

# EXPERIENCIAS CON UN ENFRIADOR SOLAR

V. J. Passamai

Facultad de Ciencias Exactas  
Consejo de Investigación - Universidad Nacional de Salta - INENCO- CONICET  
Buenos Aires 177- 4400- Salta - Argentina  
*passamai@unsa.edu.ar*

Se describen los resultados de experiencias de laboratorio y de campo realizadas mediante un enfriador basado en una celda Peltier, que funciona por vía solar mediante un panel fotovoltaico. Se incluye la medición de temperaturas en una heladera doméstica alimentada por tensión alterna, como patrón de referencia. Se compararon las temperaturas del enfriador cuando la celda Peltier es alimentada por la celda fotovoltaica, corriente continua y una batería. En este último caso, se midió el tiempo de su descarga. Las experiencias de campo se realizaron con panel fotovoltaico, tanto en días claros como nublados. Estas experiencias permitieron analizar el funcionamiento del enfriador y desarrollar estrategias para su mejor aprovechamiento.

Both laboratory and field controlled experiments were made with a cooler based on a Peltier cell that works with a solar photovoltaic panel. The temperature of an ordinary domestic refrigerator was measured for comparison. The temperature of the cooler was compared when the Peltier cell was fed by a photovoltaic cell, constant current and a battery. The discharge time of the battery was also measured. The experiments permit to analyze how the cooler works so as to develop strategies to improve its performance.

## I. INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Salta existen pueblos aislados de la Puna, así como del Chaco Salteño, con alta incidencia solar, por lo que es posible aportar tecnologías apropiadas para el aprovechamiento de esa energía. Igualmente, en la misma Ciudad de Salta, existen barrios pobres y asentamientos que no disponen de heladeras para la conservación de alimentos perecederos. La demanda para enfriamiento surge por la falta de provisión eléctrica o combustibles convencionales, ya sea porque no llega su distribución a los lugares aislados de los centros poblados, o porque es cara su provisión. A la preservación de alimentos se suma la necesidad de la conservación de vacunas, siendo esta necesidad más crítica por su relación con el cuidado de la salud. Tanto para uno como otro caso, la necesidad apunta a lograr una heladera de reducidas dimensiones.

Con tales motivos, se inició un trabajo para investigar algunas de las posibilidades sencillas con que se cuenta para la producción de frío, usando la energía solar como medio proveedor de la energía.

La tendencia mundial actual es la introducción de pares de adsorción sólido-líquido, tales como carbón activado-metanol, zeolita-agua, carbono-amoniaco, sales-amoniaco, etc.<sup>(1 a 6)</sup>. Estos requieren de tecnología un tanto elaborada y costosa, y presenta algunas dificultades para evitar pérdidas en las tuberías. Por tal motivo, se decidió iniciar un estudio experimental con un equipo que no tiene estos problemas, pues se basa en el efecto Peltier para la producción de frío y resulta muy simple y económico. Consiste en tecnología de fácil acceso, ya que es de uso común entre pescadores y viajeros, que lo llevan en su vehículo, donde se alimenta eléctricamente por medio de la batería. Es liviano y ello lo hace portátil, pudiéndose adaptar su funcionamiento a paneles fotovoltaicos, los

que se hallan instalados en las regiones antes mencionadas. También tiene la ventaja que su rendimiento aumenta en forma coincidente con el recurso solar, por lo que es ideal para zonas aisladas con alta radiación.

## II. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El Laboratorio Experimental en el que se trabajó, consta de una computadora con placa para captación de temperaturas de 16 canales, baterías, cargador de 12 V y un solarímetro para medir la radiación solar total. Además, para ser usada como patrón de referencia, se usó una heladera doméstica convencional.

La Figura 1, parte a), muestra un esquema del enfriador portátil, con la celda Peltier y un ventilador para enfriar el lado caliente (bomba de calor) que extrae la energía térmica de una caja de polipropileno, aislada mediante poliestireno expandido y es alimentada por medio de paneles fotovoltaicos. La parte b) de la misma figura es una fotografía del interior del enfriador, donde se observa el lado frío, consistente en una placa delgada de acero inoxidable, que va unida a la celda Peltier, mediante cuatro tornillos, y el aseguramiento de una buena transferencia térmica mediante grasa de silicona. El tamaño del receptáculo es de  $29\text{ cm} \times 21,5\text{ cm} \times 25,5\text{ cm}$ , o sea que tiene una capacidad de alrededor de 16 litros.

