

## **ESTUDIO DEL USO DE PINTURAS SELECTIVAS: UNA APLICACIÓN EN RECINTOS CÚBICOS**

**E. Frigerio<sup>1</sup>, N. Di Lalla<sup>2</sup>, I. Boasso<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>UNSa. - INENCO

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta

Tel.: (0387) 4255424, (0387) 4255489. [frigerio@unsa.edu.ar](mailto:frigerio@unsa.edu.ar)

<sup>2</sup>Dep. de Materiales CNEA – CONICET

Av. Gral. Paz 1499 cp 1650-San Martín (BsAs) - [dilalla@cnea.gov.ar](mailto:dilalla@cnea.gov.ar)

**RESUMEN:** Para evitar el calentamiento no deseado de cuerpos o superficies se plantea el uso de pinturas antiselectivas, las cuáles son muy reflectivas en el visible e IR cercano y altamente emisivas en el IR medio y lejano. Para estudiar su comportamiento se construyeron dos cajas cúbicas con cubiertas de chapa, una sin pintar y la otra pintada. Se usaron dos lacas, una de ellas mate y la otra brillante, cuyas propiedades reflectivas se midieron en laboratorio. Se expusieron a cielo en Cachi y Salta y se midieron temperaturas y radiación solar e infrarroja. En días claros, el dispositivo con cubierta sin pintar alcanzó temperaturas cercanas a los 60 °C mientras que en el de las cubiertas pintadas se mantuvieron cercanas a la temperatura ambiente, mostrando su eficacia.

**Palabras clave:** energía solar, radiación infrarroja, pintura antiselectiva, tecnología, refrescamiento.

### **INTRODUCCIÓN**

La optimización del uso de los dispositivos habituales desde el punto de vista energético es una necesidad que cada vez se vuelve más prioritaria dado el costo de los recursos energéticos convencionales y su escasez que cada vez se siente más. Por otra parte, en el campo de las aplicaciones térmicas de las energías renovables ocupa un lugar destacado el uso racional de la energía. El empleo de sistemas pasivos, es decir, que funcionen sin requerimientos energéticos convencionales, contribuye fuertemente a ello.

En este contexto, previo a usar técnicas de enfriamiento o refrescamiento, es importante encontrar procedimientos que eviten el calentamiento no deseado del cuerpo o superficie de que se trate. Por ejemplo, existen locales de muy diversos usos (galpones, viviendas, aulas, etc.) que tienen techos de chapa de geometría variada. En verano éstas se calientan de forma tal que el calor se acumula debajo de ellos y vuelven desagradable la permanencia en tales lugares o, si hubiere mercadería perecedera se podría afectar su conservación, a menos que se corte el efecto radiativo. Usualmente esto se logra con algún material aislante que se coloca como cielo raso y con buena ventilación. La propuesta de usar una pintura selectiva que sea muy reflectiva en el visible e IR cercano y altamente emisiva en el IR medio y lejano puede lograr el mismo efecto sobre la parte radiativa si no permite que un techo se caliente por encima de la temperatura ambiente y lo haría en forma más económica evitando la instalación de una estructura como ese cielo raso. Por otra parte, al emitir en el infrarrojo lejano, en noches despejadas el techo se enfriaría por debajo del ambiente evacuando el calor acumulado durante el día en el recinto techado, permitiendo acumular fresco en la masa disponible. Si esta técnica no fuera suficiente para mantener la temperatura dentro de valores deseados, se puede pensar en métodos de enfriamiento pasivos como el presentado en trabajos anteriores (Frigerio, 2001; Frigerio, 2005) u otros procedimientos.

Se propuso estudiar la efectividad del acondicionamiento de tales cubiertas pintadas con pinturas de esta selectividad mediante el diseño y construcción de modelos pequeños.

### **LOS MODELOS**

Los modelos no podían ser grandes para permitir ser transportados a otras zonas y obtener así su comportamiento en condiciones distintas. Por otra parte se debía poder comparar las mediciones que se hicieran. Para ello se diseñaron dos recintos cúbicos iguales, de 0,37m x 0,37m x 0,37m con paredes de acrílico, bases de poliestireno expandido y techos de chapa, uno sin pintar y el otro pintado. (fig. 1).

La base de poliestireno sirve para separar la contribución térmica proveniente del lugar de apoyo.

