

DISEÑO DE UN EQUIPO DE ENFRIAMIENTO POR RADIACION NOCTURNA.

Erico Frigerio - Luis Saravia
INENCO*-Univ. Nac. de Salta
Buenos Aires 177
4400, Salta, Argentina

RESUMEN.

Para facilitar la conservación de alimentos, vacunas, etc. en zonas aisladas, se propone el diseño de una cámara refrigerante que emplea tubos de calor (heat pipes).

La fuente fría para el funcionamiento de este equipo es la irradiación infrarroja hacia el cielo de una placa.

Se discute la factibilidad del sistema propuesto y los resultados de los primeros ensayos realizados en laboratorio.

INTRODUCCION.

La radiación nocturna, es decir, el desbalance radiativo de energía infrarroja entre el cielo y superficies de cara a él, es uno de los recursos que pueden ser usados para enfriamiento.

Esta radiación infrarroja depende fuertemente del contenido de agua de la atmósfera, que es el principal emisor. Por ello, para el aprovechamiento del recurso, se debe contar con cielos claros y clima seco.

En un trabajo anterior (1), se han presentado los resultados de una campaña de mediciones de la radiación nocturna en distintas localidades. En Abra Pampa, ubicada en La Puna jujeña, se puede observar una baja emisividad y diferencias de temperaturas entre ambiente y cielo del orden de los 30 °C. (Figura 1).

Zonas como la de La Puna o los Valles Calchaquies permiten pensar, entonces, en la utilización del recurso.

Una necesidad de la zona es la de conservar vacunas. Una buena parte de ellas se conservan entre 0 ° y 4 °C mientras que otras lo hacen a 0 °C o menos.

Con este fin se ha comenzado a estudiar y diseñar un equipo de enfriamiento.

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

Este constará de una placa radiadora, aislada por debajo y protegida del viento por arriba con polietileno transparente.

El recinto a enfriar se construirá con poliestireno expandido de 0,05m de espesor, y sus dimensiones serán de 0,5 m * 0,5 m * 1,0 m.

* Instituto UNSa-CONICET

La conexión térmica entre placa y recinto se hará por medio de tubos de calor ("heat pipes") debido a su alto rendimiento en la transferencia térmica.

En el recinto se colocará una masa de agua a congelar por el sistema, en el que se sumergirán los tubos, para mantener la temperatura.

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS PRINCIPALES.

En la figura 2 se observa que la emisividad promedio para Abra Pampa en septiembre es 0,6.

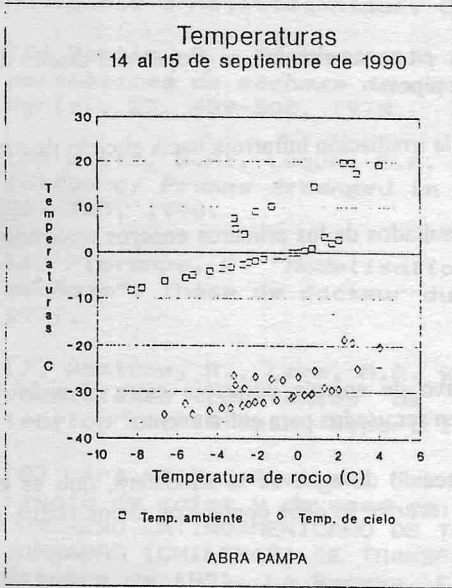


Figura 1

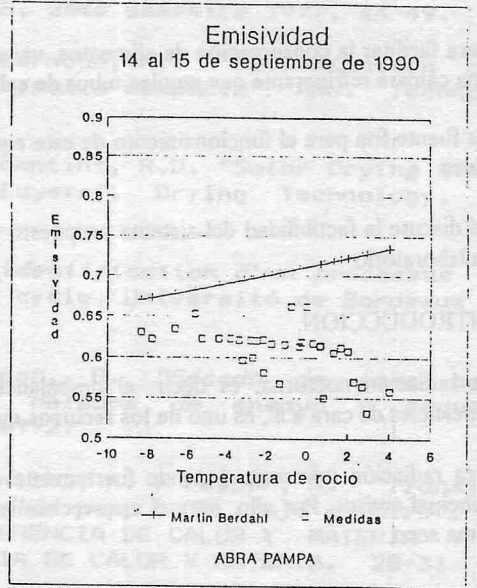


Figura 2

Entonces, considerando una placa radiadora con una emisividad de 0,9 y una temperatura ambiente de 0 °C, la potencia útil disponible es

$$q_u = (\varepsilon - \varepsilon_c) \cdot \sigma \cdot T_a^4 = 94 \text{ W/m}^2.$$

Para determinar la cantidad de agua necesaria, se supone una diferencia de temperatura de 20 °C entre interior y exterior del recinto, que posee un área de intercambio $A = 2,5 \text{ m}^2$. La pérdida de calor al ambiente será:

$$Q_p = (k/e) \cdot A \cdot \Delta T = 50 \text{ W}.$$

En 24 horas, se habrá perdido al exterior una energía:

$$E_p = 4.320.000 \text{ J}.$$

Esta energía debe ser suministrada por el hielo formado, o sea que, si designamos con L_f al calor de fusión del agua,

$$m = \rho_p/L_f = 15 \text{ kg.}$$

es la cantidad mínima de hielo necesaria.