Por su parte, la heladera doméstica tiene una capacidad de 36 l en la zona superior, más fría, y 240 l en la zona inferior.

Se pueden medir temperaturas de distintas superficies internas y el aire del enfriador, el aire ambiente y el extraído por el ventilador, a medida que transcurre el tiempo. La Figura 2 muestra una fotografía del tipo de panel fotovoltaico utilizado, cuyas dimensiones se especifican más adelante. La parte b) de la figura es una foto-

grafía del intercambiador de calor y el sistema de ventilación para enfriar el lado caliente, que da al exterior, de la celda de Peltier. El conjunto ventilador-celda tiene la misma alimentación de 12 V.

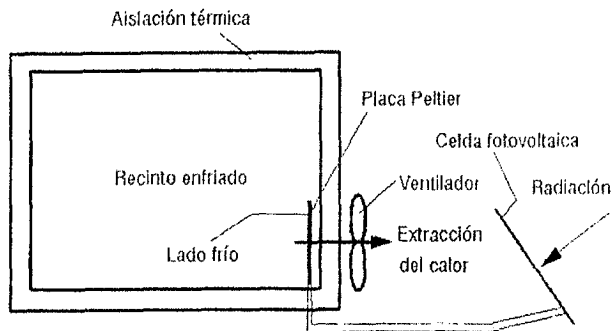


Figura 1: a) Esquema de la heladera solar.

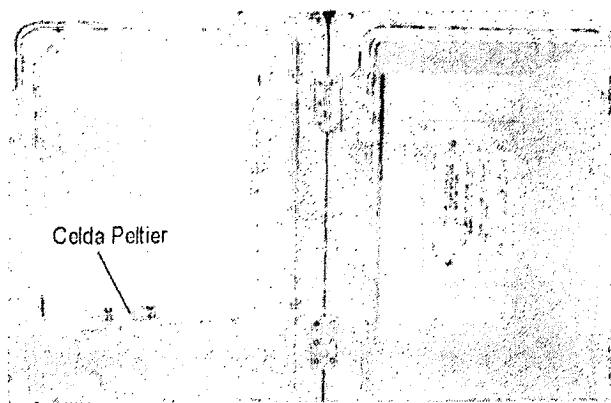


Figura 1: b) Fotografía del enfriador abierto y colocado verticalmente.

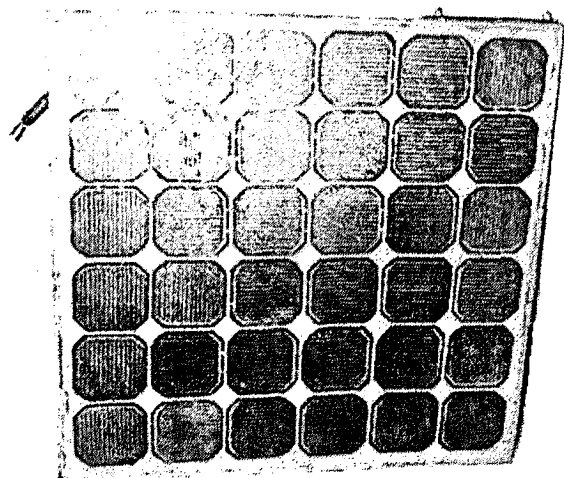


Figura 2: a) Tipo de panel fotovoltaico usado para alimentar la heladera solar.

### III. PLAN DE EXPERIENCIAS

Las experiencias realizadas fueron: a) medición de temperaturas dentro de la heladera portátil y su comparación con las obtenidas en la heladera convencional, b) comportamiento dinámico térmico del enfriador cuando se alimenta con una fuente constante de 12 V, c) duración

de la carga de una batería para mantener su funcionamiento, d) efecto de la refrigeración solar para un día nublado y su comparación con un día despejado y e) determinación del efecto térmico con la orientación del panel fotovoltaico.

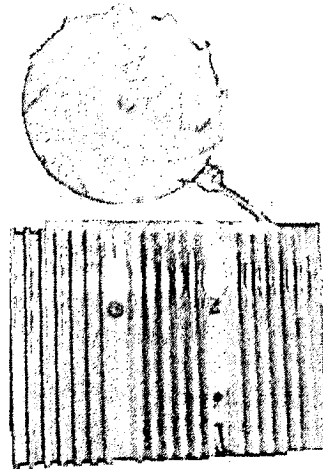


Figura 2: b) Sistema de ventilación hacia el exterior.

