

ENSAYO DE MEJORAS PROPUESTAS PARA UN EQUIPO DE ENFRIAMIENTO CON BUTANO

Erico Frigerio¹

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta

Tel. : (0387) 4255424, (0387) 4255385.

Email : frigerio@unsa.edu.ar

RESUMEN. Se ha realizado un nuevo diseño de un equipo para enfriamiento pasivo por irradiación a cielo, tratando de mejorar las propiedades de transferencia en el evaporador y el radiador. Para este último, se encontró una pintura a la cuál se le midieron buenas propiedades antiselectivas que presuponen un 16% más de potencia irradiada que la de una pintura blanca común. El nuevo evaporador aumentó seis veces la superficie de intercambio manteniendo las temperaturas de placa y agua muy cercanas. Sin embargo, el fluido de trabajo presentó características inadecuadas y el equipo no funcionó fuera del laboratorio.

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

INTRODUCCIÓN

El enfriamiento pasivo por irradiación a cielo requiere de un buen diseño de los sistemas ya que las potencias disponibles son pequeñas, del orden de los 100 W/m².

Se ha buscado mejorar un sistema presentado en trabajos anteriores (Frigerio et al., 1998) que usa butano como fluido de trabajo. Para ello se tuvo en cuenta que:

1. En ese equipo se había observado que, debido a la inclinación del tanque condensador, una franja de alrededor de 10 cm de ancho en el extremo que queda a mayor altura es la zona que más trabaja. Se presentó así la duda de si la geometría elegida era la mejor para este radiador.
2. La superficie de intercambio entre el evaporador y el agua del depósito era pequeña (0,05 m²), debiéndose rediseñar este elemento.
3. Se debía diseñar una cámara para el depósito de elementos a enfriar.
4. La pintura seleccionada para el radiador fue una pintura blanca comercial común, de modo que ayudara a que la superficie no elevara demasiado su temperatura durante las horas solares. Esta pintura tiene algunas propiedades 'antiselectivas', esto es, absorber poco en las longitudes de onda solares (< 4 µm) y mucho en las longitudes de onda atmosféricas (> 4 µm), pero se debía mejorar esta característica.

NUEVO DISEÑO

Se rediseñó el equipo de manera de contemplar los tres primeros puntos.

El nuevo tanque condensador/radiador se lo hizo construir de la misma manera que el anterior (Frigerio et al., 1996), pero más ancho y más corto. Las dimensiones, 0,70 m x 0,70 m (figura 1-a), tiene una superficie expuesta a cielo de 0,49 m², similar a la que poseía el anterior.

El tanque evaporador, de 0,32 m² de área y una capacidad de aproximadamente 800 dm³, se construyó de la misma forma que el tanque condensador. De esta manera se logró elevar 6 veces la superficie de intercambio y su capacidad ahora es un poco menos que el doble de lo que se tenía. Un tubo de 3/4" a su salida realiza la conexión con el resto. (figura 1-b).

El tubo que conecta el tanque condensador con el tanque evaporador es de acero y tiene un largo de 1 m, de manera que el equipo se pudiera manipular fácilmente. Los tres elementos fueron unidos con soldadura, formando una única unidad herméticamente sellada por donde circula el fluido de intercambio elegido. (Figura 2-a)

El depósito consta de dos partes. Un tanque de hierro galvanizado, donde se coloca el agua a enfriar que actúa como masa acumuladora, cuyas medidas son 45,5 cm de ancho x 40 cm de alto x 5 cm de largo. Este tanque se ubica en una caja de

¹ INENCO, Instituto UNSa - CONICET

poliestireno expandido con paredes de 10 cm de espesor y con una capacidad de $6,5 \text{ dm}^3$, que actúa como cámara de enfriamiento. (Figura 2-b)

El tanque condensador fue aislado por debajo y los costados por una caja de poliestireno expandido de 5 cm de espesor. El tubo se lo aisló envolviéndolo con aislante plástico para ropa de abrigo (Acrotop) y con mediacañas de poliestireno por encima.

