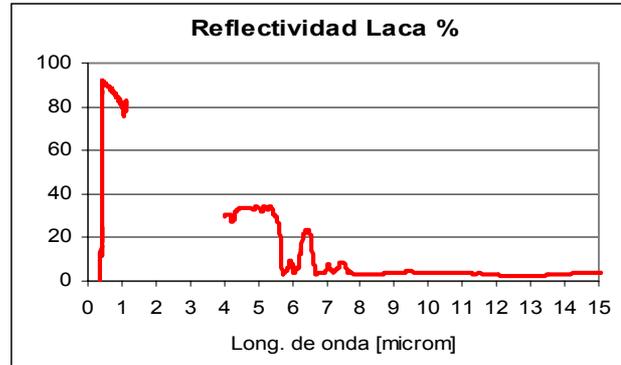


Figura 2. Propiedades de reflectividad de la pintura usada.

En la primavera se instaló el equipo en Cachi, en una vivienda que posee la Universidad en el paraje Quipón. El radiador se ubicó en el techo mientras que la conservadora en un pasillo a la entrada de la vivienda. Al comienzo se la situó lejos de la puerta de ingreso (figura 3 -B). Esto demandó 4 m de manguera para cada una de las conexiones. Estas fueron aisladas envolviéndolas con aislante plástico para ropa de abrigo (Acrotop) y con una cinta de polietileno por encima. La conservadora fue usada sin el recipiente metálico ya que se tenía problemas con él. Se cargaron 5 litros de agua en el recipiente exterior tapando el serpentín. (figura 3 - C)



Figura 3. Vistas de la instalación del equipo.

Se midieron las temperaturas con termocuplas en el agua, dos en el radiador (entrada y salida), el ambiente externo (bulbos seco y húmedo) y el interno donde se hallaba la conservadora. Se probaron distintos ángulos de inclinación del radiador, comenzando en 24°. Al tercer día se notó que hubo pérdidas de alcohol en las uniones de las mangueras, por lo que se decidió reacomodar el equipo completo cortando las mangueras (figura 3 - A), recargando alcohol, cambiando el agua del evaporador y colocando a 32 ° el radiador. La figura 4 muestra la evolución de temperaturas durante los cuatro días. Los puntos faltantes en el agua y el radiador se refieren al periodo en que se arregló el equipo.

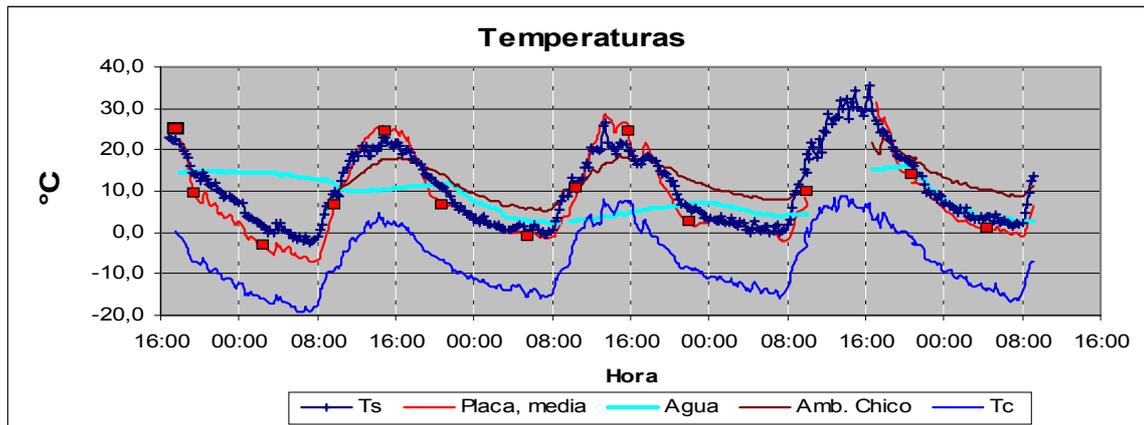


Figura 4. Evolución temporal de temperaturas. Septiembre 2003.