### IV. DESARROLLO DE LAS EXPERIENCIAS

#### a) Medición de temperaturas dentro de la heladera portátil y su comparación con las obtenidas en la heladera convencional

Para poder comparar las temperaturas dentro de la heladera portátil, con las que se obtienen dentro de una heladera convencional, en condiciones de óptimo funcionamiento del primero, se realizó la experiencia de enfriamiento mediante alimentación constante, igual a 12 V. La potencia entregada fue de 45 W. Asimismo, para la comparación, se tuvo en cuenta que la temperatura del aire ambiente fuera la misma en ambos casos. Además, se introdujo en ambos casos un recipiente de plástico, PET, con 1,5 l de agua y se midieron las temperaturas del aire como la del agua. La Figura 3a) indica un esquema y los datos obtenidos, con el agregado de dos temperaturas del aire, que demuestran su estratificación.

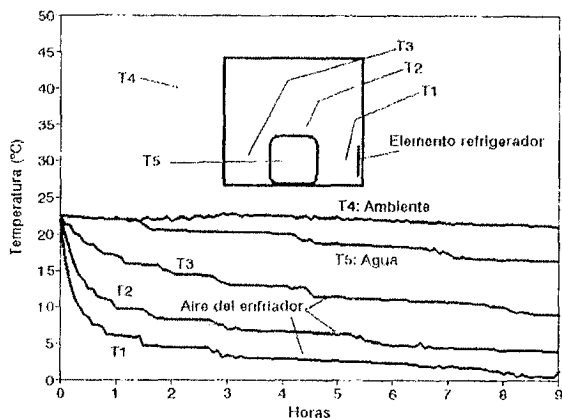


Figura 3a: Medición de temperaturas en la heladera portátil. T1: aire cerca de la celda Peltier; T2 y T3: aire dentro de la enfriadora; T4: aire ambiente y T5: agua.

Luego se repitió la experiencia con la heladera doméstica. La Figura 3b) muestra los datos obtenidos.

Se observa un esquema de la heladera y, en línea punteada, el recipiente de agua colocado en su interior, del lado de la puerta. Además se midió la temperatura del aire exterior, cerca de la heladera. Se observa un rápida respuesta de la temperatura del aire en el interior de la heladera, la que alcanzó un valor de régimen de  $8^{\circ}\text{C}$  en menos de 30 minutos. El agua, en cambio, disminuyó su temperatura en forma paulatina, tomándole alrededor de 6 horas para llegar a un valor cercano al del aire interior.

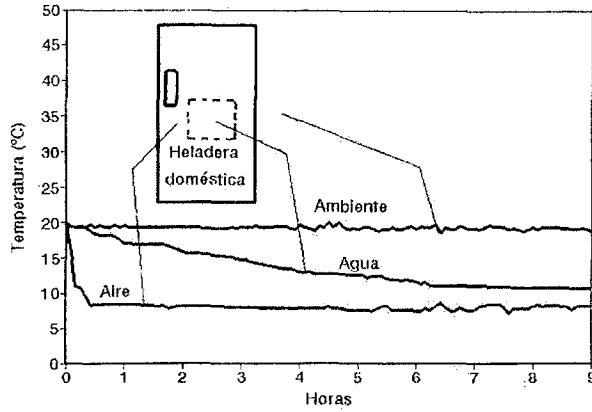


Figura 3b: Mediciones de temperaturas para una heladera doméstica (el esquema indica dónde se midieron).

Una heladera doméstica vacía consume, en promedio,  $60\text{ W}$ . Esta medición se realizó mediante un medidor de consumo domiciliario tipo Galileo, realizando la lectura de los  $\text{KW-h}$  y el tiempo, a lo largo de varios días.

En la Figura 4 se comparan, superpuestas, ambas temperaturas del agua, en un caso y otro. Se observa que en el caso de la heladera convencional, la temperatura del agua tiene una velocidad de disminución mayor que para la portátil. En esta figura se puede constatar la semejanza de las condiciones de temperatura para el ambiente.