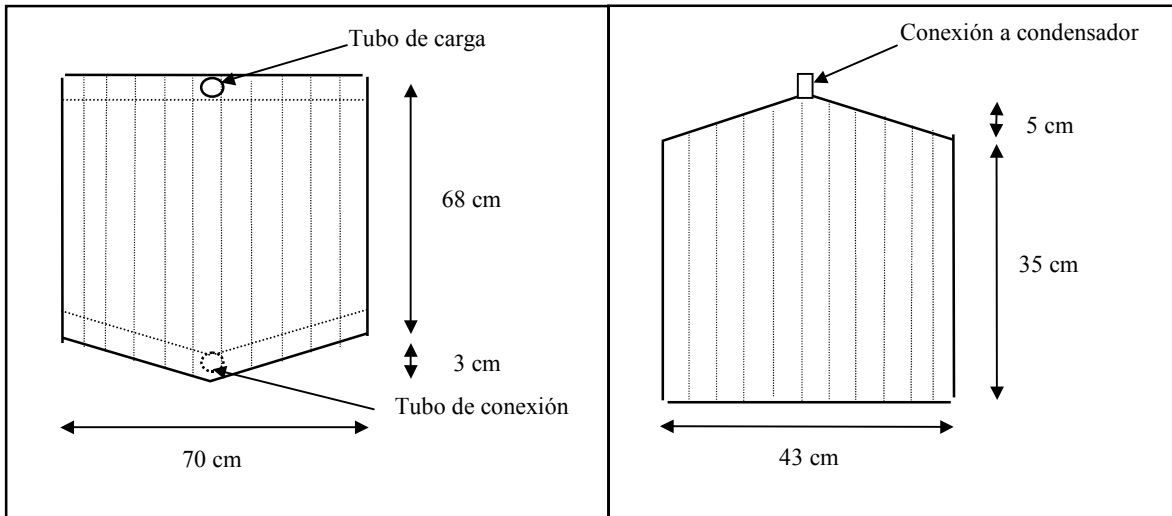


Figura 1. a) Dimensiones del condensador/radiador

b) Dimensiones del evaporador.



Figura 2. a) Equipo completo.



b) Detalle del interior de la cámara.

PROPIEDADES DE LA PINTURA

Buscando mejorar las propiedades de la pintura del radiador, sobre la base de una laca blanca comercial se ha hecho preparar una laca blanca que sólo contiene dióxido de titanio, óxido del cuál se sabe que posee propiedades antiselectivas. (Wolfe y Zissis,1993).

Las propiedades de la laca en el visible y en el infrarrojo medio y lejano se muestran en las figuras siguientes. La reflectividad entre 380 y 1100 nm fue medida con un espectrorradiómetro LICOR en la UNSa. Los resultados muestran que en casi todo este rango la reflectividad se mantiene entre un 80 y un 90 %, como se muestra en la figura 3-a). Esta es alrededor de un 10 % mayor que la de una pintura blanca común recién aplicada sobre chapa (Blanco 1). Se ve allí también la reflectividad de la misma pintura expuesta durante un año a la intemperie (Blanco 2), donde la degradación de las propiedades reflectivas se notan principalmente en el infrarrojo cercano.

En el siguiente gráfico (figura 3-b) se muestra la reflectividad de la laca en el intervalo 2,5 a 25 μm , medidas obtenidas por el Lic. Di Lalla . Se puede observar que, entre 7,5 y 25 μm , el valor es del 5 % o menor, mientras que en la banda entre 3,5 y 5,5 llega a valores mayores al 30 %.

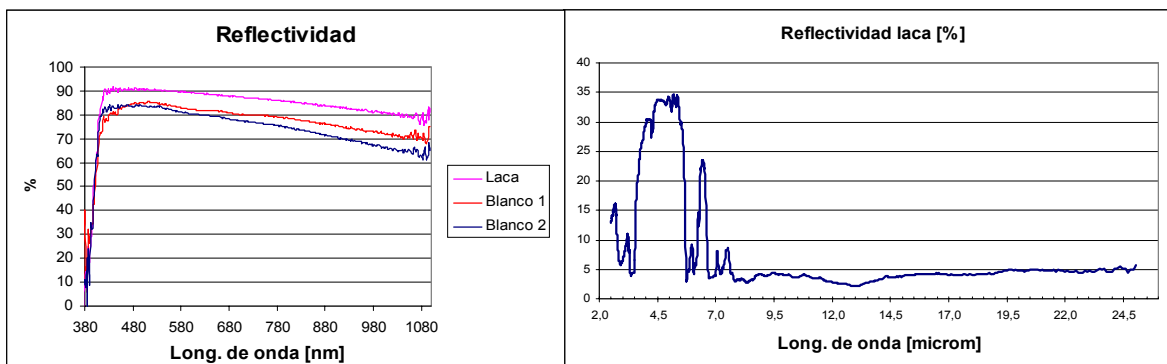


Figura 3. a) Medidas de reflectividad en el visible e IR cercano. b) Medidas de reflectividad en el IR medio y lejano.

