

ESTUDIO DEL USO DE PINTURAS SELECTIVAS: APLICACIÓN A UNA NUEVA GEOMETRÍA

E. Frigerio¹

¹UNSa. - INENCO

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta

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

RESUMEN: Se continuó con el estudio del uso de pinturas selectivas, muy reflectivas en el visible e IR cercano y altamente emisivas en el IR medio y lejano, para evitar el calentamiento no deseado de cuerpos o superficies. Para estudiar su comportamiento se reconstruyeron dos cajas cúbicas con cubiertas de chapa, una sin pintar y la otra pintada. Las cubiertas se concibieron simulando techos a dos aguas. Se les agregó además una masa de agua a ambos modelos. Se usó una pintura blanca mate de TiO₂ cuyas propiedades reflectivas se midieron en laboratorio. Se expusieron a cielo en Salta midiéndose temperaturas y radiaciones solar e infrarroja. En días claros el dispositivo con cubierta sin pintar alcanzó temperaturas altas, algunas cercanas a los 60 °C, mientras que en el de las cubiertas pintadas se mantuvieron cercanas a la temperatura ambiente, mostrando su eficacia. Se muestra la diferencia de comportamiento de las temperaturas en las masas de agua.

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

INTRODUCCIÓN.

Se propuso estudiar la efectividad del acondicionamiento de cubiertas de recintos pintadas con pinturas selectivas que evitaran un calentamiento no deseado del cuerpo o superficie de que se trate, buscando la optimización del uso de los dispositivos habituales de enfriamiento o refrescamiento desde el punto de vista energético.

Existen locales de muy diversos usos (galpones, viviendas, aulas, etc.) que tienen techos de chapa de geometría variada. Éstos 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 percedera 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. Aquí se propone el uso de una pintura selectiva que sea muy reflectiva en el visible e IR cercano y altamente emisiva en el IR medio y lejano para lograr el mismo efecto sobre la parte radiativa no permitiendo que un techo se caliente por encima de la temperatura ambiente. 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.

En un trabajo previo (Frigerio et al., 2006) se presentó un estudio del uso de pinturas selectivas mediante el diseño y construcción de modelos pequeños. En el trabajo se ensayó con techos planos mientras que en el presente trabajo se presentan cierres con forma de techo a dos aguas.

LOS MODELOS

La característica de estos modelos es que no pueden 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).

¹ INENCO, Instituto UNSa - CONICET



Figura 1. Fotografía de los dispositivos construidos. A la izquierda el hecho hace dos años y a la derecha con las modificaciones actuales.

La base de poliestireno sirve para separar la contribución térmica proveniente del lugar de apoyo. 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. A éste se le agregó un burlete autoadhesivo de espuma de goma para asegurar la estanqueidad con el cierre superior de la cavidad.

El cierre de chapa se lo hizo con forma de techo de dos aguas, cerrado por “delante” y por “detrás” con un triángulo de acrílico. Estos techos van simplemente apoyados sobre el marco descrito.

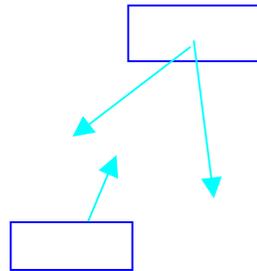


Figura 2: detalle de construcción.

Para medir temperaturas se ubicaron dos termocuplas por debajo de las cubiertas metálicas, una en el centro de cada faceta de la chapa. Se ubicaron otras en el centro del volumen de los recintos y en el centro de los pisos, midiendo la temperatura del aire.

Se colocaron dos recipientes de 18 cm de diámetro con una masa de 1 kg de agua para que pudieran absorber calor como se muestra en la figura 3, donde se observa la termocupla colocada. Para permitir el intercambio radiativo con el techo, se reemplazó la tapa plástica que poseían los recipientes por un film adherente que contuvo la evaporación dentro del recipiente.



Figura 3. Recipiente con agua instalado en el modelo y termocuplas.

