

Comparación del comportamiento térmico de tres cubiertas: láminas de reciclado tetra pak®, láminas de fibrocemento y teja de barro

Quiroa Herrera, J. A.¹, Vecchia, F.², Castañeda Nolasco, G.³

Fecha de recepción: 28 de agosto de 2009 – Fecha de aceptación: 10 de mayo de 2010

RESUMEN

Se expone los resultados del comportamiento térmico de las láminas producidas por el proceso de reciclaje pos-uso de las cajas acartonadas fabricadas por Tetra Pak®. Las láminas fueron instaladas de la siguiente forma: una célula experimental con láminas recicladas y dos más con cubiertas convencionales: teja cerámica y lámina de fibrocemento. Las tres celdas tienen losa de vigueta y bovedilla, también cuentan con las mismas características constructivas variando únicamente la cubierta. El análisis del comportamiento térmico fue hecho basándose en la climatología dinámica, por medio de la determinación de un período representativo de calor, y definiendo el día representativo de este período. Las variables analizadas fueron: temperatura superficial de la lámina o teja, temperatura superficial de la losa, temperatura del aire interior de la célula y la temperatura del aire exterior. Los resultados mostraron que para las tres láminas los valores fueron similares, sin embargo la lámina producida por el reciclaje de cajas Tetra Pak® presentó los menores valores de temperatura lo que representa un mejor comportamiento térmico en comparación a las cubiertas convencionales.

Palabras-Clave láminas recicladas, climatología dinámica, comportamiento térmico.

Thermal behavior comparison of three different roof tiles: tetra pak® recycled tiles, fiber-cement tiles, and ceramic tiles

ABSTRACT

This article presents the results of studies on the thermal behavior of roofing tiles made out of Tetra Pak recycling material. The roofing tiles were installed in the following manner: an experimental prototype cell made out of recycling material, and two more with conventional tiles: ceramic and fiber-cement tiles. The three prototype cells were made with light concrete slabs of the same characteristics (prestressed concrete beams and concrete vaults), being the difference the roofing system. The thermal behavior evaluation was made based in the dynamic climatology, using a representative period of hot conditions and defining a representative day for the period. The analyzed variables were: solar radiation, superficial temperature of the tiles, superficial temperature of the ceiling, internal air temperatures of the cells and external air temperature. The results shows that the values were similar for the three tiles, but the roof tiles produced by the recycling of Tetra Pak ® had the lowest temperature values, showing a better thermal behavior than the conventional tiles.

Keywords: recycled tiles, dynamic climatology, thermal behavior

¹Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, (jaqh2000@eesc.usp.br)

²Professor Doutor, livre docente do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), Brasil, (fvecchia@sc.usp.br)

³Profesor Doctor de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas, México, (gnolasco2@gmail.com)

INTRODUCCIÓN

Los impactos generados por el sector de la construcción genera la necesidad del desarrollo de materiales que disminuyan dicho impacto como es el caso específico de las láminas fabricadas de el reciclaje de las cajas Tetra PAK® ya que en su proceso de fabricación son utilizados residuos sólidos. Por lo que son importantes los estudios sobre nuevos materiales mostrando las ventajas y desventajas en relación a los materiales convencionales. Este estudio se enfoca específicamente al estudio del comportamiento térmico de las láminas recicladas en relación a las láminas de fibrocemento y a las tejas cerámicas. Las láminas fueron instaladas en tres celdas de prueba y fue estudiado el comportamiento térmico en una situación de calor.

Las celdas experimentales se localizan en las instalaciones de la Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo-USP, São Carlos, Brasil. Fueron comparadas y evaluadas las temperaturas superficiales de las láminas y de las losas de las tres celdas experimentales. Como parte de la evaluación se comparó la temperatura del aire interna y la temperatura del aire externa para determinar la diferencia entre estas. También se analizó el comportamiento de los sistemas de cubierta con relación a la radiación solar global.

En el experimento se analizó la reacción al calor de los diferentes sistemas de cubierta propuestos, este análisis se basa en la climatología dinámica, seleccionando el día representativo experimental del episodio representativo.

