

**SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON BUTANO.
NUEVOS ENSAYOS**

E. Frigerio, R. Lozano, L. Saravia¹
INENCO*
 Buenos aires 177 - 4400 Salta
 Tel . : (087)255423
 E-mail : frigerio @ unsa.edu.ar

RESUMEN.

En trabajos anteriores se indicó la importancia del recurso de la radiación nocturna en lugares de cielos despejados y secos. Se presentó, además, un sistema con un tubo de calor y metanol como fluido de intercambio.

Los ensayos de este sistema mostraron que el fluido de intercambio no era el adecuado para el uso deseado y se planteó la posibilidad del uso de butano. Se hizo el reemplazo de fluidos y se realizaron experiencias de laboratorio que mostraron un buen comportamiento, aunque no se logró llegar a una temperatura adecuada para el uso requerido. Nuevos ensayos permitieron formar hielo en el depósito de agua en poco tiempo. Se dan los resultados de la experiencia.

INTRODUCCIÓN.

Para lograr la transferencia entre un depósito de agua y una placa radiadora a cielo se presentó previamente un equipo que solucionó el problema de un buen acoplamiento térmico de los extremos de un tubo de calor con el resto del sistema. (Frigerio et al., 1996). Para ello se unió al tubo dos tanques en forma solidaria e intercomunicada con él, uno plano en el extremo condensador que actúa de radiador a cielo y otro prismático y aleteado inmerso en el depósito (evaporador). (Figura 1). Los resultados de experiencias realizadas con distintos fluidos de intercambio justifican plenamente este aserto.

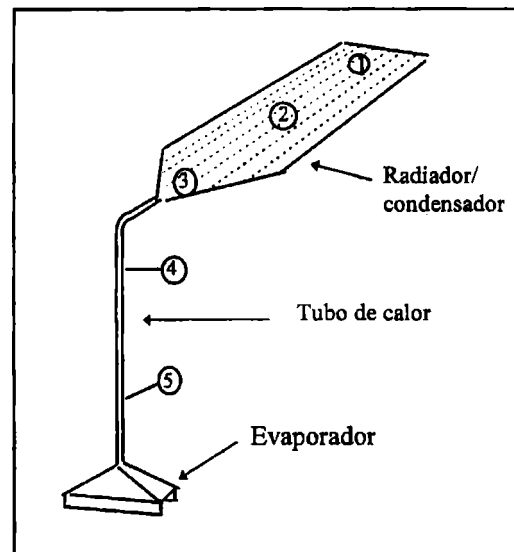


Figura 1 : esquema del sistema

En cuanto al fluido de intercambio, se había elegido un alcohol (metanol) por las bajas temperaturas a que debía ser sometido el equipo. Este equipo mostró no servir a los propósitos deseados dejando de transferir a los 10-12 °C. Una causa probable de este comportamiento es la baja presión de vapor del alcohol cuando se llega a estas temperaturas.

¹ Investigador DEL CONICET.

* Instituto UNSa - CONICET.

Se comenzó entonces a usar butano, cuyo punto de ebullición según literatura es $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 1 atmósfera (Lide, 1991), temperatura cercana al punto de congelamiento del agua. Presenta además la ventaja de ser una sustancia abundante y de bajo costo.

Con este fluido de intercambio, en experiencias recientes se llegó a enfriar por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, formándose hielo en el depósito.

MEDICIONES Y ENSAYOS.

El equipo fue preparado en laboratorio con termocuplas a lo largo de todo el sistema: tres a lo largo del radiador (1, 2, 3, ver figura 1), dos sobre el tubo (4, 5), una en el tanque evaporador y otra en el agua del depósito. Conjuntamente se midió la temperatura ambiente.

El condensador y el depósito se aislaron con 5 cm de poliestireno expandido y el tubo de calor con una combinación de poliestireno expandido y aislante plástico para ropa de abrigo.

Para lograr en el laboratorio temperaturas bajas en el condensador se usó una mezcla frigorífica, hielo y sal, depositada directamente sobre la placa.

A diferencia de ensayos previos donde se usaron 6000 cm^3 de agua y 250 cm^3 de butano, en esta oportunidad se colocaron 3600 cm^3 de agua en el depósito inferior y se introdujeron 500 cm^3 de butano en el sistema.

Experiencias anteriores no mostraron diferencias de funcionamiento entre un tubo con malla o sin ella por lo que se decidió continuar experimentando sin malla.

RESULTADOS.

En la figura 2 se ha graficado un detalle de una experiencia que comenzó a las 10:35 hs. y finalizó a las 15:45 hs. En ella se ha graficado la temperatura promedio del evaporador, la del agua en el depósito y la del ambiente.