Al comienzo se cerró la parte lateral con papel para que la radiación solar no incida sobre las termocuplas. Sin embargo el papel utilizado no era bueno, se deformaba mucho con la humedad y las medidas arrojaron que durante el día el sol influía directamente sobre la temperatura medida en el centro del volumen. Para evitarlo se reemplazó el papel por poliestireno expandido de poco espesor (1 cm).

Los datos se recogieron con sistemas de adquisición de datos Omega.

PINTURA UTILIZADA

Anteriormente se buscaron pinturas blancas cuya base de preparación fuera TiO_2 debido a sus propiedades. (Wolfe W. y Zissis G., 1993; Frigerio, 2002; Frigerio y otros, 2006). Por la experiencia recogida se adquirió para este trabajo una que fuera mate.

Las propiedades de la pintura usada se muestran en las siguientes figuras. La primera (fig. 4) muestra la reflectividad en el visible e infrarrojo cercano, entre $0,4 \mu m$ y $1,1 \mu m$, medida con un espectrorradiómetro LICOR en la UNSa. Al igual que las lacas halladas previamente, crece muy rápido entre $0,4$ y $0,42 \mu m$ y luego decae linealmente hasta los $1,1 \mu m$. De esta manera la banda más energética es la más reflejada. En promedio la reflectividad de ese intervalo es $75,4 \%$, lo que se consideró aceptable.

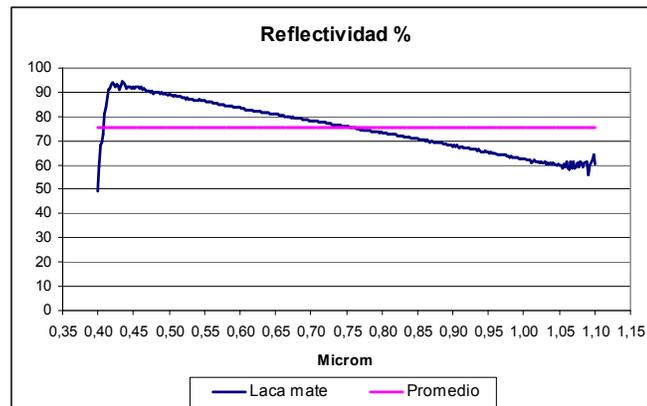


Figura 4. Propiedades de reflectividad ρ_λ de la laca usada (opaca) en el visible e infrarrojo cercano.

La reflectividad en onda larga fue hecha por encargo en Bs. As. por el Mg. Nicolás Di Lalla. En la figura 5 se observa que en el infrarrojo la pintura usada en este trabajo tiene bandas de reflectividad alta entre $3,5$ a $7,8 \mu m$ y otra banda de buena reflectividad entre $10,3$ y $12 \mu m$. El resultado es que, para un día claro como el que se representa en la figura 6, la pintura refleja en total más de un 21% de radiación IR. Teniendo en cuenta que, en equilibrio, la absorptividad es $\alpha_\lambda = 1 - \rho_\lambda$ y que según la ley de Kirchof la emisividad es $\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda$, los resultados muestran que la pintura tiene bastante menor emisividad en el IR que lo que se esperaba. A pesar de ello, tiene en general el comportamiento buscado de poseer una gran reflectividad en el visible y poca en el infrarrojo, especialmente en la ventana atmosférica (8 a $13 \mu m$).