Se puede notar de la figura que:

- la temperatura de cielo (T_c) indica que fueron noches despejadas con mínimas cercanas a $-20\text{ }^\circ\text{C}$, lo que dió condiciones ideales de ensayo;
- la temperatura media del radiador (placa, media) no se aparta prácticamente de la del aire exterior (T_s), llegando en los mediodías a sólo un par de grados por arriba del ambiente, a pesar de que el techo llegó a unos $60\text{ }^\circ\text{C}$. Esto mostró la efectividad de la pintura en el visible;
- no hubo circulación inversa que hubiese calentado el agua;
- la temperatura del agua indica que no hubo transferencia la primer noche. En las siguientes hubo enfriamiento pero sólo en la última es efectivo, luego del reacomodamiento del equipo, acompañando el agua a la media de la placa y al ambiente;
- el agua no llegó nunca a $0\text{ }^\circ\text{C}$, por lo que no se logró la formación de hielo;
- el ambiente de la habitación (Amb. Chico) no parece influir en la temperatura del agua lo que indica un buen aislamiento de la conservadora.

El hecho de que la placa radiadora no se apartara del ambiente se debió principalmente a que ésta, por su ubicación, intercambiaba radiación con el techo de chapa de la vivienda.

En mayo se realizó otra campaña de medidas al mismo lugar. Con el fin de evitar el intercambio radiativo con el techo se montó el equipo sobre una estructura metálica que da independencia respecto a la ubicación a elegir. (Figura 5 - a)



Figura 5: Equipo armado sobre su soporte y hielo formado con él.

Se ensayaron también distintos ángulos, comenzando con 20 °. El equipo no funcionó o lo hizo mal los primeros días debido a problemas de distinta índole: burbujas en el sistema, pérdidas de alcohol por resecaamiento de los extremos de las mangueras, cortocircuito térmico del serpentín con el ambiente, etc.

Finalmente, en el cuarto día se solucionaron todos los problemas y el equipo funcionó correctamente, formando hielo en el curso de la noche. Se midieron las temperaturas con termocuplas, ubicadas dos en el agua, dos en el radiador (entrada y salida), dos en el serpentín (entrada y salida) y el aire ambiente. Al radiador se le dio un ángulo de inclinación 27°. Las temperaturas medidas se muestran en la figura 6, donde se dibujó las temperaturas medias del radiador y del agua, la de cielo y la ambiente.

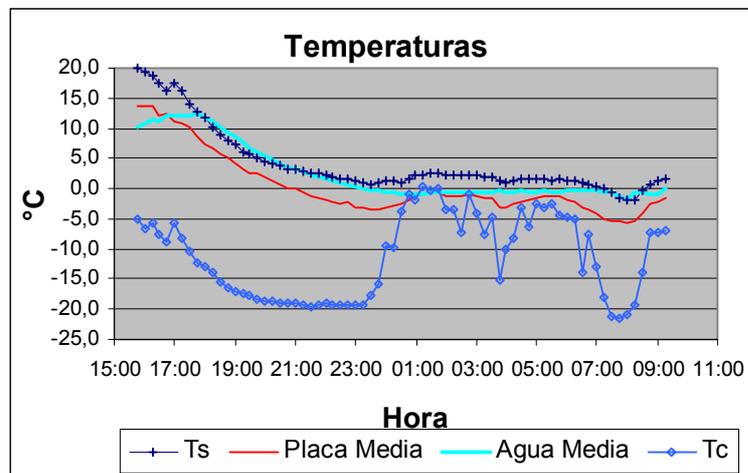


Figura 6. Evolución de temperaturas durante la cuarta noche. Mayo 2004.

La gráfica muestra el proceso de enfriamiento producido hasta las 23 hs., llegando las temperaturas de placa y de agua por debajo de 0 °C. La de cielo indica claramente la aparición de nubes a partir de las 23 hs. A consecuencia de ello tanto el radiador como la temperatura ambiente se elevaron un poco, manteniéndose el agua por debajo del punto de congelamiento.

El hielo (figuras 5 - b y c) se formó en placas radiales con el brazo del serpentín por donde baja el fluido frío, indicando que el calor fue evacuado a través de él. Las medidas de temperatura dan una diferencia entre la parte superior y la inferior del agua menor al grado, por lo que el hielo se formó en todo el recipiente con las características antedichas.