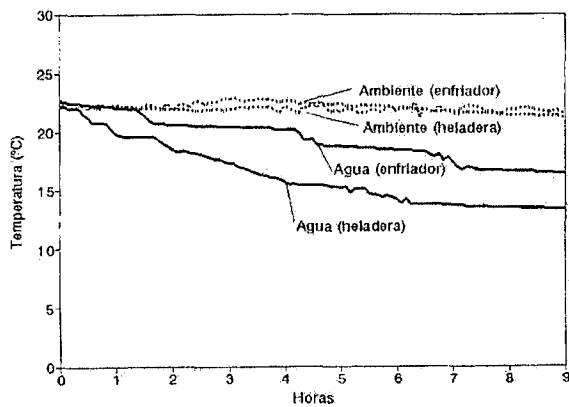


Figura 4: Comparación de temperaturas del agua en la heladera y el enfriador.

Por otro lado, la Figura 5, que muestra superpuestas las temperaturas del aire, tanto ambiente como dentro del enfriador, con y sin agua dentro, indica la influencia que ejerce la presencia de la masa de agua en la velocidad de enfriamiento del aire dentro del enfriador. Ello se debe a que la masa de agua, que presenta una gran inercia a los cambios térmicos, afecta la dinámica de variación de la temperatura del aire. Se observa que las experiencias son

comparables por serlo las respectivas temperaturas del ambiente, a lo largo de todo el tiempo.

## b) Comportamiento dinámico térmico de la enfriadora cuando se alimenta con una fuente de $12\text{ V}$

La Figura 6 muestra el comportamiento dinámico del enfriador cuando se conecta a una fuente de alimentación de corriente continua constante (regulador) y, luego de aproximadamente 4,5 horas, es interrumpida dicha conexión, para observar la respuesta de tipo capacitivo del sistema. Se comprueba en este caso que en media hora, aproximadamente, el sistema se calienta y aumenta su temperatura de dicha forma.

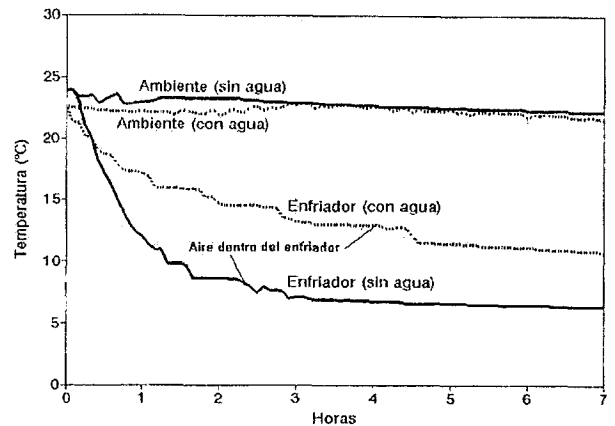


Figura 5: Influencia de la masa de agua en la temperatura del aire. Existe una diferencia de aproximadamente  $4^{\circ}\text{C}$  entre un caso y otro.

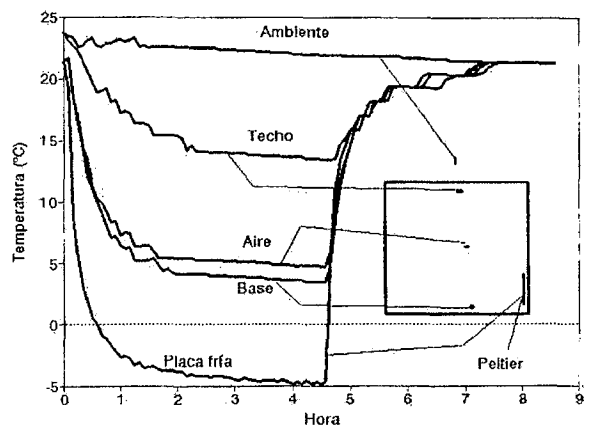


Figura 6: Comportamiento capacitivo de la enfriadora.

También en la Figura 6 se puede observar estratificación entre distintos puntos de medición de las temperaturas, a lo largo de la vertical. Se agregó la medición de la temperatura directamente en la placa fría, mediante una termocupla colocada en la misma. La diferencia entre la temperatura denominada de "techo" y la del aire dentro del enfriador puede deberse a que el aislamiento térmico en esa zona es más delgado por estar colocada una manija de sujeción del enfriador, la que ocupa espacio en desmedro del aislamiento. También puede observarse que la temperatura del ambiente tuvo una leve tendencia a dis-

minuir con el tiempo.