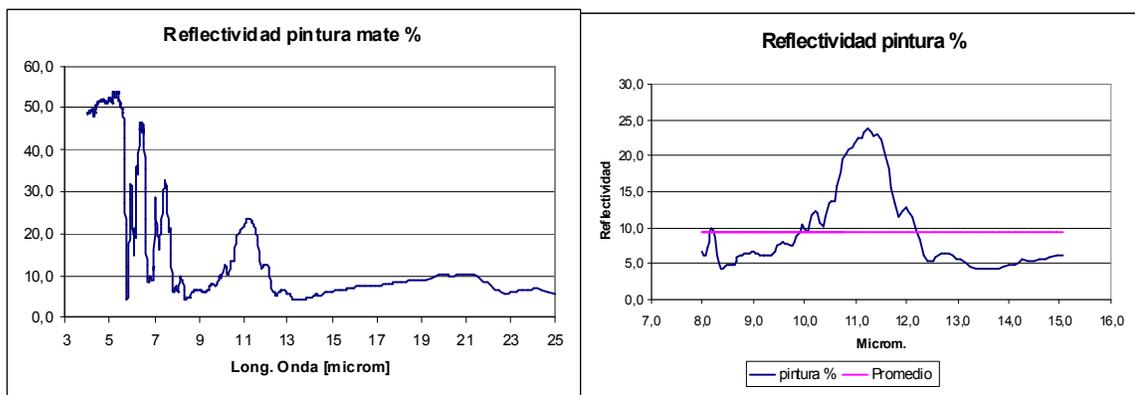


Figura 5. Propiedades de reflectividad ρ_λ de la laca usada (opaca) para longitud de onda larga. Derecha: detalle abarcando la ventana atmosférica.

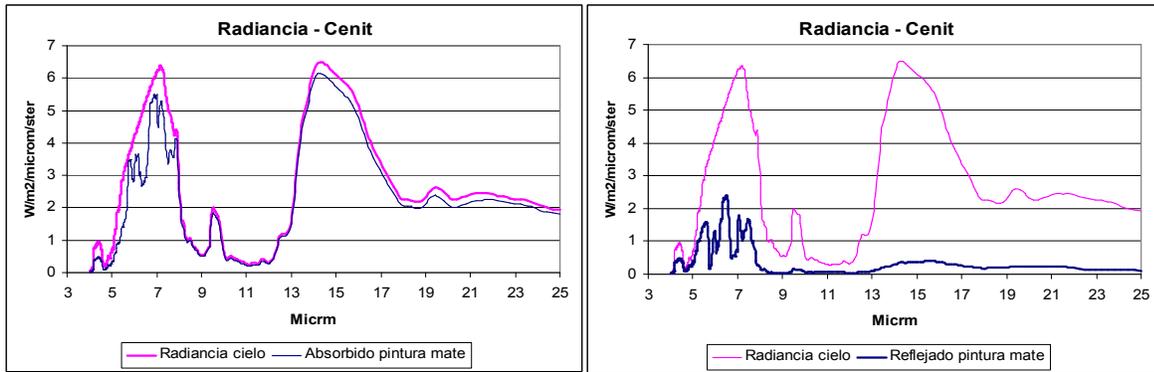


Figura 6. Radiación atmosférica proveniente del cenit para un día claro de invierno en Salta, la que permitiría absorber la pintura y la que reflejaría.

La pintura es autoimprimante por lo que no se necesitó un antióxido previo y se logró una capa delgada sobre la superficie.

MEDICIONES EFECTUADAS. RADIACIÓN.

Se ubicaron los modelos en la terraza de la universidad, separadas entre ellas por una distancia de aproximadamente 1 m buscando que no se hicieran sombra uno al otro. La dirección de ambas es tal que las pendientes de los techos quedan orientadas hacia el este y el oeste.

Se midieron con un datalogger además de las ocho temperaturas en los modelos, la temperatura ambiente de bulbo seco y la de bulbo húmedo y las radiaciones solar con un K&Z CM3 e infrarroja (IR) con un pirgeómetro PIR de Eppley.

Se realizaron mediciones durante otoño e invierno. En la figura 7 se muestra una secuencia de mediciones de radiación solar e IR correspondientes a mediados de junio. Se puede observar que los primeros tres días estuvieron despejados mientras que en los siguientes hubo tiempo variable con nubes. El detalle de los días despejados se encuentra en la figura siguiente. A la derecha se dibujó sólo la radiación IR y lo que predice la correlación para Salta (Frigerio, 2001). Es interesante hacer notar la validez de esta correlación a lo largo de los años y el seguimiento hora a hora que se consigue a pesar de que esta correlación se realizó para promedios mensuales.

