

Evaluación por termografía infrarroja de componentes prefabricados no convencionales para techo en clima cálido subhúmedo

Evaluation by infrared thermography in non-conventional prefabricated components for ceiling in humid warm climate

Raúl Pável Ruiz Torres
Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez
raul.ruiz@unach.mx

Eddy Gonzalez García
Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez
ing_egonzalez@hotmail.com

Gabriel Castañeda Nolasco
Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez
gnolasco2@gmail.com

Eber Alberto Godínez Domínguez
Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez
eber.godínez@unach.mx

DOSSIER

Resumen

Se presenta la evaluación experimental por termografía infrarroja de componentes prefabricados no convencionales para techos en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en México. Las cubiertas no convencionales evaluadas son techo verde con componente Domotej (TVD), techo Domotej (TD) y Termolosa (TL). Dichas tecnologías fueron diseñadas por el cuerpo académico Componentes y Condicionantes de la Vivienda (Cocovi), en el marco de la línea de investigación Transferencia tecnológica para la vivienda bioclimática.¹ Ésta fue una respuesta a la necesidad evidenciada de tecnologías no convencionales de techo para la vivienda de los grupos sociales de menores ingresos en México, mismas que deben ser viables de realizarse mediante un proceso de autoconstrucción o producción social de vivienda. Esto nos exigió caracterizar el techo térmicamente para mejorarlo y a su vez generar directrices con esta orientación. El diagnóstico se realizó de forma experimental con una cámara infrarroja y termopares; en ambos se obtuvo la temperatura superficial interior; además se midieron las condiciones climáticas exteriores del sitio con una estación climática móvil. El periodo de evaluación fue el mes de junio, periodo crítico para las condiciones locales (clima cálido subhúmedo). Finalmente, se identificaron las mejores condiciones térmicas del techo verde Domotej y Termolosa, también se registraron distintas temperaturas debido a la forma curva de los componentes TVD y TD.

Fecha de recepción: 09 de septiembre de 2019
Fecha de aceptación: 27 de septiembre de 2019

DOI: 10.22201/fa.2007252Xp.2019.20.72316

¹ Las tecnologías evaluadas fueron desarrolladas por Gabriel Castañeda Nolasco.

Palabras clave: termografía infrarroja, techos no convencionales, techo verde y Domotej.

Abstract

This paper presents the experimental evaluation by infrared thermography of non-conventional prefabricated components for roofs in the city of Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, in Mexico. The non-conventional ceilings evaluated are green roof with Domotej component (TVĐ), Domotej ceiling (TD), and Termolosa (TL). These technologies were designed by the Academic Body "Components and Conditioning of Housing" (Cocovi) within the framework of the "Technology Transfer for Bioclimatic Housing" research line.² This was a response to the evident need for non-conventional technologies of ceiling for the housing of social groups of lower income in Mexico, technologies which must be viable through a process of self-construction or social production of housing. This forced us to thermally characterize the roof to improve it and in turn generate guidelines with this orientation. The diagnosis was carried out on an experimental basis with an infrared camera and thermocouples which obtained the interior surface temperature; the exterior climatic conditions of the site were also measured with a mobile weather station. June served as the evaluation period, a critical period for local conditions (humid warm climate). Finally, better thermal conditions of the green roof Domotej and Termolosa were identified, different temperatures were also registered due to the curved shape of the TVĐ and TD components.

Keywords: *Infrared thermography, non-conventional roofs, green roof and Domotej.*

Introducción

En el cuerpo académico Cocovi se han desarrollado alternativas constructivas en el marco de la línea de investigación Transferencia tecnológica para la vivienda bioclimática. Entre las propuestas tecnológicas más desarrolladas se encuentran diferentes componentes de sistemas de cubierta que fueron evaluados en este trabajo: techo verde con componente Domotej (TVĐ), techo Domotej (TD) y Termolosa (TL). Éstos fueron aplicados en un modelo experimental de vivienda de interés social construido en terrenos de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), México.