Una pequeña reflectividad significa una gran absortividad y, por lo tanto, una gran emisividad. En consecuencia esta laca posee una gran emisividad (alrededor de 95 %) después de los 7,5 μm comprendiendo la ventana atmosférica. El efecto resultante se puede apreciar en las figuras 4 donde se supuso una superficie a temperatura ambiente (18 °C) para un día seco de junio en Salta. En la primera la radiancia absorbida dibujada corresponde a un cálculo hecho con LOWTRAN 7 multiplicada por la absorptancia de la laca. Se han dibujado además en ella las curvas correspondientes a la emisión de un cuerpo negro a 18 °C y la emisión respectiva de una superficie a esta temperatura y con las propiedades de reflectancia de la laca. La emisión neta de la laca (emitido menos absorbido) se muestra en la figura b). La pintura blanca común tiene una emisividad promedio en el IR de 0,91 (Frigerio, 2000). Para la situación descrita, una superficie con esta pintura hubiese irradiado 102 W/m^2 , mientras que para la laca la potencia emitida correspondiente es 120 W/m^2 , es decir, alrededor de un 16 % mayor.

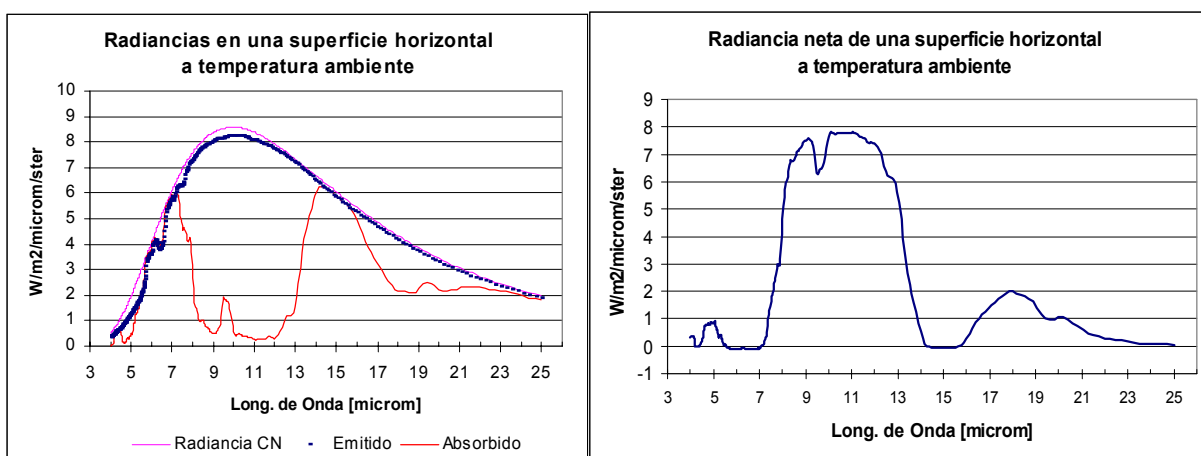


Figura 4. a) Radiancias absorbida y emitida por una superficie con las propiedades de la laca; b) Emisión neta de esa superficie.

Para comprobar experimentalmente estas propiedades se han expuesto tres muestras iguales de chapa galvanizada a cielo. La primer muestra es una chapa sin pintar, la segunda estaba pintada con la pintura blanca común y la tercera con la laca. El resultado para dos días soleados de julio se muestra en la figura 5-a. La chapa sin pintar se recalienta durante el día hasta alcanzar temperaturas mayores a 50 °C. Las propiedades reflectivas hacen que las respectivas chapas pintadas alcancen los 30 °C (blanco común) y apenas supere la ambiente (laca). La figura 5-b muestra la diferencia entre las temperaturas de la chapa pintada con blanco y la pintada con la laca. La mayor diferencia se produjo en la etapa diurna donde la chapa blanca alcanza entre 6 y 7 °C más que la con laca.