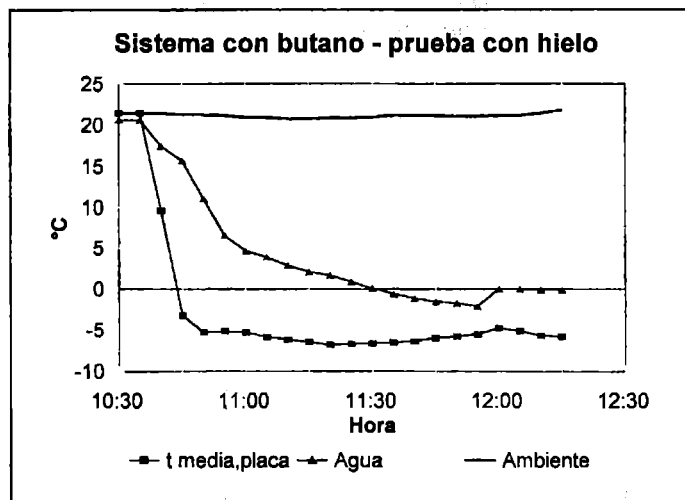


Figura 2 : ensayo de laboratorio : detalle

Se puede observar que la temperatura del tanque evaporador se ha mantenido alrededor de los $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y que el agua en el depósito bajó de $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en aproximadamente una hora. Se produjo luego un proceso de sobreenfriamiento del agua hasta $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e inmediatamente un salto a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ indicando que la formación de hielo llegó a la termocupla. Al finalizar, se habían formado 1,2 kg de hielo.

CÁLCULOS.

En el gráfico siguiente (figura 3), se muestra la potencia extraída del agua (Q_1) en función del salto de temperatura entre el agua y la placa. Se ha graficado además un ajuste de la forma:

$$Q_{\text{corr}} = U_{\text{ef}} \cdot A_{\text{cond}} \cdot (t_{\text{agua}} - t_{\text{placa}})^n ;$$

donde los valores encontrados para el coeficiente y el exponente fueron

$$U_{ef} = 0,1725 \text{ W/m}^2/(\text{°K})^n ; \quad n = 2,91;$$

y $A_{cond} = 0,46 \text{ m}^2$ es el área expuesta del condensador. A pesar de la dispersión de valores observada, este ajuste es útil para predecir la cantidad de calor que se puede extraer del agua en función del salto de temperatura entre condensador y depósito y es válida para el intervalo previo al cambio de fase.

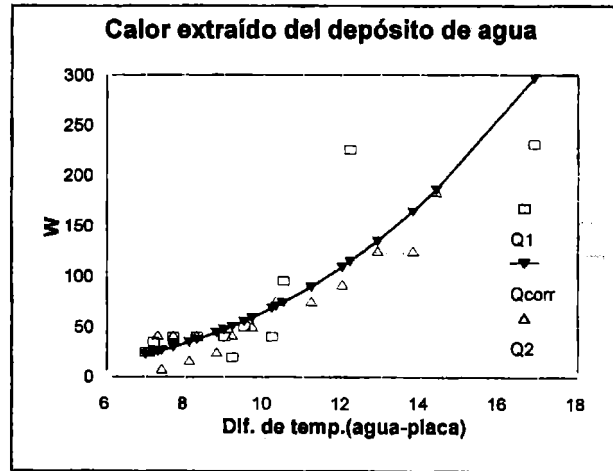


Figura 3 : potencia extraída del agua en función de la diferencia de temperatura.

Usando los datos previos a la detección del congelamiento en el depósito, se obtuvo un valor para la resistencia térmica promedio y su correspondiente inversa:

$$1/R = U \cdot A = N^{-1} \sum \frac{Q_{agua}}{t_{agua} - t_{cond}} = 7,61 \text{ W/°K}$$

donde R es la resistencia térmica, U el coeficiente global de transferencia promedio, A un área característica del sistema y N el número de medidas.