Los componentes ofrecen diversas ventajas sobre sistemas tradicionales, ya que fueron pensados para ser implementados de manera

² The technologies evaluated were developed by Gabriel Castañeda Nolasco.

progresiva y están orientados hacia la autoconstrucción o producción social de la vivienda. En consecuencia, se utilizan materiales localizados en la región en detrimento de aquéllos industrializados, como el cemento y el acero, mismos que si bien han sido utilizados por sus cualidades, su amplia difusión se debe principalmente a las determinaciones del mercado. De manera que al final, los componentes propuestos redundan en una menor inversión económica.

Cabe mencionar que el TVD, el TD y el TL han sido evaluados en sus características estructurales, y en el caso del sistema de techo Domotej, incluso se cuenta con el diseño industrial y ya se comercializa en un mercado local, donde se ha comprobado su desempeño mecánico y funcional.³ En el caso del techo verde, desde hace más de quince años funciona y se ha mejorado paulatinamente.⁴ Para la Termolosa, ya se cuenta con obras fuera de la universidad, bajo la responsabilidad técnica del Director Responsable de Obra respectivo, pero aún no se comercializa en forma.

El propósito de la evaluación termográfica fue identificar el comportamiento del componente ante el flujo de calor que permite ingresar al interior de los edificios, con la intención de conocer su comportamiento térmico y posibles puentes térmicos, o áreas donde sea mayor el flujo de calor. Los resultados permitirán mejorar el diseño del componente para reducir la ganancia térmica, aspecto que se sumará a los logros del diseño mencionados, así como ayudar en la prefabricación y el montaje.

La termografía infrarroja representa una herramienta muy útil por explotarse para la evaluación de los procedimientos de fabricación, así como para la evaluación no destructiva de productos o piezas en servicio; también permite analizar una muestra compuesta de múltiples materiales.⁵ Otra aplicación de la evaluación infrarroja (IR) en envolventes del edificio es detectar pérdidas de calor, aislamiento térmico faltante o dañado en muros y techos, puentes térmicos o fuente de fugas de aire; diagnósticos que, al ser atendidos, permitirán disminuir los costos de calentar el aire o enfriarlo por medios mecánicos.⁶

3 Edwin Guillermo Pérez Leal, Gabriel Castañeda y Ángel Eduard Rodríguez, "Evaluación del comportamiento estructural del componente prefabricado para techo Domotej", *Quehacer Científico en Chiapas* 1(13), 24

4 Gabriel Castañeda-Nolasco y F. Vecchia, "Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México", *Ingeniería* 11(2).

5 Carosena Meola, Giovanni Maria y Luca Giorleo, "The use of infrared thermography for materials characterization", *Journal of Materials Processing Technology* 155(1), 1134.

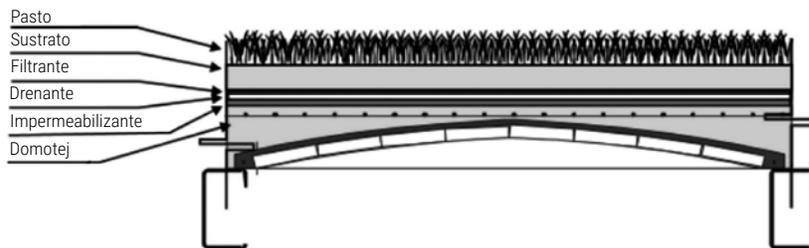
6 Constantino Balaras y A. A. Argiriou, "Infrared thermography for buildings diagnostics", *Energy and Buildings* 34(2), 172.

Método

El método fue experimental y se realizó en el periodo crítico de un día típico de máximo calor. A continuación, se presentan los componentes evaluados y equipos utilizados.

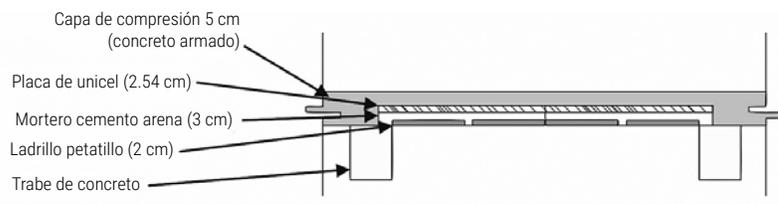
Descripción de los componentes evaluados

En la siguiente imagen se caracteriza el techo verde Domotej. Consta de un sistema de soporte prefabricado denominado Domotej, que a su vez se compone de piezas de ladrillo-barro cocido de 2.5 cm de espesor, con una película superior de mortero-cemento-arena de 1 cm de grosor que los une, más una capa de compresión de concreto armado con malla de acero electrosoldado en el lecho superior. Ésta permite la integración de todos los componentes Domotej en un diafragma que posibilita la cubierta similar al concepto de vigueta y bovedilla, pero pensada para ser autoconstruida. Esta cubierta tiene muy buen desempeño mecánico y es de menor costo que una losa de concreto armado común; además permite la aplicación de las cargas adicionales del sustrato del techo verde, como se observa a continuación.