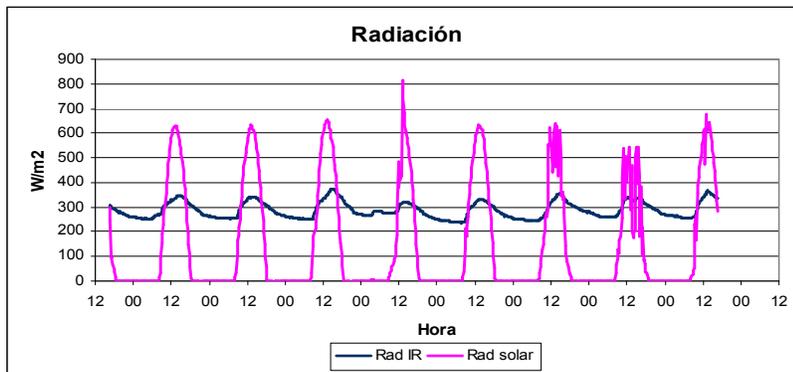


Figura 7. Radiaciones solar e infrarroja – Junio de 2008

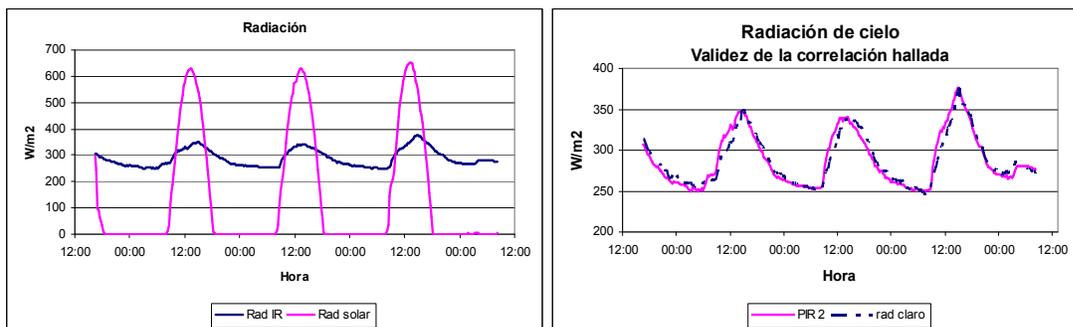


Figura 8. Detalles de los primeros tres días de la figura 7, radiación IR medida (PIR 2) y correlación de radiación IR para cielo claro.

MEDICIONES DE LOS MODELOS. RESULTADOS.

La figura 9 muestra las temperaturas sobre el modelo con chapa sin pintar (modelo SP) para el periodo mostrado en la figura 8.

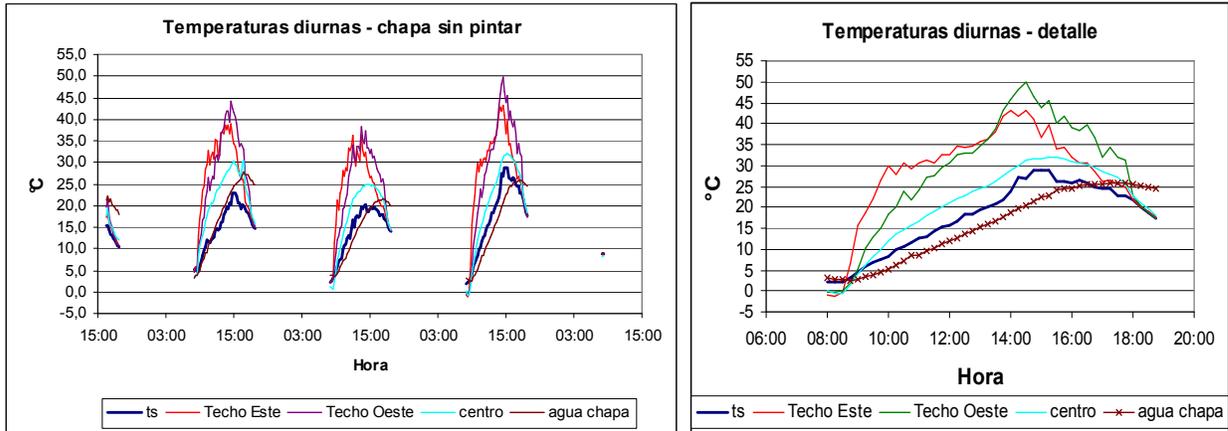


Figura 9. Temperaturas medidas en el periodo diurno. Detalle del tercer día. Modelo SP.