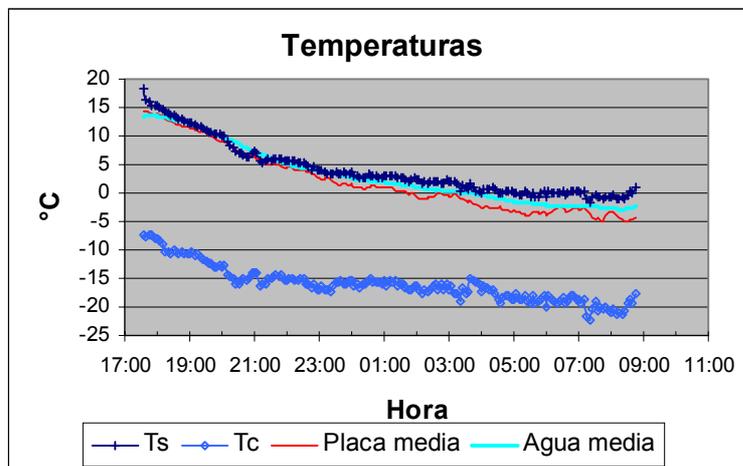


Figura 7. Ensayo realizado en Salta. Julio/ 1999.

A fines comparativos se incluye una experiencia realizada en invierno en Salta con cielo despejado (figura 7) en la cuál se formó hielo. Las temperaturas al final de la tarde son semejantes a las del ensayo que muestra la figura 6. La temperatura de cielo alcanza también los -20 °C pero en forma más lenta. En consecuencia, la temperatura del agua alcanzó los 0 °C más lentamente que en el ensayo en Cachi.

CONCLUSIONES

Los ensayos demostraron, una vez eliminadas las dificultades, un buen funcionamiento del equipo. Este fue capaz de bajar la temperatura del agua de 12 °C a 0 °C en 5 horas, lo que implica una potencia extraída de 14 W en promedio. En el ensayo equivalente realizado en Salta donde se logró formar hielo, la potencia extraída fue de 12 W. La diferencia mayor entre ambos ensayos es que se necesitó de un período de casi 10 hs en Salta para formar hielo. Se debe recalcar el hecho de que,

por efecto de la altura, en el invierno de Salta se tiene condiciones similares de emisividad de cielo que en el otoño y en la primavera de Cachi.

Las pruebas a distintos ángulos de inclinación indicaron que se debía usar como mínimo un ángulo de 27° para que se estableciera circulación. Dada la longitud del radiador implica una diferencia de altura entre la parte alta y la baja de unos 45 cm. Por esta causa, se debe aumentar la superficie de irradiación aumentando la longitud y no el ancho.

Si bien el equipo es simple, los problemas que se tuvieron para que el sistema comience a funcionar indican la necesidad de ser cuidadosos en su armado, su llenado con el fluido de intercambio y su posicionamiento.

La pintura seleccionada mostró su efectividad al impedir un sobrecalentamiento del equipo y la circulación inversa durante el día. Por otra parte, en la etapa nocturna la diferencia entre la temperatura media del radiador y la ambiente fue de unos 5 °C, corroborando las medidas realizadas en Salta.

BIBLIOGRAFÍA

- Lozano R. y Frigerio E.. (1999). Sistema de refrigeración por convección natural: nuevos ensayos. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, N° 1, pp 3.21-3.24.
- Frigerio E..(2000) La Radiación Nocturna Como Fuente Fría: Su Caracterización y Uso. Trabajo de Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta.
- Frigerio E.. Dos Alternativas De Enfriamiento Pasivo. Presentado en el Primer Seminario Iberoamericano De Nuevas y Uso Racional de la Energía y Primer Taller Iberoamericano De Refrigeración y Aire Acondicionado Solar, Méjico, marzo 2002. Aceptado para su publicación.
- Frigerio E.. (2002).Ensayo De Mejoras Propuestas Para Un Equipo De Enfriamiento Con Butano. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184,Vol. 6, N° 2, pp 8.13-8.18, Buenos Aires.
- Frigerio E. (2003) Enfriamiento pasivo por convección natural. Revista Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0328-932X, Vol. 13, pp. 21-26.

ABSTRACT. A system presented in previous work that cools by natural circulation of an alcohol was improved. It was taken into account that a painting with good antiselective measured properties was found that presuppose 16% more irradiated power than a common white paint. The equipment was tested twice in Cachi with the proposal to adapt it to the Valles Calchaqués conditions. Ice was produced in the course of a night. A comparison with a test made in Salta was showed.

Keywords: Nocturnal radiation, Passive cooling, Systems, Design, Tests.