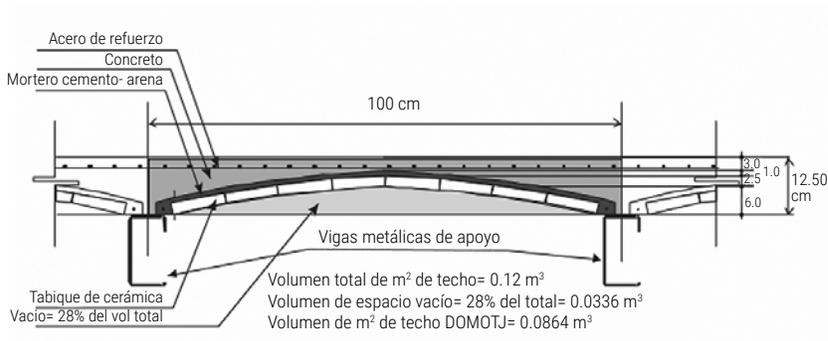
Corte de un techo verde Domotej. Gabriel Castañeda-Nolasco, 2007

El techo de termolosa consta de un componente compuesto por ladrillo petatillo por la parte inferior, una capa de compresión, una placa de unisel de una pulgada y finalmente una capa de compresión de 5 cm de concreto armado.



Techo termolosa. Gabriel Castañeda-Nolasco, 2007

El techo Domotej es un componente para cubierta no convencional. Se compone de piezas prefabricadas con forma de casquete de base cuadrada, de 96 x 96 cm, elaborada con 24.5 piezas de tabique artesanal de arcilla cocida de 2.5 x 12 x 2.6 cm, en contacto directo una con otra; son colocadas formando una espiral y unidas con una capa de mortero-cemento-arena de 1 cm de espesor, con proporción 1:3 y con un refuerzo de alambre recocido perimetral.



Corte de un metro cuadrado de techo Domotej. Gabriel Castañeda-Nolasco, 2007

Descripción del equipo utilizado

Cámara termográfica infrarroja: Las imágenes IR se tomaron cada media hora durante una semana del mes de mayo, a una altura de 1.50 m sobre el nivel de piso del edificio evaluado. Las características de la cámara termográfica se especifican a continuación:

Especificaciones de la cámara termográfica (temperatura)	
Rango de medida de la temperatura (sin calibrar por debajo de -10 °C)	-20 °C a +600 °C (-4 °F a +1112 °F)
Precisión de la medida de temperaturas	± 2 °C o 2 % (a 25 °C nominales, la mayor de ambas)
Corrección de emisividad en pantalla	Sí
Compensación de la temperatura reflejada de fondo en pantalla	Sí
Corrección de transmitancia en pantalla	Sí

Especificaciones de la cámara termográfica (características del detector)	
Frecuencia de captura de imágenes	Velocidad de actualización de 9 Hz o de 60 Hz según la variación del modelo
Tipo de detector	Matriz de plano focal, microbolómetro no refrigerado, 240 x 180 píxeles
Píxeles totales	43200
Sensibilidad térmica (NETD)	≤ 0.05 °C a 30 °C (50 mK)
Banda espectral infrarroja	De 7.5 μm a 14 μm (onda larga)
Cámara de luz visible	Rendimiento industrial de 2 megapíxeles
Distancia focal mínima	46 cm (aprox. 18 in)
Lente estándar para infrarrojo	<ul style="list-style-type: none"> · Campo de visión: 23° x 17° · Resolución espacial (IFOV): 1.67 mRad · Distancia mínima de enfoque: 15 cm (aprox. 6 in)
Lente opcional tipo teleobjetivo para infrarrojo	<ul style="list-style-type: none"> · Campo de visión: 11.5° x 8.7° · Resolución espacial (IFOV): 0.84 mRad · Distancia mínima de enfoque: 45 cm (aprox. 18 in)
Lente opcional tipo gran angular para infrarrojo	<ul style="list-style-type: none"> · Campo de visión: 46° x 34° · Resolución espacial (IFOV): 3.34 mRad · Distancia mínima de enfoque: 7.5 cm (aprox. 3 in)
Mecanismo de enfoque	Manual, capacidad de enfoque inteligente "Smart Focus" con una sola mano