El detalle del tercer día muestra la gran diferencia de temperaturas entre techo y ambiente. El techo responde a la radiación solar incidente y se aprecia particularmente el efecto de la orientación al estar más caliente por la mañana la orientación este y por la tarde la oeste. La temperatura en el centro del recinto está desfasada respecto al máximo solar y sigue a la ambiente siendo sólo un poco mayor que ésta. Esto pone de manifiesto que el calentamiento de la cubierta no llega a afectar directamente las capas del centro del recinto e inferiores.

La temperatura de la masa de agua se eleva unos 20 grados con un retardo de unas tres horas respecto de la temperatura ambiente máxima o de la máxima del centro del recinto.

En el sistema con la chapa pintada de blanco (modelo B) se observa que las temperaturas apenas sobrepasan la ambiente entre el mediodía y las 14 hs. Las temperaturas del lado este y del lado oeste, al igual que en el otro modelo, se diferencian entre mañana y tarde. Las temperaturas de la chapa blanca y del centro del recinto son similares mientras que el agua tiene un comportamiento similar al del otro modelo aunque llega a unos 4 °C menos en el máximo y su retardo entre máximos es de cuatro horas aproximadamente. Esta diferencia de comportamiento entre las dos masas es atribuible al intercambio radiativo con sus respectivos techos.

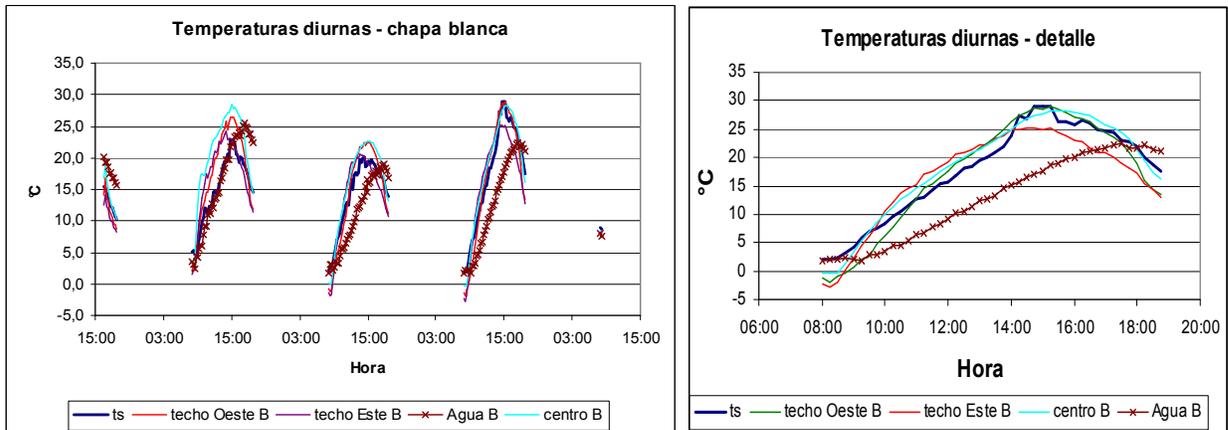


Figura 10. Temperaturas medidas en el periodo diurno. Detalle del tercer día. Modelo B.

En el periodo nocturno, figuras 11 y 12, se observa que en ambos modelos sus respectivas masas de agua bajan su temperatura aunque en forma más efectiva en el modelo B. Está claro que en el modelo SP es el equilibrio con la temperatura ambiente el responsable del descenso de temperatura del agua ya que las temperaturas de techo y aire no se separan de ella.