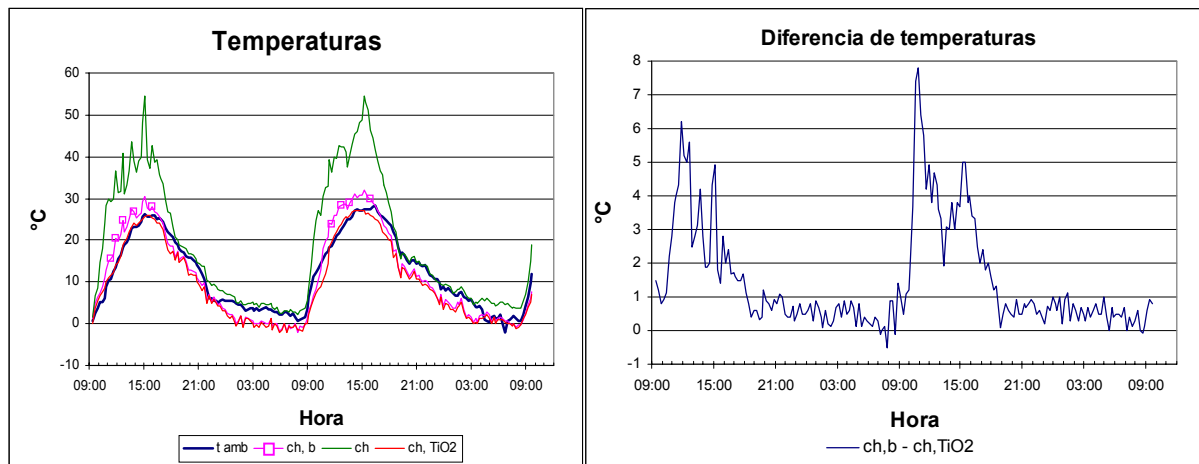


Figura 5. a) temperaturas ambiente y de las chapas.

b) Diferencia de temperaturas entre el blanco común y la laca.

En las siguientes figuras se comparan las temperaturas de las pinturas respecto a la ambiente. Salvo cortos períodos, la temperatura de la chapa con laca no supera a la ambiente mientras que la con pintura blanca lo hace por todo el período diurno. Esto reviste mayor importancia en el equipo de enfriamiento en base a la circulación natural de alcohol (Lozano y Frigerio, 1999) ya que se evitaría un sobrecalentamiento de la masa de alcohol usado para enfriar.

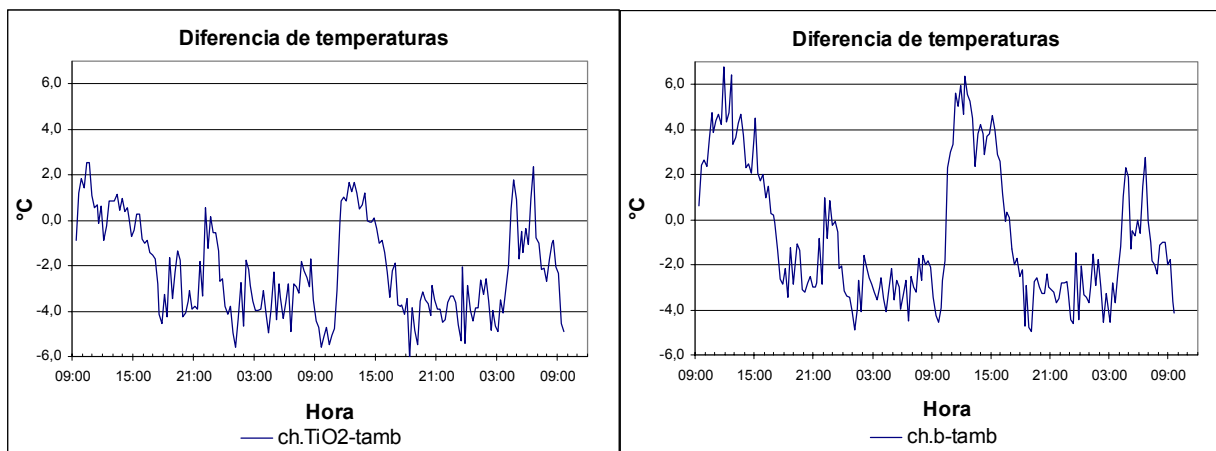


Figura 6. Diferencias de temperaturas a) laca – ambiente

b) blanco común – ambiente.