Sensor de temperatura superficial: Para medir la temperatura superficial se utilizaron termopares conectados a un adquisidor, donde se los mantuvo midiendo cada 20 segundos, con promedio de cada media hora, durante una semana del mes de mayo. Estos termopares se colocaron sobre la superficie interior del componente evaluado; para aumentar y asegurar el mayor contacto del termopar con el componente, se utilizó una pasta de alta conductividad térmica y se aisló por la parte posterior para evitar, en mayor medida, influencias directas de la temperatura del aire o de efectos provocados por el viento. Más adelante se exponen imágenes de la ubicación de los sensores y componentes medidos.

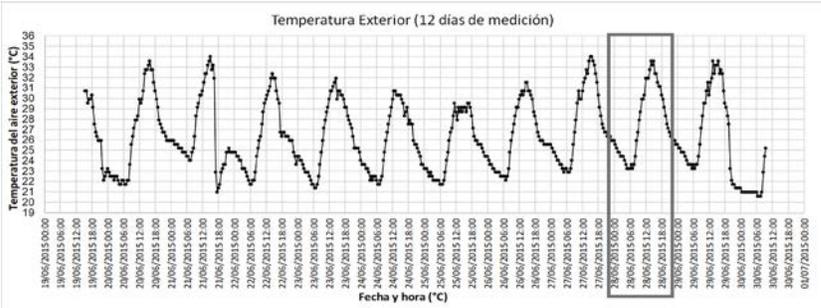
Rangos de medición	
Rangos de medición de temperatura	-20°C to 70 °C (-4 °F to 158 °F)
Precisión	± 2 mV ± 2.5% of absolute reading
Resolución de temperatura	0.03 °C at 25 °C (0.05 °F at 77 °F), see Plot A



Ubicación de sensores de temperatura superficial en componentes evaluados

Selección de un día típico para la evaluación termográfica

Previo a seleccionar un día típico para la evaluación, se midió todas las variables durante 12 días, tanto de temperaturas superficiales como de condiciones ambientales exteriores e imágenes termográficas a cada hora. Posteriormente se analizó el día donde existieron condiciones ideales para realizar el diagnóstico, es decir, cuando no se presentaron variables como nubosidad u otro factor que modificara las variables ambientales. A continuación se presenta los días de medición y se marca en recuadro el día típico seleccionado, el 28 de junio.

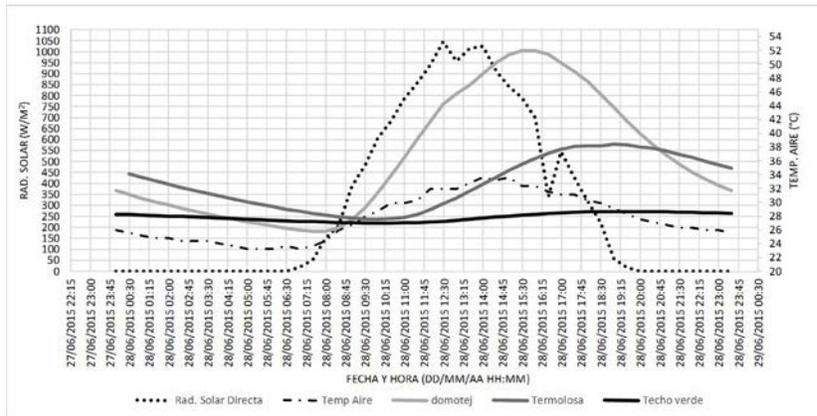


Selección del día típico de medición

Resultados

Evaluación térmica por temperatura superficial interior de los componentes estudiados