METODOLOGÍA

Celdas Experimentales

La metodología utilizada es basada en la norma ABNT CB-02 sobre la evaluación del comportamiento térmico de edificaciones. De acuerdo a esta norma existen dos formas de realizar este tipo de evaluaciones y estas pueden ser experimentalmente o por medio de simulaciones. En el caso específico de esta investigación el estudio del comportamiento térmico fue realizado experimentalmente, para la evaluación se utilizó la metodología propuesta por Vecchia (1997) haciendo el análisis desde una abordaje de la climatología dinámica.

Las celdas experimentales poseen características similares, variándose apenas el sistema de cubierta (láminas y tejas). La descripción general de la implantación y de la construcción de las mismas se describe a continuación:

- **Sistemas de Cubiertas:** las láminas y tejas fueron instaladas de acuerdo con las indicaciones y valores de inclinación recomendados por los fabricantes que es de 30 %. Se instalaron dos diferentes tipos de láminas y uno de tejas en las tres celdas de prueba. Las láminas son: lámina de reciclaje de cajas Tetra Pak® (Ibaplac) que tiene 1.20 m. de ancho por 2.80 m. de largo con 15 mm de espesura y un peso de 15 kg. La lámina de fibrocemento tiene 1.10 m. de ancho por 2.8 m. de largo con un peso de 15 kg y una espesura de 5 mm. Las tejas cerámicas tipo romanas tienen un rendimiento por metro cuadrado de 17 piezas con un peso de de 44 kg/m². Las tres celdas tienen losa de vigueta y bovedilla.
- **Sistema Estructural:** Se utilizaron vigas, de madera, con las dimensiones de 0,06 x 0,12 m, exentas de cualquier agente que pueda comprometer su estabilidad o apariencia, así como agentes biológicos.
- **Muros:** Las celdas de prueba fueron construidas con ladrillos cerámicos macizos con medidas de 0,010x0,020x0,005 m, asentados con argamasa de cemento y arena, proporción 1:2 preparado en el lugar de obras. Los ladrillos fueron asentados con juntas de 0,015 m de espesor.
- **Puertas y Ventanas:** Son de madera incluyendo los batientes de las puertas y de las ventanas con acabado rústico pintadas en color amarillo. Las celdas cuentan con una puerta de dimensiones de 0,60 m por 2,10 m. La ventana tiene 1,00 m por 0.70 m (Figura 1).
- **Dimensiones:** Las celdas experimentales miden 2.70 m x 2.20 m en planta y cuentan con 2.90 m en la parte más alta (Figura 1).
- **Implantación:** Las celdas experimentales fueron implantadas de tal forma que no provoquen sombras entre ellas y así no afectar los resultados de los estudios realizados (Figura 2).

Equipo y Sensores Utilizados

- **Temperatura de aire externa:** se utilizó un sensor de temperatura y humedad modelo HMP45AC de Vaisala con abrigo de protección para la radiación solar.
- **Radiación Solar Global:** se utilizó un

piranómetro modelo LI200X, de la empresa Licor.

- Temperaturas superficiales internas: fueron

instalados termopares tipo T (cobre-constantin) en las superficies internas de las láminas y de las losas de las celdas experimentales (Figura 3).