---

<sup>1</sup> INENCO, Instituto UNSa - CONICET

Las paredes de acrílico están pensadas para permitir la observación óptica de los movimientos del aire y para ser usada esta comparativamente en una posterior simulación. Un rectángulo de rieles de plástico en el piso permite el encastre y armado de las paredes del dispositivo, que han sido pegadas con goma siliconada en las aristas. Un segundo rectángulo fijo a las paredes en la parte superior sirve de soporte al techo y de aislamiento en caso de sobrecalentamiento.

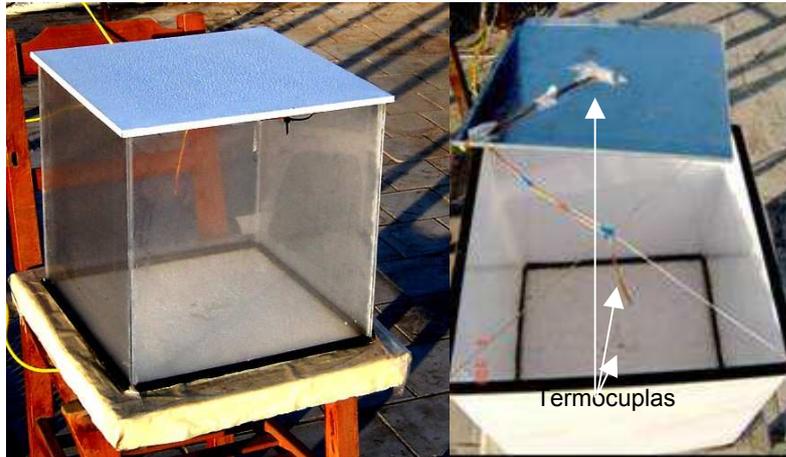


Figura 1. Fotografía del dispositivo construido.

Se ubicaron termocuplas por debajo de las cubiertas metálicas midiendo sus temperaturas, en el centro del volumen de los recintos y en el centro de los pisos, midiendo la temperatura del aire. En ninguna experiencia se colocó masas que pudieran absorber calor, por lo que no hubo acumulación. Además se cerró la parte lateral con cartulina delgada para que la radiación solar no incida sobre las termocuplas. Los datos se recogieron con sistemas de adquisición de datos Omega OCTTEMP y QUADVOLT.

#### PINTURAS UTILIZADAS

Se buscaron pinturas blancas cuya base de preparación fuera  $TiO_2$  debido a sus propiedades. (Wolfe W. y Zissis G., 1993). Se usó una laca blanca mate que se pensó que era la misma presentada en un trabajo anterior (Frigerio, 2002). Medidas posteriores de las propiedades de esta pintura en el infrarrojo (IR) mostraron que era distinta. Debido a ello se buscó y se encontró otra pintura blanca, esta vez brillante, que mostró propiedades semejantes en el IR que la laca mate usada. La comparación de las tres pinturas se muestra en la figura 2.

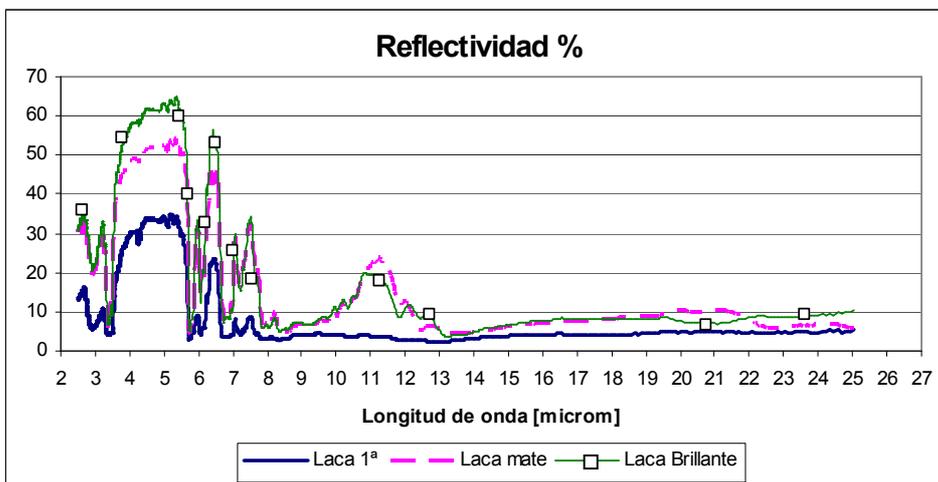


Figura 2. Comparación de la reflectividad  $\rho_\lambda$  de las dos lacas usadas (opaca y brillante) respecto a la reflectividad de la usada previamente en el 2002 (laca 1ª).