Se presentan los resultados de la medición de temperatura superficial de los distintos componentes del día típico seleccionado. Se determinó ingresar como referencia la variable exterior de radiación solar (eje derecho), debido a que en el periodo medido resultó un factor dominante que afectó el comportamiento térmico de los componentes de techo; además se ingresó la temperatura del aire (eje secundario izquierdo). En la siguiente figura se observa que el tvd tiene una amplitud térmica de 1.5°, con una temperatura superficial interior que va de 26.5 °C a 28 °C; el componente TL tiene una amplitud térmica de 12°, que va de 27°C a 39 °C, mientras que el techo Domotej tiene una amplitud térmica de 27 °, que va de 25 °C a 52 °C.



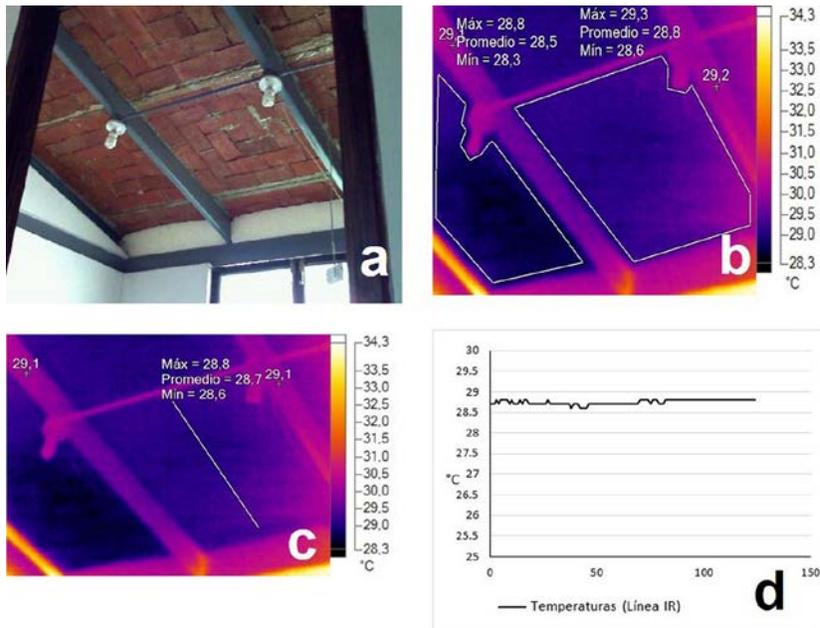
Temperaturas superficiales interiores de los componentes evaluados

Resultados IR de los componentes a las 10 am

Para el techo verde Domotej, se observa que la diferencia de temperaturas dentro del perfil varía, entre el valor máximo y mínimo, 0.7 °C. El promedio de temperaturas del sistema se encuentra a 28.8 °C, también se observa que la estructura que soporta el sistema no sobrepasa 0.5 °C por arriba de la máxima del mismo; por lo tanto, es posible descartar problemas debidos a puentes térmicos por el sistema. El perfil de temperaturas indica que las temperaturas en el sistema son prácticamente homogéneas.

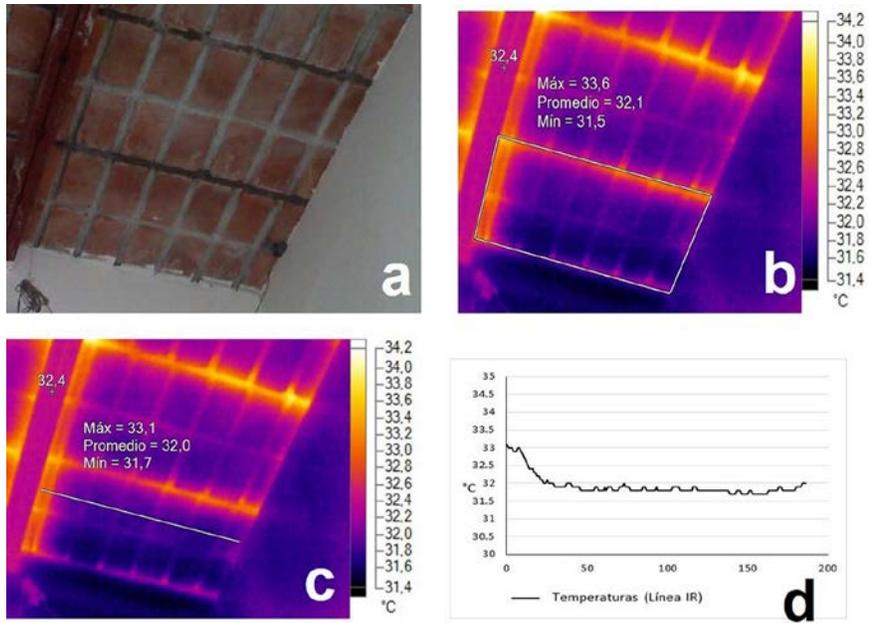
En cuanto a la Termolosa, se observa que en este sistema la diferencia de temperaturas dentro del perfil varía, entre el valor máximo y mínimo, 2.1 °C. El promedio de temperaturas del sistema se encuentra a 32.1 °C; también se observa que la estructura que soporta el sistema no sobrepasa 0.3 °C por arriba de la máxima del sistema, por lo tanto,