Para el período nocturno se observa un comportamiento similar entre ambas pinturas. Sin embargo, el aprovechamiento de este efecto es mayor para la laca ya que comienza con temperaturas inferiores y por más tiempo.

ENSAYOS DE LABORATORIO

El radiador del equipo fue pintado con esta laca. Se cargó el equipo con butano y se lo ensayó en laboratorio con una mezcla frigorífica. En el depósito se cargó el tanque con 8 litros de agua. La figura 7 muestra una de estas experiencias. En ella se puede observar que si bien al comienzo las temperaturas en el evaporador y en el depósito de agua bajan, luego suben lentamente respondiendo al aumento de la temperatura de la parte superior del condensador (Cond. Arr.) donde la mezcla frigorífica se había desplazado dejando libre esa zona. La experiencia mostró que el aserto del punto 1 es correcto (no todo el volumen del condensador trabaja) y de que existe una buena transferencia entre evaporador y agua del depósito ya que la diferencia de temperaturas entre ambos apenas supera 1 °C.

ENSAYOS A CIELO

La figura muestra un ensayo con irradiación a cielo. Durante el día la temperatura de la placa no superó la ambiente mientras que durante la noche llegó a 6 grados por debajo de la ambiente confirmando los ensayos realizados con las chapas.

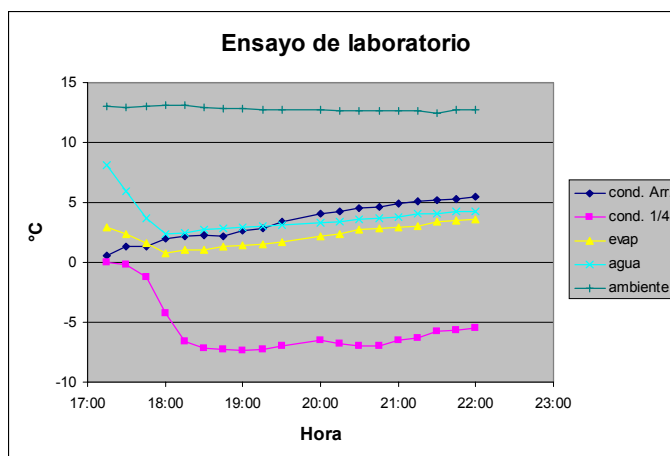


Figura 7. Ensayo de laboratorio del equipo con butano.

Las temperaturas del evaporador, del agua del depósito, el ambiente de la caja y la de una botella de agua que se colocó en la cámara difieren poco entre ellas. Sin embargo, la diferencia entre evaporador y condensador indican que el equipo no está funcionando bien y que tanto el calentamiento como el enfriamiento se deben a un cortocircuito térmico con el ambiente. Se observó este comportamiento en todos los ensayos realizados.

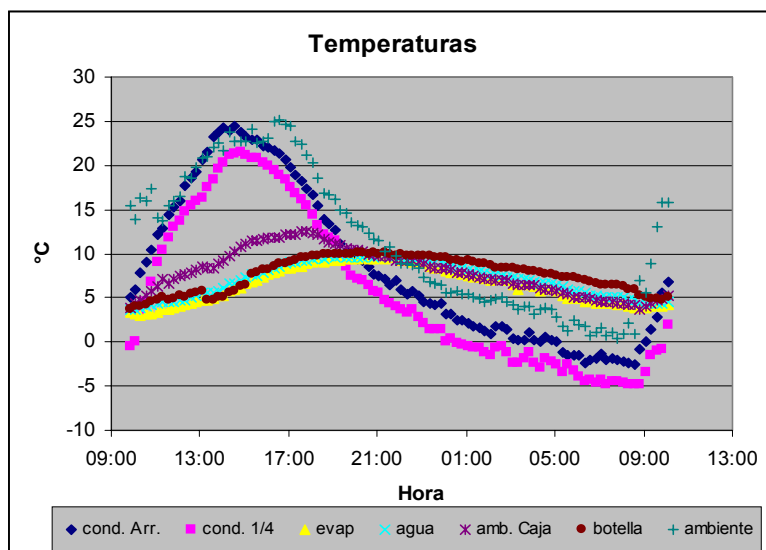


Figura 8. Ensayo con exposición a cielo del equipo con butano.