Se observa que las propiedades reflectivas en el infrarrojo de las dos lacas usadas en este trabajo son mayores que las de aquella que se poseía previamente. En particular duplica su reflectividad  $\rho_\lambda$  en las bandas de 3,5 a 5,75  $\mu m$  y 6 a 6,7  $\mu m$  mientras que aparecen otras bandas de buena reflectividad entre 7 y 7,8  $\mu m$  y entre 10 y 13  $\mu m$ , donde antes era prácticamente constante y cercana al 4 %. El resultado es que, para un día claro como el que se representa en la figura 3, la primera laca refleja en total menos del 10 % en el IR, la laca mate más de un 21 % y la laca brillante más de un 23%. Teniendo en cuenta que, en equilibrio, la absorptividad es  $\alpha_\lambda = 1 - \rho_\lambda$  y que según la ley de Kirchoff la emisividad es  $\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda$ , los resultados muestran que las nuevas lacas encontradas tienen bastante menor emisividad en el IR que la primera, lo cual es indeseable.

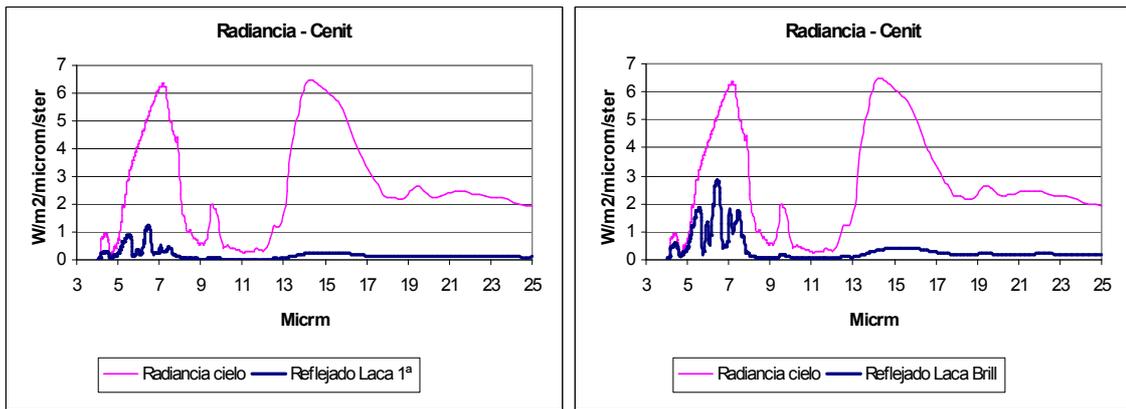


Figura 3. Radiación atmosférica proveniente del cenit para un día claro de invierno en Salta y la que reflejarían la 1er. pintura hallada y la laca brillante.

La reflectividad entre 400 y 1100 nm fue medida con un espectrorradiómetro LICOR en la UNSa. Estas muestran también que las nuevas pinturas tienen inferiores propiedades reflectivas que la primera hallada. (Figura 4) A 500 nm la reflectividad de la laca brillante es 77,5 %, la de la mate es 89,2 % y la de la primera laca es de 91 %. Las tres laca decrecen su reflectividad con la longitud de onda, observándose para 1  $\mu\text{m}$  que los valores respectivos son 46%, 62 % y 82%. No obstante no poseer las propiedades de la laca primera, las dos nuevas laca siguen teniendo un comportamiento con el tipo de selectividad buscada por lo que se las ensayó en los dispositivos.

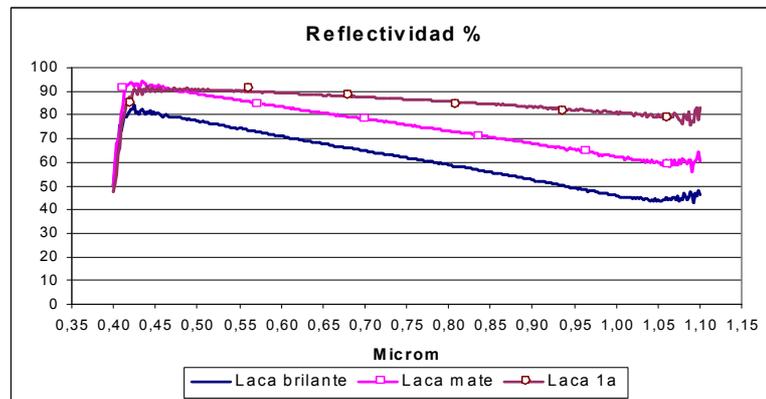


Figura 4. Reflectividad de las tres laca en el visible e IR cercano.