también se descartan problemas debido a puentes térmicos por la estructura de soporte. Sin embargo, el perfil de temperaturas indica que en las temperaturas en la junta entre piezas, que es de concreto, existe un aumento de 1 °C, mientras en el resto del componente las temperaturas son homogéneas.

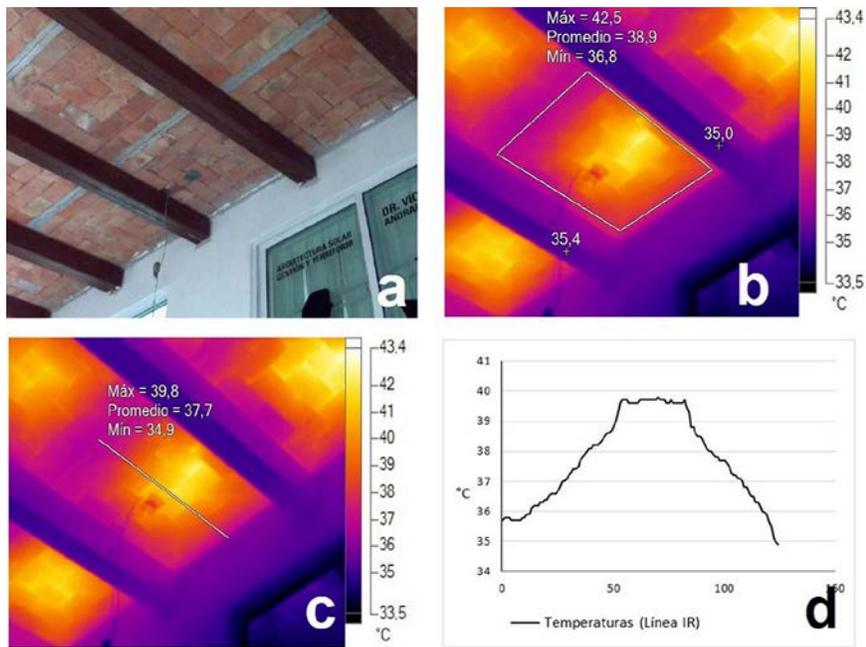


Diagnóstico termográfico del techo verde Domotej a las 10 am: a) Imagen de luz visible, b) imagen IR con polígono, c) imagen IR con línea de perfil de temperaturas y d) gráfico de temperaturas del perfil de la línea.

Para el techo Domotej se observa que la diferencia de temperaturas dentro del perfil varía, entre el valor máximo y mínimo, 4.9 °C. El promedio de temperaturas del sistema se encuentra a 37.1 °C; se observa que la estructura que soporta el sistema está por debajo de la temperatura promedio del sistema, por lo tanto también se descarta problemas debido a puentes térmicos por la estructura de soporte. Aunque de acuerdo al perfil de temperaturas, se observa que las temperaturas son heterogéneas en el componente, esto debido a la forma curva que tiene, pues en la junta entre piezas, que es de concreto, existe una disminución de temperaturas de 4 °C; se infiere que es porque existe mayor espesor del sistema en esa zona, además de que la parte central es la que presenta mayor temperatura por tener menor espesor.