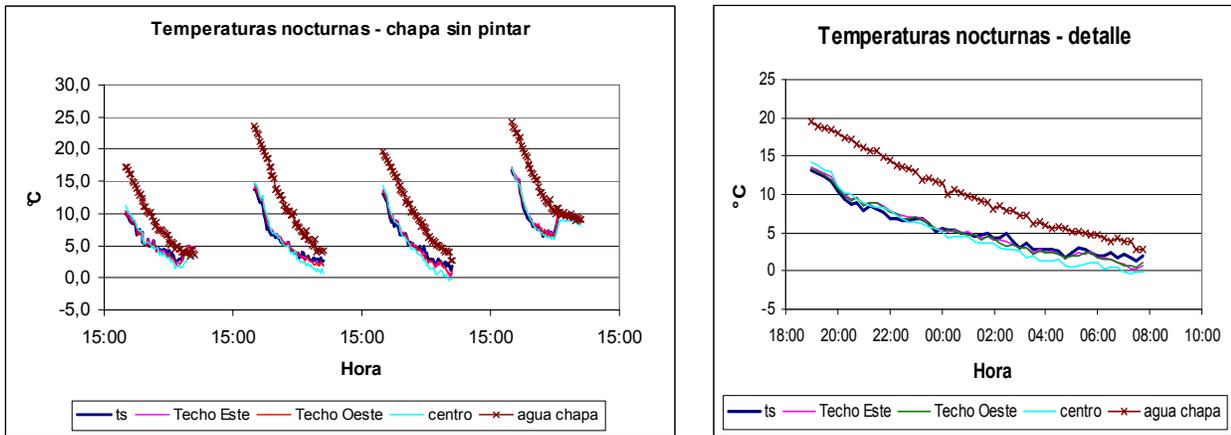


Figura 11. Temperaturas medidas en el periodo nocturno. Detalle tercer noche. Modelo SP.

En el otro modelo, el B, el descenso ocurre también por convección pero forzada por temperaturas de techo más bajas. Estas últimas descienden por debajo de 0 °C provocando condensación en la parte externa y muchas veces heladas sobre la superficie. Por otra parte, en el techo del otro modelo rara vez se observó condensación.

El ascenso brusco de temperatura en la cuarta noche está asociado a un cambio de tiempo con nubes. Al final de la primera noche se aprecia también un ascenso brusco indicando que hubo nubes durante el fin de la noche y las primeras horas del día, probablemente en forma de neblina.

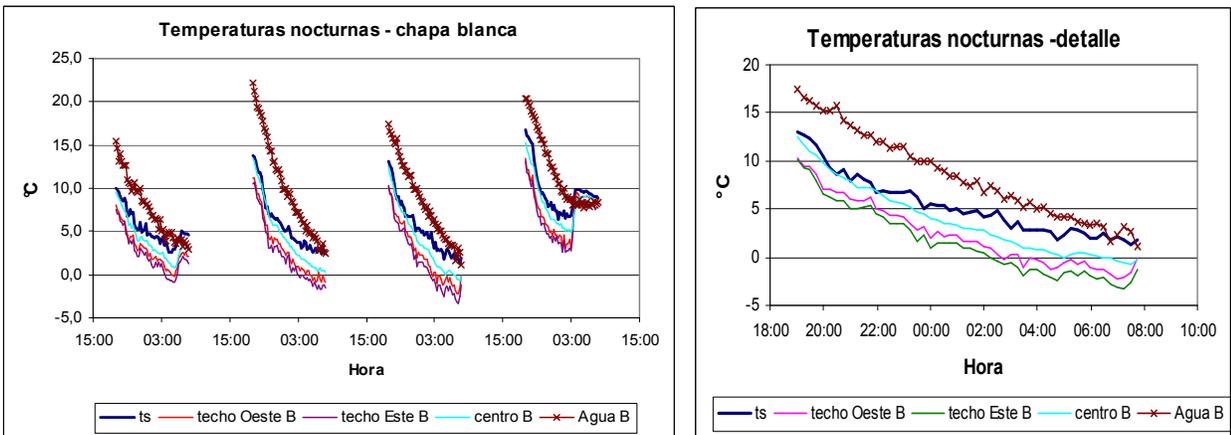


Figura 12. Temperaturas medidas en el periodo nocturno. Detalle tercer noche. Modelo B.