### c) Duración de la carga de una batería para mantener el funcionamiento de la celda Peltier

En un régimen de funcionamiento de un sistema panel fotovoltaico-batería-heladera, mediante el cual el primero recarga la batería durante los períodos diurnos de radiación solar, para luego poder alimentar la heladera durante la noche, es dable preguntarse acerca de la duración de la carga de la batería hasta que comienza su agotamiento. Para responder a esta pregunta, se realizó una experiencia de alimentación directa del enfriador desde la batería, sin alimentación auxiliar fotovoltaica, y así determinar la duración buscada. Los datos obtenidos se muestran en la Figura 7, donde se indican las siguientes temperaturas: ambiente, agua y aire en el enfriador. Para este último se midió en las posiciones indicadas por T1, T2 y T3 en la Figura 3b. Del análisis de este gráfico, se tomó como límite aproximado de duración de la carga el correspondiente a diez horas, según se indica con la línea vertical. Esto da una autonomía razonable para la noche

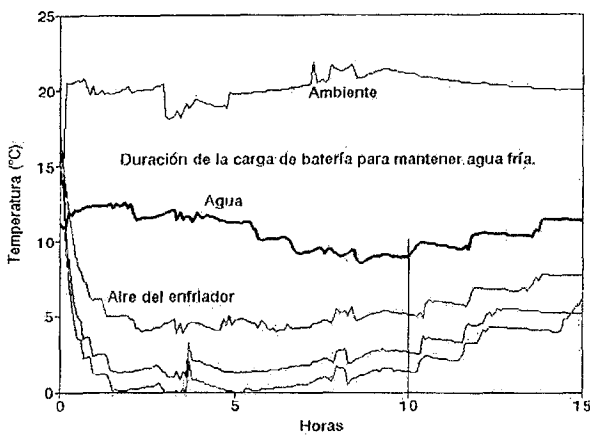


Figura 7: Duración de la carga de batería para mantener en funcionamiento la heladera portátil.

### d) Efecto de la refrigeración solar para un día nublado y su comparación con un día despejado

Se midió la temperatura del aire del enfriador (denominada T2 en la Figura 3b), conectando la enfriadora directamente a un sistema de dos paneles fotovoltaicos, cuyas características se detallan más abajo. En la Figura 8a se muestra la experiencia realizada durante un día nublado, en que se observa, a partir de las 11:30 y hasta las 13:00, una notoria disminución en la radiación solar (que se lee de la curva punteada, en el eje de la derecha), que implicó un casi inmediato aumento de la temperatura del aire en el enfriador. Al aumentar nuevamente la radiación, la temperatura volvió a disminuir. De esto se concluye la baja inercia térmica del aire y alguna deficiencia en el aislamiento de las paredes.

La Figura 8b indica el caso en que se midió una elevada radiación solar durante casi todo el período que va de la hora 10 a las 16. La temperatura del aire dentro del enfriador se mantuvo cercana a los 5 °C. Esto señala la influencia inmediata de la radiación, al igual que antes.

Las características eléctricas del sistema fotovoltaico fueron: corriente de cortocircuito, 3,3 A; voltaje de

circuito abierto, 17 V; corriente de potencia pico, 2 A; voltaje de potencia pico, 12 V; potencia máxima entregada a 950 W/m<sup>2</sup> de radiación solar incidente y 21 °C de temperatura ambiente, 24 W. La superficie de los dos paneles empleados fue de 40 cm x 40 cm cada uno. En ambos casos se mantuvo una orientación norte de los paneles y una inclinación de 60 ° respecto de la vertical.

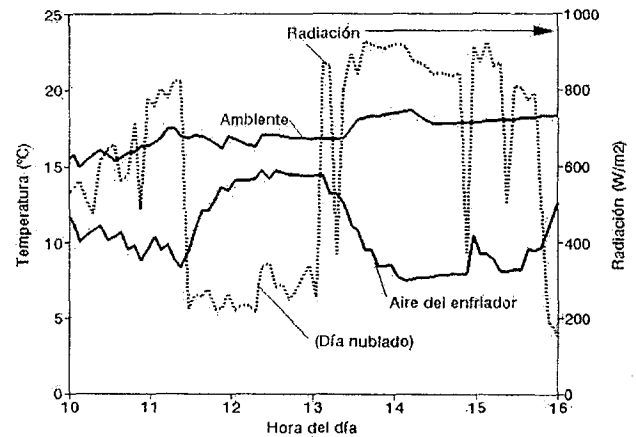


Figura 8a: Experiencia de enfriamiento solar, para un día nublado.