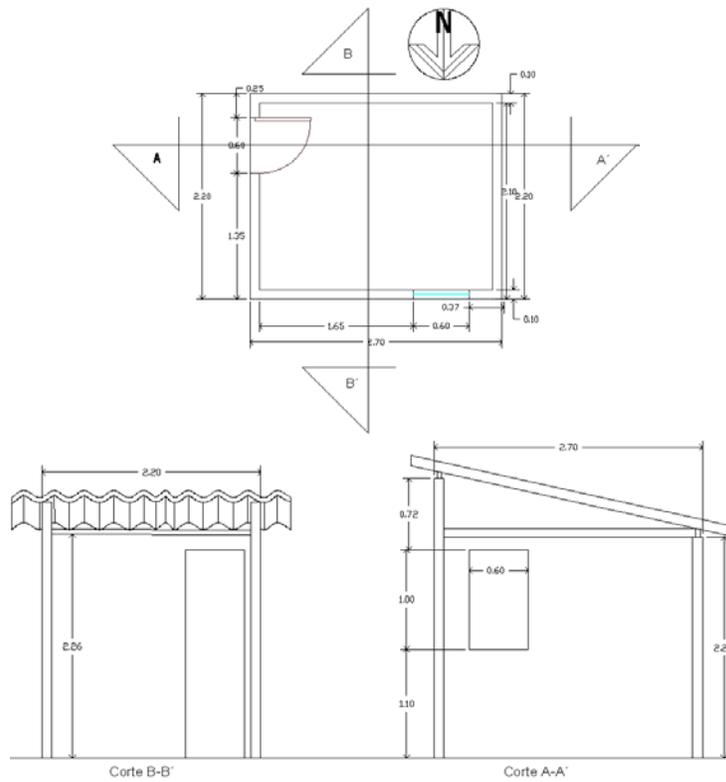


Figura 1. Planta arquitectónica y cortes de las celdas experimentales.



Figura 2. Implantación de las celdas experimentales.

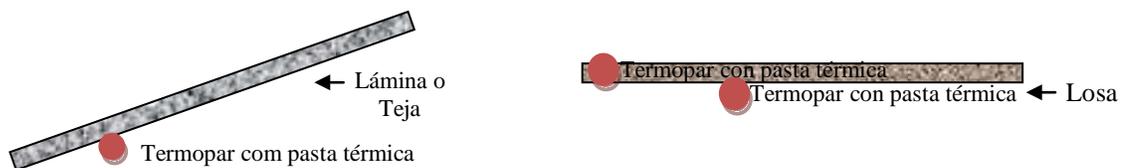


Figura 3. Localización de los Termopares en las superficies internas de las láminas, tejas y de las losas.

- **Temperaturas de aire internas:** fueron instalados termopares tipo “T” (cobre-constantino) en el interior de las celdas de prueba para medir la temperatura de aire interna. Los termopares fueron colocados en el centro de las celdas de prueba a 1.20 m de altura. Las

puntas fueron protegidas con un abrigo de PVC cubierto con aislante térmico que tiene la función de proteger contra la radiación la punta del termopar para evitar algún error de medición de las temperaturas de aire internas (Figura 4).

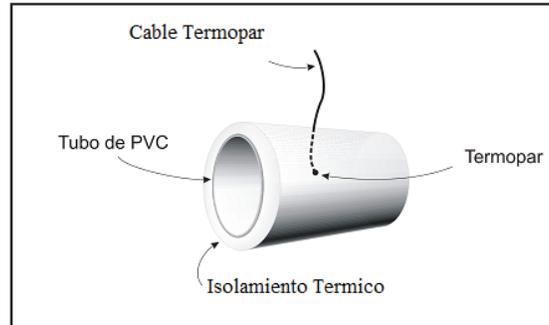


Figura 4. Abrigo utilizado para proteger las puntas de los termopares contra la radiación.

- **Sistema de adquisición de datos:** el sensor de temperatura y humedad externa (HMP45AC), radiación solar global (LI200X) y los termopares instalados fueron conectados a un multiplexor AM416 el cual está conectado al sistema automático de adquisición y almacenamiento de datos (*datalogger*) modelo CR10X, ambos equipos fabricados por la empresa Campbell Scientific Inc. El *datalogger* fue programado para coleccionar datos a cada 20 segundos haciendo una media a cada 30 minutos.

Análisis Climático

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen (KOTTEN, M. et al., 2006), São Carlos - São Paulo se localiza en una zona tropical con temperaturas amenas, muy húmedas y con un verano caliente. Segundo Monteiro (1969) Sao Carlos se encuentra en una zona de actuación de masas de aire ecuatoriales polares y tropicales.

- **Caracterización y análisis del episodio representativo**
Fue seleccionado el período de transición de la estación otoño-invierno de 2008 por presentar días sin nebulosidad y por el paso de varias frentes frías facilitando la selección del episodio representativo.

Se analizaron los datos de las estaciones climatológicas del período experimental, elaborando gráficos, considerando los diferentes dominios de las masas de aire que actuaron en la región y con apoyo de imágenes de satélite se adoptó el episodio representativo con elevados valores de temperatura de aire externa, ocurrido entre los días 27 de abril a 7

de mayo de 2008.