Todas las pinturas eran autoimprimantes por lo que no se necesitó un antióxido previo y se lograron capas delgadas sobre las superficies.

### ENSAYOS EN CACHI

En mayo de este año se ensayó el equipo en el paraje El Quipón, Cachi. Se instalaron ambos dispositivos sobre el techo de la vivienda del lugar, cuidando que no interfirieran radiativamente entre ellas. Figura 5.



Figura 5. Foto de los modelos ubicados sobre el techo de la vivienda en Cachi.

Se midieron con un datalogger además de las seis temperaturas en los modelos, la temperatura ambiente y las radiaciones solar con un K&Z CM3 e IR con un pirgeómetro PIR de Eppley.

La figura siguiente (fig. 6) muestra que fueron días claros, con buena insolación. La temperatura ambiente  $T_a$  y de cielo  $T_c$  correspondiente se muestran en la figura 7. La temperatura ambiente alcanzó los 35 °C todos los días y la depresión ( $T_a - T_c$ ) nocturna fue de unos 13 °C en promedio, un poco menos de lo esperado para la época.

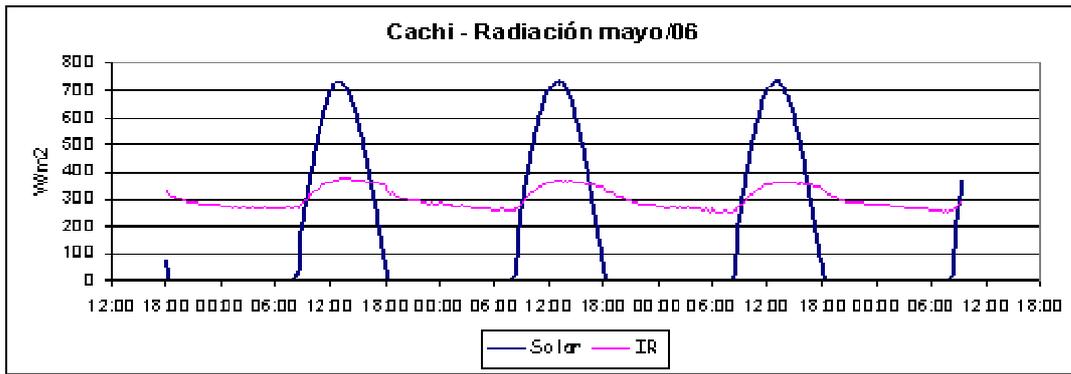


Figura 6. Radiación solar e infrarroja medidas.

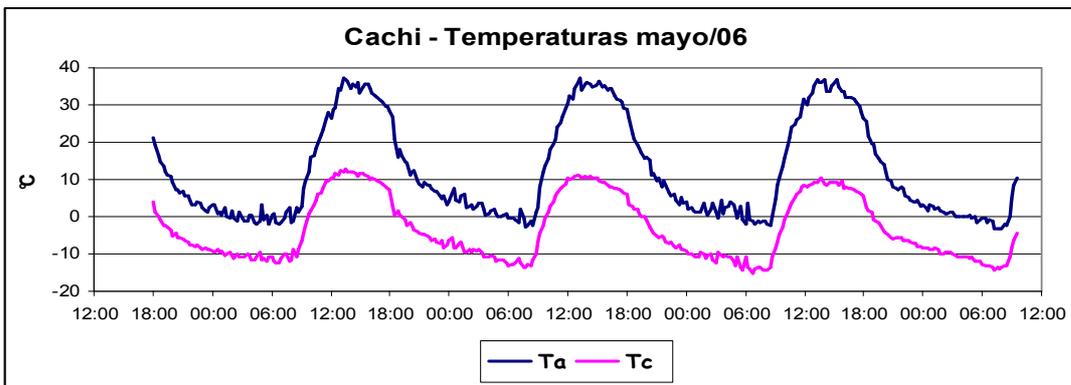


Figura 7. Temperaturas ambiente y de cielo, mayo, Cachi.