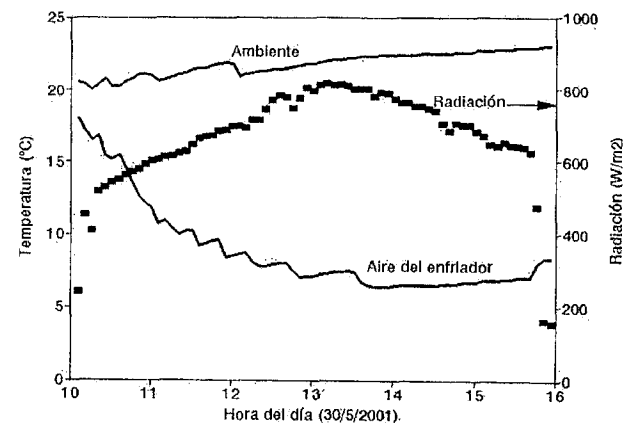


Figura 8b: Experiencia de enfriamiento solar, para un día despejado.

Esta experiencia reafirma la conveniencia de uso del sistema solamente para lugares de alta radiación y poca nubosidad, como lo son las zonas de Puna.

### e) Determinación del efecto térmico con la orientación del panel fotovoltaico

Para tener datos acerca de la influencia que tiene la orientación del panel fotovoltaico en la obtención de frío y ver su incidencia en la necesidad de reorientar permanentemente los paneles, se realizaron tres experiencias de campo consecutivas: una con el panel orientado hacia el NE, otra mirando al N y una tercera hacia el NO, manteniendo siempre la inclinación a 60° con respecto a la vertical. El resultado de las mismas se muestra en la Figura 9(a, b y c).

Se observa que, en el primer caso, apuntar el panel hacia el NE no produce un efecto de variación notable en la temperatura del aire dentro del enfriador, respecto del

obtenido en el caso de la Figura 9b, que miraba al norte. Para la Figura 9c si, bien existe alguna diferencia al principio del día, a partir de las 13, ellas no son de entidad. Por lo tanto, este parámetro no importa. Entonces se puede concluir que es posible mantener la orientación apuntando siempre al norte. Este resultado contrasta con lo encontrado para otros dispositivos solares, como es el caso de las cocinas solares, para las que es importante el seguimiento del sol.

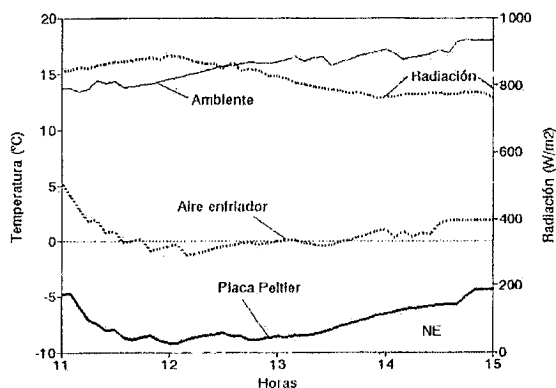


Figura 9a: Datos con el panel mirando al NE.

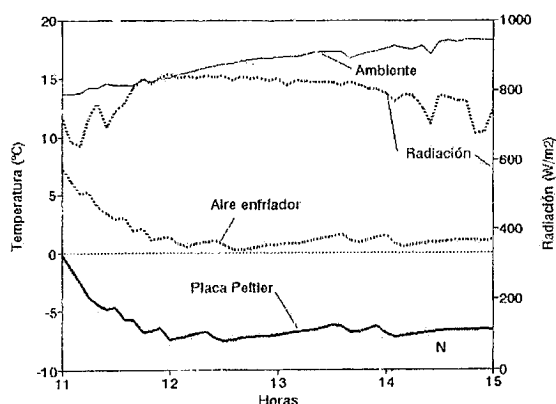


Figura 9b: Datos obtenidos con el panel mirando al N.