Se investigó las causas de este mal funcionamiento y se encontró que reside en el butano utilizado. Este es una mezcla de isobutano y n-butano cuyos puntos de ebullición a 1 atmósfera están en $-11,8$ y $-0,5$ °C, respectivamente. Esta característica presupone la posible separación por venteo de ambos elementos. En anteriores experiencias se llegaba por este procedimiento a una mezcla final cuya temperatura de ebullición era de -2 a -3 °C. Sin embargo, la actual mezcla llega a -6 °C cuando ya queda muy poco volumen de ella. En la figura 9 se muestra la evolución de la temperatura de una muestra durante un venteo de exploración. La primera parte corresponde a la separación de elementos más livianos presentes en la mezcla original. Luego se mantiene en unos -8 °C y la parte final corresponde a muy poco volumen de la muestra donde hay cierta imprecisión en las medidas. Como consecuencia el equipo, para que funcione, debe llegar al menos a esta temperatura tan baja. Esta condición no se cumplió en ninguna de las experiencias realizadas.

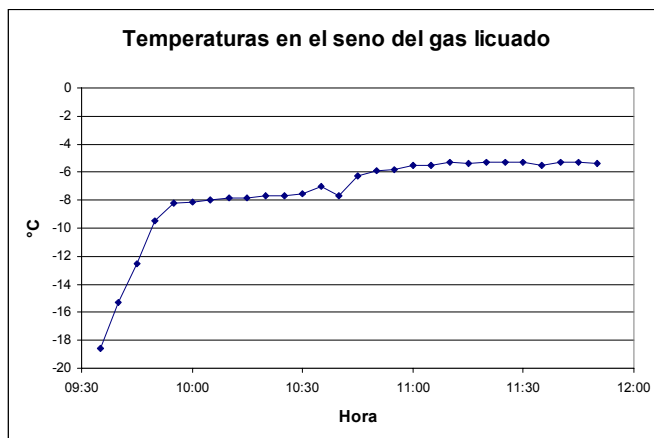


Figura 9. Temperaturas alcanzadas por la mezcla en una experiencia de venteo.

CONCLUSIONES

Se ha encontrado una pintura para las superficies radiantes a cielo que posee buenas propiedades antiselectivas. Esta permite a las superficies bajar sus temperaturas entre 6 y 7 °C por debajo de la temperatura ambiente en noches claras. Por otra parte, durante el período diurno, aunque exista radiación elevada, su temperatura no supera prácticamente a la ambiente. Esto último es crucial en equipos que enfrían la masa de un líquido que circula ya que evita su sobrecalentamiento.

El sistema que se diseñó y preparó no funcionó en las exposiciones a cielo debido a que el fluido de intercambio (butano) tiene propiedades que no se corresponden con las necesarias. Se está buscando la manera de superar este obstáculo.

El nuevo diseño del evaporador ha mostrado una mejor transferencia entre él y el agua del depósito. En las experiencias de laboratorio las diferencias de temperaturas apenas superaron 1 °C.

AGRADECIMIENTOS

A Ricardo Echazú y a Nicolás Di Lalla por su colaboración en la obtención de los espectros de reflectancia.

BIBLIOGRAFÍA

- Frigerio E., Saravia L., Lozano R. (1996). Enfriamiento pasivo : resultados . Actas ASADES 96, Vol. 2, pp 7.17-7.20.
- Frigerio E., Lozano R., Saravia L. (1998). Sistema de enfriamiento con butano. Nuevos ensayos . Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 2, N° 1, pp 2.21-2.24.
- Frigerio E.. La Radiación Nocturna Como Fuente Fría: Su Caracterización y Uso. Trabajo de Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, 2000.
- 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.
- Wolfe W. y Zissis G. (1993). The Infrared Handbook. IRIA Series to Infrared and Electro-Optics. 4a. edición. Environmental Research Institute of Michigan.

ABSTRACT. A new design of a passive cooling equipment was made in order to improve the transfer properties in the evaporator and in the radiator. For the latter, a paint with good antiselective measured properties was found that presuppose 16% more irradiated power than a common white paint. The new evaporator increases six times the exchange area maintaining the temperature of water close to that of the plate. Nevertheless, the working fluid showed inadequate characteristics and the equipment doesn't work.

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