## RESULTADOS

Las temperaturas en el recinto cúbico con cubierta sin pintar se graficaron en la figura 8, donde se observa que la cubierta alcanza hasta unos 15 °C más que la temperatura ambiente, llegando todos los días a unos 50 °C. La temperatura del aire dentro del recinto se estratificó quedando la mayor parte del mismo a temperatura ambiente mientras que la zona de transición en contacto con el techo se observó que era muy delgada.

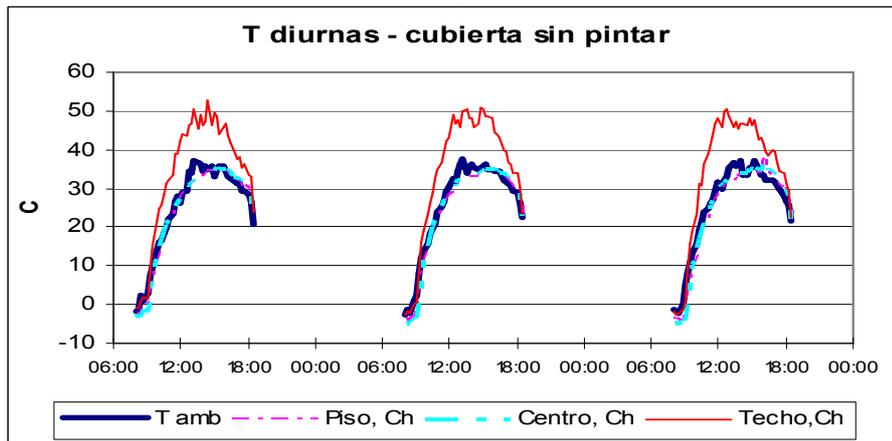


Figura 8. Evolución diurna de las temperaturas en el modelo con cubierta sin pintar.

En el otro recinto las temperaturas nunca pasaron la temperatura ambiente. (fig. 9). En particular, cuando se produce el máximo de temperatura ambiente la cubierta se encontraba a unos 5 °C por debajo de ella forzando a bajar un poco la temperatura del aire en el cubículo por convección natural. De todas formas el aporte de calor desde el exterior mantiene las temperaturas del aire en el espacio muy cercanas a la temperatura ambiente.

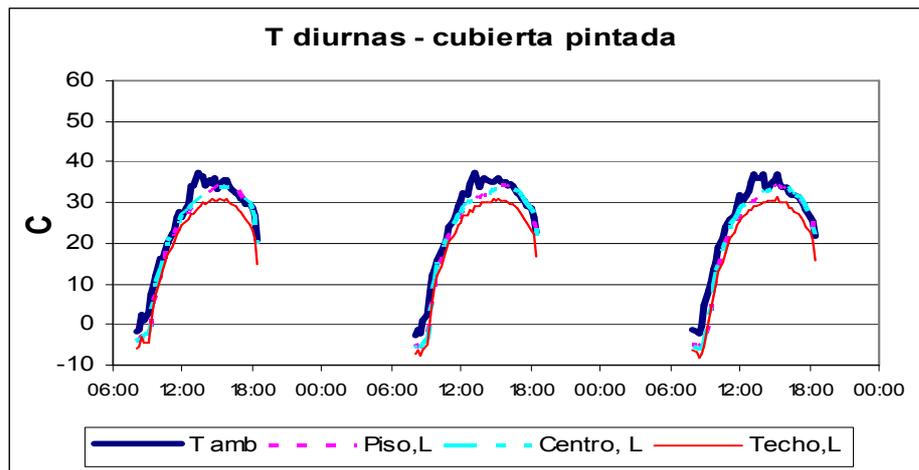


Figura 9. Evolución diurna de las temperaturas en el modelo con cubierta pintada.

Durante el período nocturno, en la figura 10 – a) se ve que las temperaturas en el techo sin pintar bajan por debajo de la ambiente hasta un par de grados debido a la irradiación de un cielo y el aire en el recinto unos 4 grados. El que el techo esté más caliente probablemente se deba a efectos de viento nocturno.