- **Definición del día representativo experimental**
Una vez determinado el período representativo se define el día representativo experimental con el fin de facilitar el análisis comparativo de los resultados, este día es el que presentó el mayor valor de temperatura del episodio representativo. Los valores de temperatura del día seleccionado superan los registros de las “Normales Climatológicas 1960-1991” para el mes de abril, con temperatura media máxima de 25.7 °C y temperatura media mínima de 15.5 °C, facilitando así, la evaluación de la reacción al calor de los sistemas estudiados en este día representativo experimental.

El día representativo experimental definido (VECCHIA, 1997) se caracterizó por ser un día de excepcional calor, superando las medias máximas de 25.7 °C del mes de abril registradas en las “Normales Climatológicas de 1961-1990”. De esta forma, fue seleccionado el día 27 de abril de 2008, que alcanzó una temperatura de aire máxima de 29 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del episodio climático de once días (27 Abril-7 Mayo) se tomó el día 27 de abril como día representativo experimental (VECCHIA, 1997), el cual se presentó sobre el dominio de una masa tropical en donde se registraron temperaturas elevadas.

- **Temperatura de aire exterior:** la temperatura de aire externa máxima registrada en el día 27 de abril fue de 29 °C alcanzada a las 15:30 horas y la temperatura mínima fue de 14.7 °C a las 6:00 horas. La temperatura máxima superó por 3.3 °C

la temperatura media máxima registrada en las “Normales Climatológicas (1961-1990)”. (Figura 5).

- Radiación Solar Global: el valor máximo alcanzado en el día 27/04/2008, fue de 800 W/m², registrado a las 12:00 horas del día. (Figura 6).
- Temperaturas superficiales internas de las láminas y tejas: de los tres casos de estudio, el que registró el mayor valor de temperatura fue la lámina de fibrocemento con un valor de

52.17 °C, seguida por la teja cerámica con valor de 45.16 °C. La lámina que registró el menor valor de temperatura superficial fue la Ibaaplac con un valor de 41.44 °C. La diferencia entre la mayor y la menor temperatura registrada es de 10.73°C. Todas las temperaturas alcanzaron el valor máximo a las 12:00 horas, siendo a la misma hora en que la curva de radiación solar global registró el punto más alto (Figura 7).

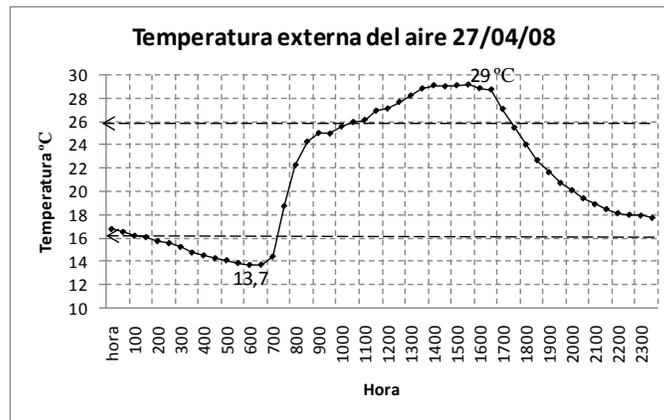


Figura 5. Gráfico de la curva de temperatura de aire externa en el día representativo experimental 27/04/2008. En líneas discontinuas están marcadas las temperaturas medias máximas y medias mínimas registradas en las Normales Climatológicas (1961-1990).

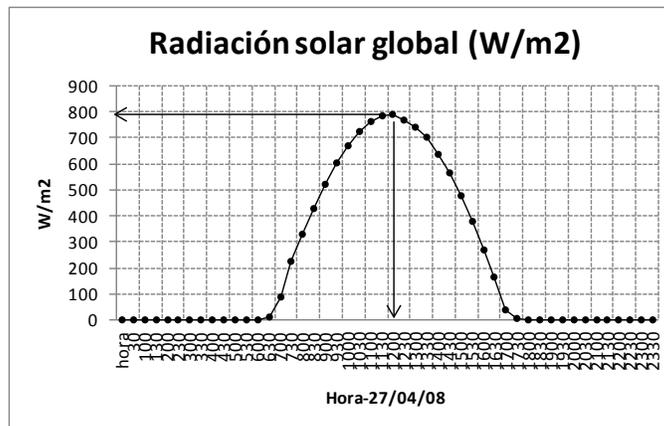


Figura 6. Gráfico de la curva de la radiación solar global en el día representativo experimental (27/04/2008).