Con este valor se realizó un balance sobre el sistema, teniendo en cuenta el enfriamiento de las masas de los diversos componentes. Los siguientes datos:

objeto	masa	Cp
Condensador	8,0 Kg	452 J/(Kg.°K)
Tubo	0,38 Kg	385 J/(Kg.°K)
Evaporador	0,91 Kg	389 J/(Kg.°K)

fueron utilizados en el balance, cuyos resultados se muestran en la tabla 1:

Tabla 1: Balance de energía			
Energías:	Fórmula usada:		
Condensador	$\sum \{m \cdot C_p \cdot [\langle t_i \rangle - \langle t_{i-1} \rangle]\} =$	-94016,0 J	
Tubo de cobre	$\sum \{m \cdot C_p \cdot [\langle t_i \rangle - \langle t_{i-1} \rangle]\} =$	-3452,7 J	
Evaporador	$\sum \{m \cdot C_p \cdot [\langle t_i \rangle - \langle t_{i-1} \rangle]\} =$	-7750,1 J	
Agua	$m \cdot C_p \cdot (0^\circ - t_0) + m_H \cdot L_f =$	-713940,7 J	
Sistema	$\sum \{U \cdot A \cdot [t_{agua} - \langle t_{cond} \rangle]\} =$		818614 J
Totales:		-819159,5 J	818614 J
Diferencia:			475,5 J

En esta tabla, $\langle \rangle$ indica promedio de medidas en el objeto, m_H es la masa de hielo y L_f es el calor de solidificación. Este resultado muestra que la conexión del sistema con el ambiente se puede despreciar en primera instancia.

Para verificar la generalidad de estos resultados se los aplicó a experiencias anteriores, que diferían de la previa en la cantidad de agua en el depósito y cantidad de butano dentro del sistema. En particular, se los realizó con los datos

presentados en una publicación previa (Frigerio et al., 1997), donde se habían colocado 6000 cm³ de agua en el depósito y 260 cm³ de butano.

El calor cedido por el agua por esta experiencia se encuentra dibujada en la figura 3 con el nombre de Q2, donde se observa la tendencia a una pequeña sobreestimación en las predicciones del ajuste.

El balance de energías correspondiente, usando el valor obtenido de 7,61 W/°K, se presenta en la tabla 2. Se observa que, si bien la diferencia entre columnas es mayor, representa sólo el 1,8% de la energía en juego. Tampoco aquí se ha tenido en cuenta la influencia del ambiente sobre el sistema

Energías:	Fórmula usada:		
Condensador	$\sum\{m.Cp.[<t_i> - <t_{i,1}>]\} =$	-71958,4 J	
Tubo de cobre	$\sum\{m.Cp.[<t_i> - <t_{i,1}>]\} =$	-2509,0 J	
Evaporador	$\sum\{m.Cp.[<t_i> - <t_{i,1}>]\} =$	-4333,1 J	
Agua	$m.Cp.(t_f - t_o) =$	-293857,5 J	
Sistema	$\sum\{U.A.[t_{agua} - <t_{cond}>]\} =$		379587 J
Totales:		-372658,0 J	379587 J
Diferencia:		6929 J	

CONCLUSIONES.

Los ensayos realizados anteriormente con el sistema cargado con 260 cm³ de butano mostraron que se necesitaba un salto de temperatura entre placa radiadora y agua mínimo de alrededor de 8 °C para que haya extracción de calor del depósito. En el ensayo que se muestra en la figura 2, donde la carga fue de 500 cm³ de butano, se observa que esta diferencia fue de alrededor de 3 °C. Se piensa que esta diferencia de comportamiento se debe a que el orificio en la conexión del tanque evaporador con el tubo tiene un diámetro un poco más chico que el diámetro del tubo, lo que implica una dificultad en el retorno del fluido al tanque. Cuando se cargó con 500 cm³ se rebasó la capacidad del tanque (430 cm³) con lo cuál esta dificultad se superó, pero a costa de duplicar la cantidad de butano en el sistema.

La formación de hielo en el depósito mostró que el aleteado no funcionó, lo que conjuntamente con el problema anterior indica la necesidad de rediseñar el tanque evaporador.

El ajuste mostrado en la figura 3 relata la forma en que el sistema extrae calor del depósito en función del salto de temperatura entre éste y el condensador.

Los balances de energía realizados muestran que el valor de 7,61 W/°C caracteriza adecuadamente el sistema y es independiente de la cantidad de butano cargado en el sistema. Cálculos posteriores indican que la cantidad máxima de butano evaporada fue de 185 cm³, lo que justificaría esa independencia.

NOTA. El presente trabajo ha sido financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa).

REFERENCIAS.

E. Frigerio, L. Saravia, R. Lozano.(1996) *Enfriamiento Pasivo : Resultados.* ", Actas de la 19a. Reunión de ASADES, Mar del Plata, vol. 2, pp 7.17 - 7.20.

David R. Lide.(1991) *Handbook of Chemistry and Physics.* 71a. edición. CRC Press.

E. Frigerio, R. Lozano, L. Saravia.(1997) *Ensayo De Un Sistema De Enfriamiento Con Butano.* Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol.1, N° 1, pp 85 -