Considerando una masa de 20 kg de agua a 10 °C, para congelarla se necesita extraer una energía

$$E = m \cdot L_f + m \cdot c_p \cdot (t_i - t_f) = 6.600.000 \text{ J.}$$

Esta energía debe ser extraída durante la noche, es decir, en unas 9 horas. Por lo tanto, la potencia de extracción mínima necesaria es

$$Q = 204 \text{ W.}$$

Disponiendo del orden de 90 W/m², la superficie de intercambio requerida es, en consecuencia,

$$S = 204 \text{ W} / 90 \text{ W/m}^2 = 2,3 \text{ m}^2.$$

Así, cada tubo de calor deberá ser capaz de transportar una potencia mínima

$$Q_t = 204 \text{ W} / 5 = 41 \text{ W.}$$

En resumen, para el equipamiento previsto se necesita una pantalla de 2,3 m², considerando una masa de 20 kg de agua y los tubos de calor deberán extraer como mínimo 41 W cada uno. La elección de 5 tubos de calor sólo se ha hecho para poseer una base a los fines del cálculo.

TUBOS DE CALOR.

Son sistemas que constan típicamente de un tubo herméticamente cerrado. El interior contiene un líquido adecuado al régimen de temperaturas en que se desea trabajar. El calor de una fuente penetra por un extremo del tubo evaporando el líquido. El vapor asciende por convección hacia el otro extremo donde se condensa sobre la superficie del tubo, entregando su calor a un sumidero que, en nuestro caso, es la placa radiativa. El condensado retorna al punto de partida y el proceso se repite. Este retorno se hace por gravedad y, en muchos casos, por capilaridad con la ayuda de una malla ubicada en el interior del tubo. Internamente, entonces, el tubo de calor transfiere calor con poca diferencia de temperatura o nula, por lo que la conducción tiene un rol muy pequeño. En su lugar, la fuerza de arrastre es debida a la diferencia de presión entre el extremo evaporador y el condensador, acoplado con la transferencia de calor latente.

Para el presente diseño, se ha elegido como fluido de trabajo el normal-butano, algunas de cuyas propiedades se transcriben a continuación:

- temperatura de ebullición: - 0,5 °C;
- densidad del líquido: 601,2 kg/m³;
- densidad del vapor: 2,6 kg/m³;
- viscosidad del vapor: 7,5E-6 N.s/m²;
- conductividad térmica del líquido: 0,0182 W/(m °C);
- tensión superficial: 0,026 N/m;
- calor latente de vaporización: 0,39E+6 J/kg;
- peso molecular: 58,12 .

Con el objeto de ensayar su comportamiento, se ha construido un tubo corto, 0,58 m de largo, en cobre de 3/4" de diámetro.

El extremo inferior se lo ha sumergido en 0,8 l de agua y el superior se lo ha sometido a bajas temperaturas.

Un cálculo realizado mostró que una malla 80 es adecuada para este tubo. Además, el mismo cálculo arroja 127 W como potencia máxima capaz de transferir.

El butano introducido fue uno de tipo comercial, para encendedores, buscando un producto barato y accesible. La composición de este gas tiene sólo un 9% de n-butano, hasta un 50% de propano y 40% de isobutano. Estos últimos tienen puntos de ebullición muy bajos para los requerimientos buscados, por lo que, salvo en una oportunidad en que se obtuvo una potencia media de 40 W, el sistema no funcionó. Aparentemente, en la oportunidad que funcionó, se produjo destilación en el momento del proceso de carga.

Para mejorar la calidad del gas empleado se requirió la colaboración de Gas del Estado, cuya planta local proveyó butano de mayor pureza. Su composición, si bien mucho mejor que la anterior, contiene 52 % de n-butano, 12% de propano y 31 % de isobutano, además de algunos componentes más pesados.

Actualmente se está poniendo a punto una técnica de separación del gas n-butano. En la primer fase del proceso, donde se separan los gases más livianos, se consiguió eliminar el propano y enriquecer el n-butano hasta un 77 %, quedando un 15 % de isobutano. En un ensayo con un destilado al 69 % de n-butano y que conservaba un 2 % de propano, el sistema funcionó evacuando alrededor de 15 W, lejano de los 41 W necesarios.

En la segunda parte del proceso se procura separar el 8 % restante de elementos más pesados. De este destilado no se ha hecho un análisis y tampoco se ha probado su funcionamiento.

CONCLUSIONES.

Los cálculos de prefactibilidad y los primeros ensayos realizados indican que es posible la fabricación de un sistema refrigerante con tubos de calor que evacúe una potencia de 200 W.

El fluido de intercambio más adecuado para la temperatura de trabajo prevista parece ser el n-butano, pero es necesario mejorar el proceso de enriquecimiento de este componente en el gas disponible comercialmente.

El sistema resulta ser muy sensible al grado de pureza del fluido de intercambio, por lo que para evitar su contaminación es necesario extremar las condiciones de limpieza de los elementos componentes en la etapa de construcción.

AGRADECIMIENTOS.

A los Ings. Romero, Murgia y Mercado de la Planta Piloto de la Unsa, que con buena disposición ha realizado los análisis de las muestras presentadas.

Al Sr. Galván de la planta de Gas del Estado que nos proporcionó el gas.