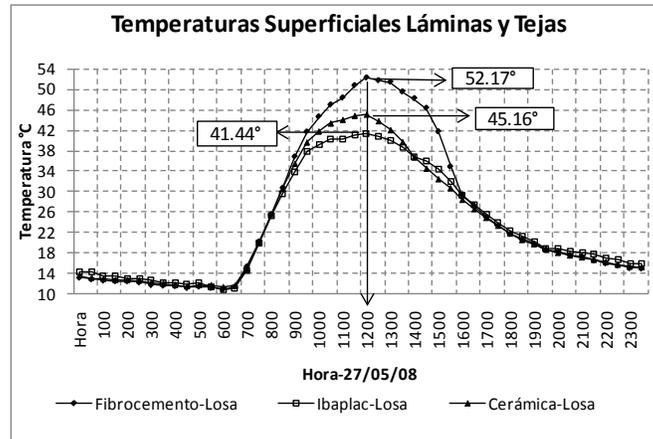


Figura 7. Gráfico de las curvas de las temperaturas superficiales de las láminas y tejas, registradas en el día representativo experimental (27/04/2008).

- Temperaturas de aire del ático: el mayor valor de temperatura en el ático se registró en la célula con teja de fibrocemento, la cual fue de 35.62 °C, seguida por la célula con lámina Ibaplac con valor de 29.39 °C. La que registró el menor valor de temperatura en el ático fue la célula con teja cerámica con un valor de 29.14 °C. La diferencia

entre los dos valores registrados en las celdas con teja cerámica y con lámina Ibaplac es de menos de 0.25 °C. Los valores máximos también fueron registrados en el mismo horario, siendo este a las 13:30 horas. La mayor diferencia de valores registrada fue de 6.48 °C (Figura 8).

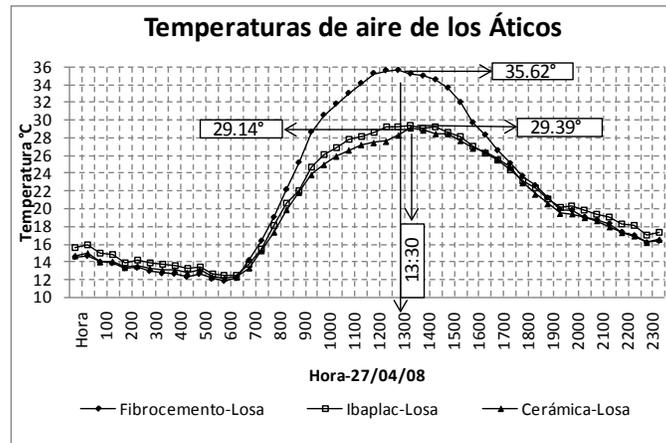


Figura 8. Gráfico de las curvas de las temperaturas de aire de los áticos, registradas en el día representativo experimental (27/04/2008).

- Temperaturas superficiales superiores de las losas: la mayor temperatura presentada fue de 31.89 °C a las 15:00 horas y se registró en la célula con lámina de fibrocemento. La célula con tejas cerámicas presentó el valor máximo de 26.32 °C a las 15:30 horas, y el menor valor de todos fue registrado en la célula con lámina Ibaplac, siendo de 24.55 °C registrado a las 16:30 horas y fue la que presentó el mayor retraso térmico en relación a la temperatura externa cuyo valor máximo fue alcanzado a las 15:30 horas.(Figura 9).

- Temperaturas superficiales inferiores de las losas: la temperatura máxima se registró en la célula con láminas de fibrocemento (28.18 °C a las 16:00 horas), la célula con tejas cerámicas registró 25.24 °C a las 17:00 horas. La célula con menor valor fue la de las láminas Ibaplac, de 24.28 °C registrado a las 17:00, siendo también la que presentó el mayor atraso térmico en relación a la temperatura de aire externa de 29° el cual fue a las 15:30 horas.(Figura 10).