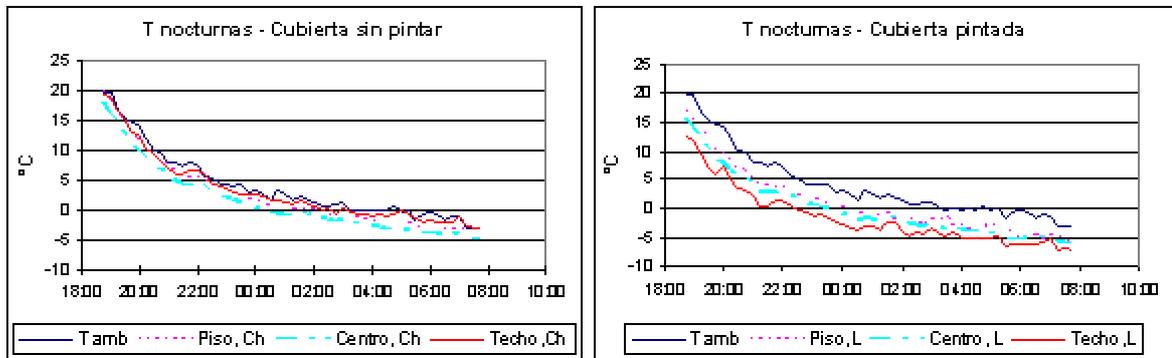


Figura 10. Evolución nocturna de las temperaturas en el modelo a) con cubierta sin pintar y b) con cubierta pintada.

La evolución nocturna de la blanca (fig. 10 - b) fue la misma todas las noches. La temperatura de la cubierta se ubicó unos 6 °C por debajo de la ambiente durante todo el período nocturno, manteniendo el aire del recinto en casi 4 °C por debajo del aire exterior.

### ENSAYOS EN SALTA

Los ensayos en Salta mostraron características similares a las medidas en Cachi. Las figuras siguientes muestran un día soleado de julio. En la figura 11 - a) se aprecia que durante el día la chapa sin pintar alcanzó temperaturas de 57 °C, alrededor de 23 °C mayor que la temperatura ambiente en el mediodía solar. La temperatura de piso y central permanecieron unos 5 °C por sobre el ambiente. De noche (fig. 11-b), la temperatura de la cubierta llegó a unos 4 °C por debajo de la ambiente, lo cual fue excepcional. En general, los días previos y posteriores esta depresión de temperaturas fue menor a 2 °C por debajo del ambiente.

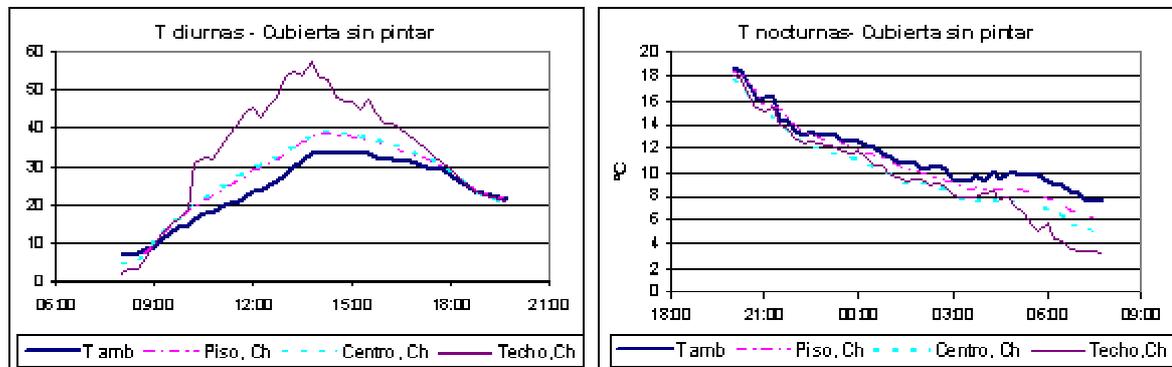


Figura 11. Temperaturas en el modelo con cubierta sin pintar. a) período diurno, b) período nocturno.

En el otro modelo (fig. 12), a diferencia de lo ocurrido en Cachi, las temperaturas diurnas superaron la ambiente un par de grados, mucho menos que la otra cubierta. Las temperaturas en el recinto y el piso fueron mayores que la de la cubierta, 4 °C

por sobre el ambiente, lo que indica un ingreso de energía por las paredes. Esto se asemeja a lo ocurrido en el otro modelo por lo que se infiere que también en éste último existe ingreso de energía por las paredes. Durante el período nocturno (fig. 12 – b) la diferencia entre cubierta y ambiente se mantuvo en unos 4 °C. Esta es menor que la obtenida en Cachi pero con igual comportamiento.