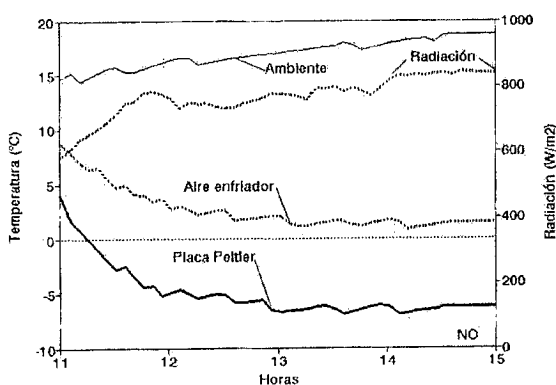


Figura 9c: Datos para el caso en que el panel mira al NO.

#### IV. CONCLUSIONES GENERALES

Las experiencias con el equipo portátil y la heladera convencional muestran que ésta es más eficiente para bajar la temperatura. Esto surge tanto de la relación de potencias con sus volúmenes, dadas por  $60W/(276L)=0,22 W/L$  y  $45W/(16L)=2,8 W/L$ , respectivamente, como de las temperaturas medidas y tiempos

empleados. Sin embargo, la enfriadora logra resultados aceptables en zonas de alta radiación y días deseados.

La heladera Peltier presenta estratificación de las temperaturas. Cuando se hizo funcionar con la placa fría en la parte superior, por rotación del receptáculo, se corrigió un poco ésta, lo cual sugirió una mejora en el diseño, fácil de llevar a cabo.

Si bien no es capaz de producir hielo en el recipiente de agua, como sí se produce escarcha que se adhiere a la placa fría por condensación, es posible realizar el diseño y construcción de un recipiente contenedor del agua que mejore el contacto térmico con la placa.

La observación de las curvas de temperatura de las distintas superficies del enfriador vacío permite concluir que existe semejanza entre este dispositivo y un circuito RC con fem constante. El aire ambiente es el sumidero cuya temperatura es de referencia y hacia ella tienden todas las demás al cesar la incidencia de radiación o provisión de energía eléctrica. El rápido aumento de temperatura que muestra el enfriador, cada vez que se detiene la provisión de energía, indica el efecto de baja inercia en la temperatura del aire, así como defectos en la aislación térmica del recinto, que pueden subsanarse.

Si bien la autonomía de una batería de 12 V puede no ser suficiente para garantizar una adecuada cadena de frío a través de su recarga diurna, para lograr ese objetivo se puede duplicar el número de baterías y paneles fotovoltaicos. Además, en las condiciones de Puna y en la noche, justamente se tienen naturalmente temperaturas bajas.

La provisión de frío es mayor en los momentos de mayor radiación, lo que da ventaja a este sistema cuando se usa en lugares como los propuestos.

El panel fotovoltaico puede ubicarse mirando al norte de manera permanente, ya que su orientación no incide notablemente, en promedio.

#### Agradecimiento

Este trabajo ha sido financiado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta.

#### Referencias

- 1 - R. Critoph. "Evaluation of alternative refrigerant-adsorbent pairs for refrigeration cycles" *Applied Thermal Engineering* Vol. 16, No. 11, pp 891-900, 1996.
- 2 - Z. Li y K. Sumathy. "A solar-powered ice-maker with the solid adsorption pair of activated carbon and methanol". *Int. J. Energy Res.*, 23, pp 517-527, 1999.
- 3 - A. Pralón y L. Rodríguez. "Caracterización y dimensionamiento de un refrigerador solar adsorptivo destinado a la producción de hielo". Comunicación personal. 2001.
- 4 - M. Pons y P. Grenier. "Experimental data on a solar-powered ice maker using activated carbon and methanol adsorption pair". *J. of Solar Energy Eng.* Vol. 109, pp 303-310. 1987.
- 5 - J. Rodríguez et al. "Diseño, construcción y operación de un prototipo experimental para la refrigeración solar por adsorción". *Memoria de la XIX Semana Nacional de Energía Solar ANES*, Universidad Autónoma de Baja California Sur. 1995.
- 6 - R. Wang et al. "An energy efficient hybrid system of solar powered water heater and adsorption ice maker". *Solar Energy* Vol. 68, No. 2, pp 189-195. 2000.