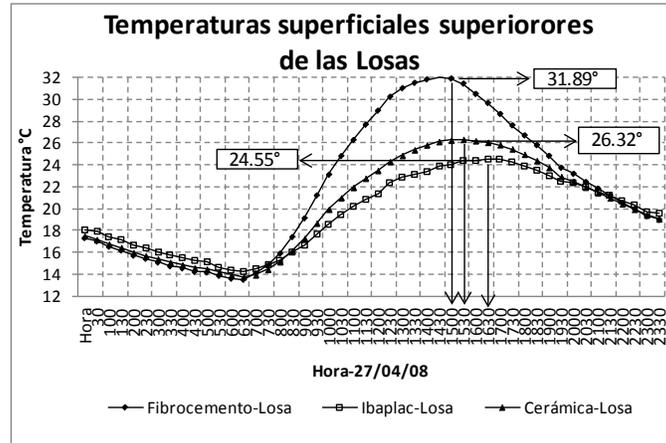


Figura 9. Gráfico de las curvas de las temperaturas superficiales superiores de las losas, registradas en el día representativo experimental (27/04/2008).

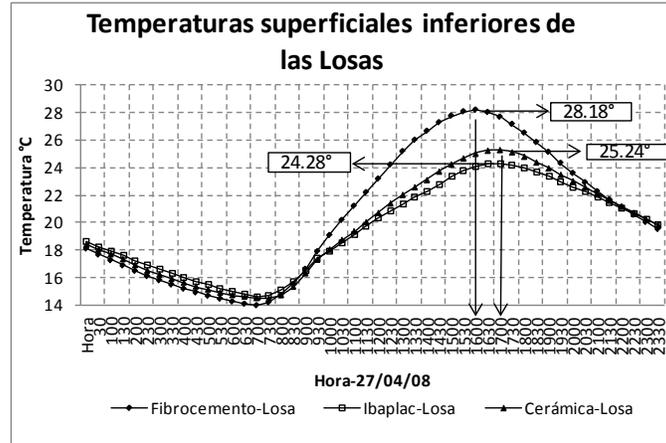


Figura 10. Gráfico de las curvas de las temperaturas superficiales inferiores de las losas, registradas en el día representativo experimental (27/04/2008).

- Temperaturas del aire internas: en la Figura 11 se observan los registros comparativos de las temperaturas internas del aire registradas en las celdas experimentales y la temperatura externa del aire. El gráfico muestra que las envolventes están disminuyendo el valor de las temperaturas internas con relación a la temperatura externa.

El valor máximo de temperatura externa del aire fue de 29 °C, a las 15:30 horas. Fue un día de excepcional calor, pues superó las medias máximas registradas en las Normales Climatológicas (1961-1990). Las temperaturas internas del aire alcanzaron los valores máximos a las 17:00 horas siendo que la célula con láminas de fibrocemento fue la que

registró el mayor valor (25.85 °C), seguido por la célula con teja cerámica con valor de 25.02 °C, finalmente, la que presentó el menor valor fue la célula con láminas Ibaplac con 24.96 °C. La diferencia entre la mayor temperatura y la menor temperatura registrada no rebasó 1 °C.

Como parte del análisis se tomó la temperatura de 32°C como valor máximo (Aulciems & Szokolay, 1999) susceptible para confort térmico. De acuerdo con los resultados obtenidos, los valores de las temperaturas superficiales inferiores de las losas y las temperaturas internas del aire no superaron la temperatura adoptada de 32°C.

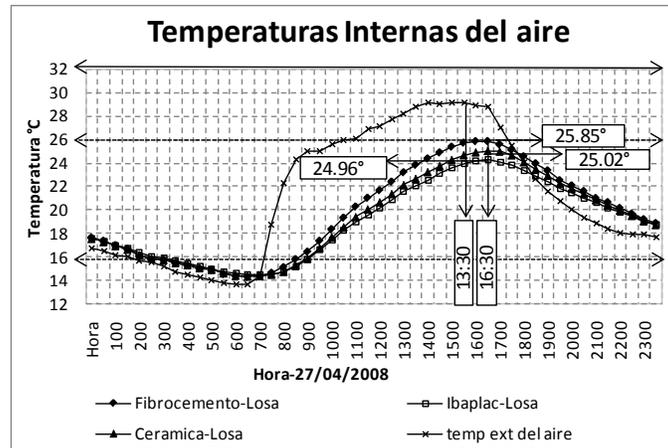


Figura 11. Gráfico de las curvas de las Temperaturas de aire internas y externas, registradas en el día típico experimental 27/04/2008.