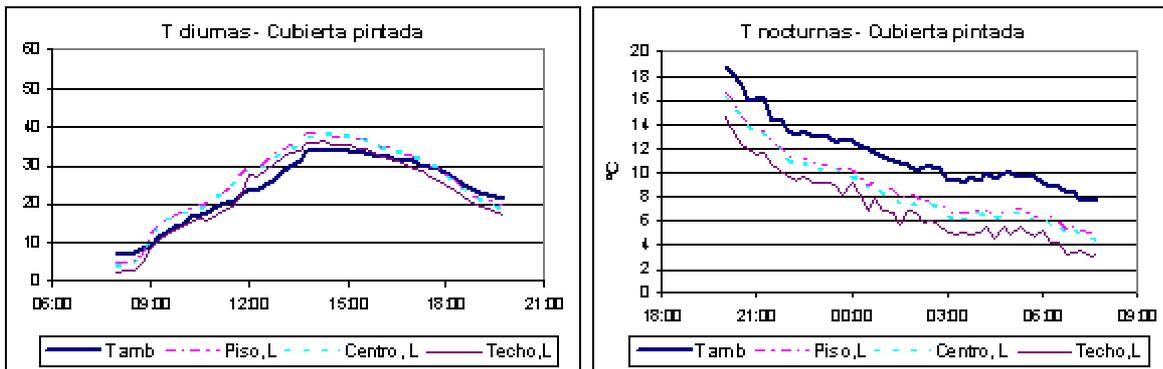


Figura 12. Temperaturas en el modelo con cubierta pintada. a) período diurno, b) período nocturno.

### OTROS ENSAYOS

Se preparó una tercer cubierta con la laca brillante (LB) y se reemplazó la cubierta sin pintar por ésta. Se expuso a cielo en Salta y se compararon las medidas simultáneas entre las dos cubiertas, la mate (L) y la brillante.

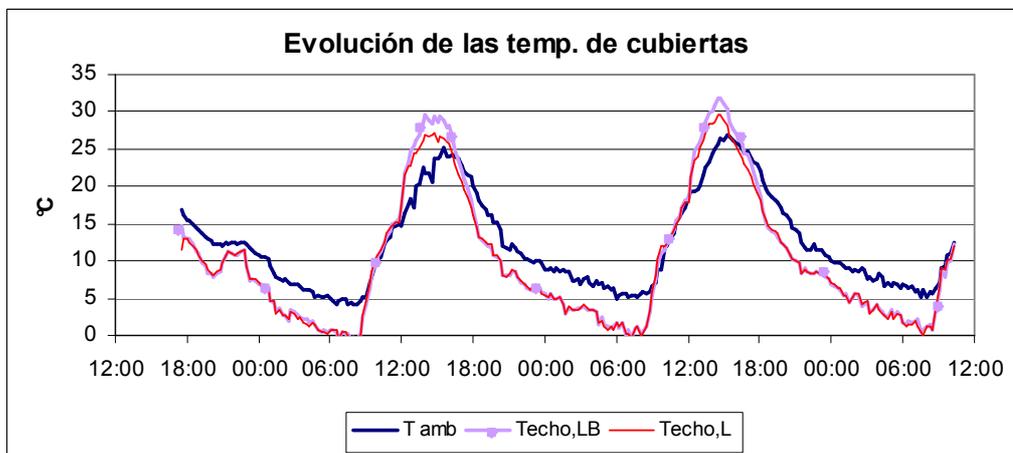


Figura 13. Evolución de las temperaturas de las cubiertas pintadas con laca brillante (LB) y con laca mate (L)

La figura 13 muestra la gran semejanza de comportamiento de ambas pinturas. Las siguientes figuras (14-a y b) muestran la diferencia diurna y nocturna de temperaturas entre las cubiertas, confirmando estos resultados.