En la primer gráfica de la figura 13 se muestra la diferencia de temperaturas durante los cuatro días entre los dos recipientes con agua. Las máximas diferencias se presentan cerca de las 15:30 hs y la mínima alrededor de las 7:30 hs, previo al amanecer. El comportamiento al final de la primera noche parece confirmar la probable neblina observada en las figuras 11 y 12.

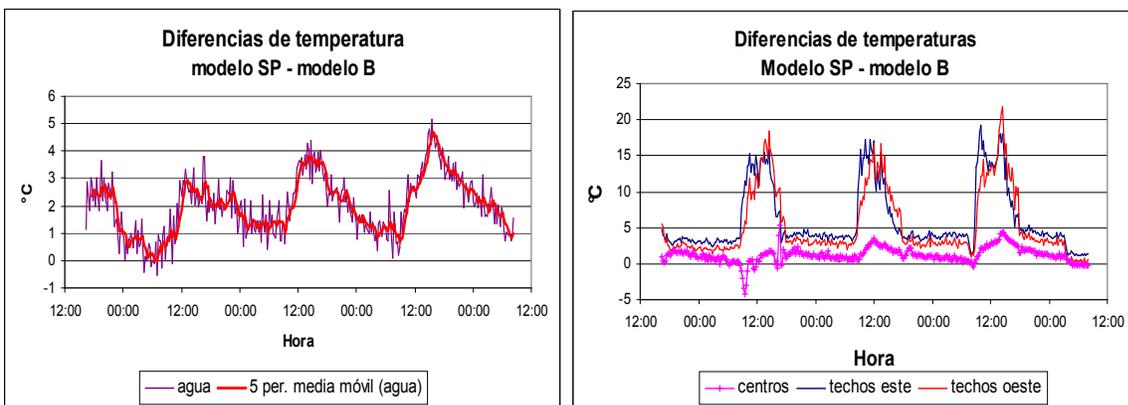
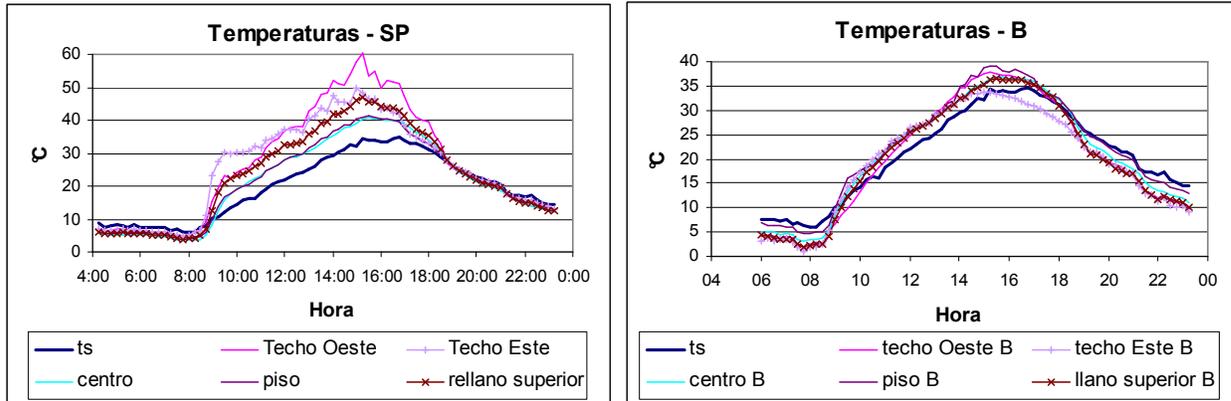


Figura 13. Diferencias de temperaturas entre modelos.