En todas las temperaturas medias superficiales y de aire las que presentaron los mayores valores fueron los de la celda con lámina de fibrocemento. En el caso de las celdas con tejas cerámicas y láminas Ibaplac, hubo poca diferencia entre los valores de temperatura superficiales de la losa y de la temperatura de aire interior. Aun presentando poca diferencia de los valores, las láminas Ibaplac fueron las que registraron los menores valores de temperatura.

De los tres casos analizados se percibió que en donde se presentaron las mayores diferencias de temperatura fue en la superficie de las láminas y tejas, estos valores fueron disminuyendo de la superficie de las tejas y láminas para la superficie de las losas y los valores continuaron disminuyendo hasta llegar a las temperaturas internas del aire. De esta forma en los tres casos, la envolvente está funcionando como una barrera de radiación suficientemente efectiva para mantener la temperatura interior debajo de los 32 °C adoptados como valor máximo de temperatura confort.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los datos analizados, las temperaturas internas del aire de las celdas experimentales presentaron valores menores que la temperatura externa del aire, esto significa que en los tres casos la envolvente tuvo un comportamiento térmico correcto en una situación de calor.

En la comparación de las temperaturas interiores del aire con el valor máximo adoptado de 32 °C, nuevamente en los tres casos el comportamiento térmico de las celdas experimentales fue bueno

puesto que las temperaturas del aire interna fueron menores que el valor de temperatura que se tomó hipotéticamente como límite para el confort térmico.

En los tres casos, los valores más elevados de las temperaturas superficiales de las láminas y las tejas se presentaron en el mismo horario que se registró el valor más elevado de la radiación solar global, esto puede ser explicado debido a las características leves de las láminas y tejas estudiadas aunado al ángulo de inclinación en donde se procuró la mayor incidencia de la radiación solar en las techumbres.

Los tres sistemas de cubierta pueden ser mejorados, por ejemplo, incrementando una capa de aluminio (foil) en la superficie superior de la losa, o utilizando algún otro tipo de aislante térmico que actúe como una barrera contra la radiación, esto resultaría en una mejora en el comportamiento térmico de los sistemas de cubierta.

La célula con láminas Ibaplac fue la que presentó los menores valores de temperaturas superficiales y de aire, solamente en las temperaturas de aire del ático tuvo un valor ligeramente mayor que las tejas cerámicas. De esta forma, las láminas Ibaplac fueron las que presentaron el mejor comportamiento térmico del análisis comparativo realizado. Aunado a esto cuenta con la ventaja de ser un material que es obtenido del proceso de reciclaje de las cajas acartonadas Tetra Pak®, además pueden ser recicladas nuevamente después de ser utilizadas, son de fácil instalación, características que las tornan una excelente opción como un elemento constructivo alternativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT CB-02 Comitê Brasileiro de Construção Civil 2007.
Brasil (1992). Departamento Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. *Normais Climatológicas (1961-1990)*.

Doherty, A y Szokolay, S. V. (1999). *Thermal comfort. PLEA Notes, Brisbane (Australia)*, PLEA: Passive and Low Energy Architecture, Department of Architecture, University of Queensland.

Monteiro, C. A. DE F. (1969) *A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil (contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil)*. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo. Série Teses e Monografias.

Kotten, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, And F. Rubel, (2006). *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. Meteorol. Z., 15, 259-263.

VECCHIA, F. (1997). *Clima e Ambiente construído. A Abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano*. São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH USP), Universidade de São Paulo. Tese de doutorado.

AGRADECIMENTOS

A la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por la beca concedida para la realización de este proyecto.

A la Empresa Ibablac (Brasil), por los materiales otorgados tejas de material reciclado Tetra Pak®).

Este documento debe citarse como:

Quiroa, J. A., Vecchia, F., Castañeda, G. (2010). **Comparación del comportamiento térmico de tres cubiertas: láminas de reciclado tetra pak®, láminas de fibrocemento y teja de barro**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 14-1, pp 23-31, ISSN: 1665-529-X.