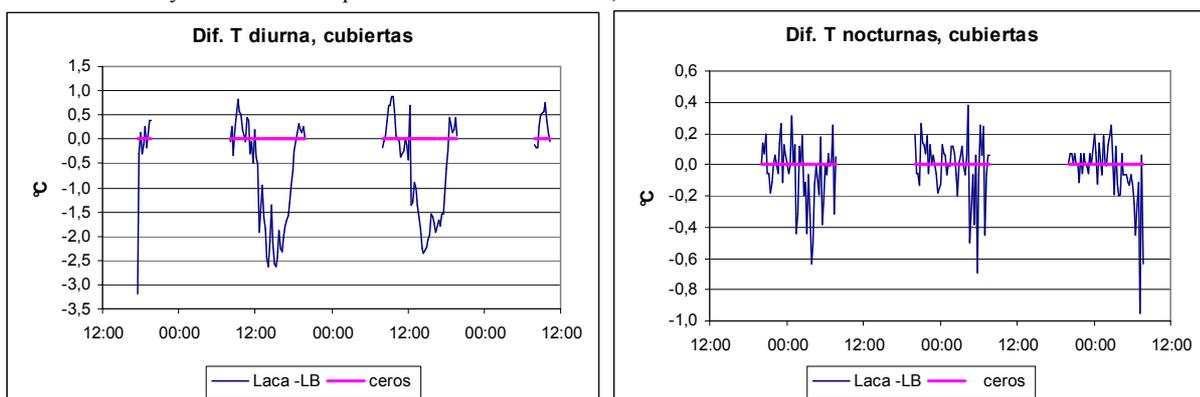


Figura 14. Diferencias de temperatura de cubiertas,  $T_L - T_{LB}$ , a) diurnas; b) nocturnas.

De día la laca brillante se calentó más que la mate hasta un par de grados, lo que significó unos 5 °C sobre el ambiente, mientras que durante la etapa nocturna no hubo diferencias significativas.

## CONCLUSIONES

Se encontraron tres pinturas blancas (lacas) que poseyeron propiedades selectivas adecuadas para enfriamiento. Estas pinturas se basan en las propiedades del  $\text{TiO}_2$ , base de la preparación de ellas. El que se encuentran en el mercado tiene la ventaja del fácil acceso a ellas.

El uso de estas pinturas selectivas evita el sobrecalentamiento diurno de las cubiertas, lo que significaría, si fuera necesario, el uso de equipos de enfriamiento o refrescamiento más pequeños. Las propiedades medidas de reflectividad de las lacas con las que se trabajó son inferiores a la de una pintura encontrada previamente. A pesar de ello su comportamiento para la prevención del calentamiento de superficies fue bueno.

Las diferencias de temperaturas diurnas en otoño e invierno entre las cubiertas pintadas y la sin pintar fue muy notoria, logrando las primeras en días claros permanecer cercanas a la temperatura ambiente mientras que la última llegó a temperaturas muy altas, cercanas a los 60 °C.

Las cubiertas pintadas durante la noche bajaron su temperatura por debajo de la ambiente de 4 ° a 6 °C en forma pareja, lo que serviría para colocar una masa que regule la temperatura tanto diurna como la nocturna. La cubierta sin pintar también fue disminuyendo su temperatura por debajo de la ambiente aunque muy poco.

La geometría ensayada es la de una cubierta plana por facilidad constructiva. Se quiere ensayar otras geometrías como una cubierta inclinada o parabólica donde se espera que haya diferencias con la cubierta plana.

## Bibliografía

- Wolfe W. y Zissis G. (1993). The Infrared Handbook. IRIA Series to Infrared and Electro-Optics. 4a. edición. Environmental Research Institute of Michigan.
- E. Frigerio.(2001) 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..(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.
- E. Frigerio (2005). Nuevos componentes en un equipo de enfriamiento. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 9, pp 3.07-3.11, S. M. De los Andes.

To keep out undesired warming of bodies or surfaces the use of antiselective paints is proposed, which are very reflective in the range of visible light and near infrared and highly emissive in the far infrared. To study its behavior two cubic boxes were built with metallic covers, one painted and the other without paint. Two lacquer were used, one mate and the other brilliant, whose reflective properties were measured in laboratory. There were exposed to sky in Salta and Cachi and measure of temperature and of solar and infrared radiations were made. In clear days, the device with the cover without paint reach temperatures near 60 °C while in the device with painted cover keep ambient temperature, showing its efficacy.

**Keywords:** solar energy, infrared radiation, antiselective paints, technology, refreshment.