En la segunda gráfica se dibujaron las diferencias en el aire del centro de los recintos y entre orientaciones de los techos. Estos últimos alcanzan diferencias apreciables de temperatura durante el día mientras que de noche se mantienen constante en aproximadamente unos 3 °C. Las temperaturas del aire en el centro se mantienen aproximadamente similares, salvo los picos al mediodía solar, denotando poca influencia de las temperaturas de los techos.

Se hicieron experiencias sin masa de agua, midiendo la temperatura en el centro de la superficie a la altura del burlete. Esta temperatura está identificada como rellano superior en las gráficas de la figura siguiente. Se puede apreciar que en el modelo SP la influencia del recalentamiento de la cubierta llega apenas hasta esa zona. En el otro modelo pareciera seguir a la temperatura del este a la mañana y a la del oeste a la tarde. Lo más destacable en el modelo B es que la temperatura del lado este del techo baja por debajo de la ambiente por radiación a cielo apenas el ángulo del sol se lo permite.



CONCLUSIONES

Para la presente experiencia se buscó en el mercado una pintura al igual que se hizo con las lacas previamente. Las propiedades medidas de reflectividad de la pintura con la que se trabajó se asemejan a las de una laca mate encontrada previamente. El comportamiento para la prevención del calentamiento de superficies fue bueno, aunque las propiedades emisivas en el IR no fueran las esperadas.

Las diferencias de temperaturas diurnas entre la cubierta pintada y la sin pintar fue muy notoria, logrando la primera en días claros permanecer cercana a la temperatura ambiente mientras que la última llegó a temperaturas muy altas, entre los 50 °C y los 60 °C en invierno con insolaciones entre 650 y 750 W/m². Esto es semejante a las temperaturas que alcanzó la cubierta plana sin pintar ensayada previamente para insolación similar. El aire alcanza una marcada estratificación, con una capa superior afectada por el sobrecalentamiento que no sobrepasa el espacio encerrado por el techo hasta su apoyo en el recinto cúbico, afectando poco a las capas inferiores.

La cubierta pintada durante la noche bajó su temperatura por debajo de la ambiente. Se midieron hasta unos 4 ° o 6 °C. La cubierta sin pintar también fue disminuyendo su temperatura pero siguiendo a la ambiente; rara vez lo hizo por debajo al final de la noche aunque muy poco. La diferencia nocturna mostrada de 3 °C entre los techos lograda por la pintura es chica pero muy significativa ya que este suceso junto al de evitar sobrecalentamiento suministra la diferencia de comportamiento de los modelos.

La masa de agua presente en los dos modelos mostró que la diferencia alcanza hasta unos 5 °C (casi 21000 J más en el modelo SP) durante el mediodía solar debido a intercambio radiativo. Durante la noche esta diferencia es poco indicadora.

La geometría ensayada es la de una cubierta inclinada. No se observó en los ensayos diferencias sustanciales con los resultados obtenidos para una cubierta plana.

El uso de temperaturas selectivas como la descrita evita el sobrecalentamiento diurno de las cubiertas, lo que significaría, si fuera necesario, el uso de equipos de enfriamiento o refrescamiento más pequeños.

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.

Frigerio E., Di Lalla N., Boasso I. (2006) Estudio del uso de pinturas selectivas. Aplicación en recintos cúbicos. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 10, pp 8.17-8.23, Buenos Aires.

ABSTRACT: The study of the use of selective paints, paints which are very reflective in the range of visible light and near infrared and highly emissive in the far infrared, to keep out undesired warming of bodies or surfaces is continued. To learn about its behavior, two cubic boxes were rebuilt with metallic covers, one painted and the other without paint. The covers were conceived like roofs with two pitches. Two water masses were added to both models. A TiO₂ mate white paint was used, whose reflective properties were measured in laboratory. There were exposed to sky in Salta measuring temperatures and solar and infrared radiations. In clear days the device with the cover without paint reach height temperatures, some near 60 °C, while in the device with painted cover keep near ambient temperature, showing its efficacy. The difference in the behavior of the masses temperatures is showed.

Keywords: solar energy, infrared radiation, selective paints, technology, refreshment.