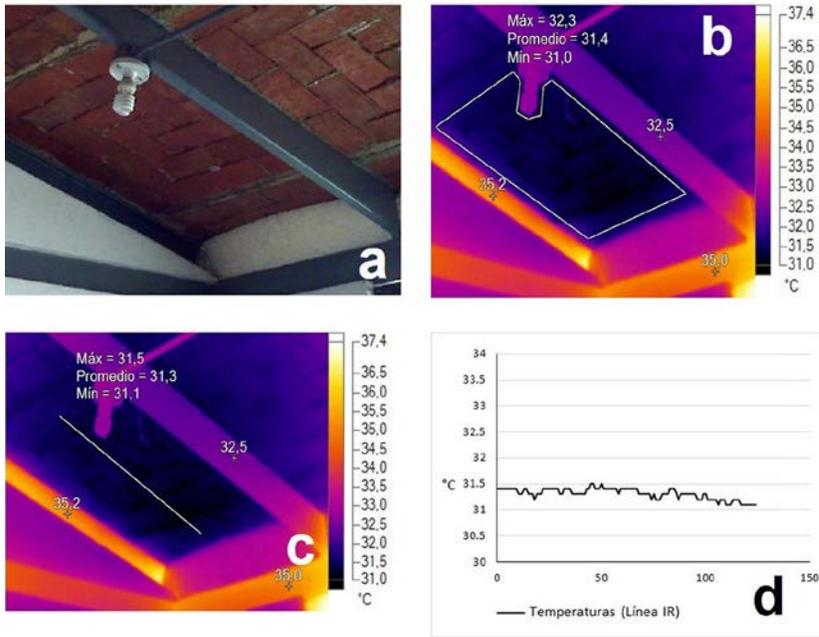
Diagnóstico termográfico de la Termolosa a las 10 am: a) Imagen de luz visible, b) imagen IR con polígono, c) imagen IR con línea de perfil de temperaturas y d) gráfico de temperaturas del perfil de la línea



Diagnóstico termográfico techo Domotej a las 10 am: a) Imagen de luz visible, b) imagen IR con polígono, c) imagen IR con línea de perfil de temperaturas y d) gráfico de temperaturas del perfil de la línea

Resultados IR de los componentes a las 2 pm

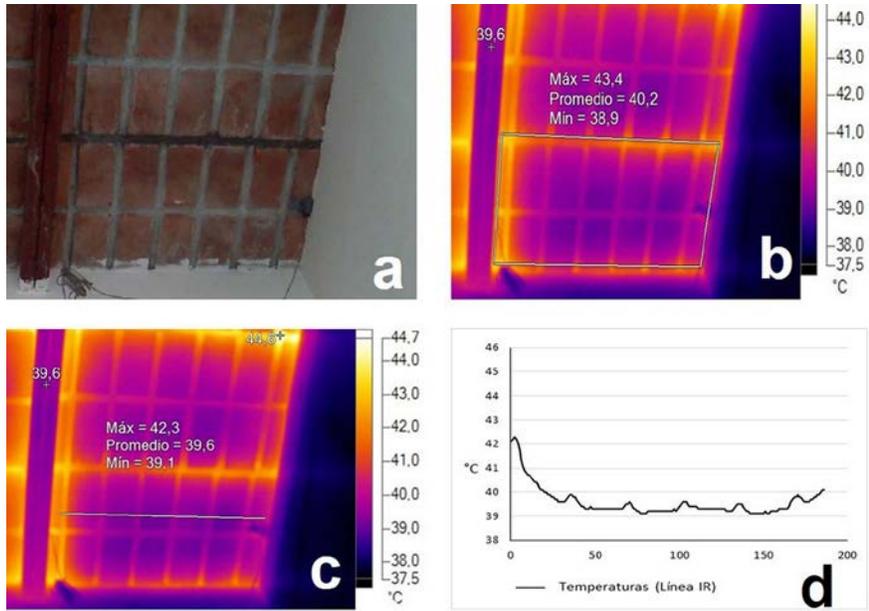
Para esta hora, se observa que en el techo verde Domotej la diferencia de temperaturas dentro del perfil varía, entre el valor máximo y mínimo, 1.3 °C. El promedio de temperaturas del sistema se encuentra a 31.4 °C. El perfil de las mismas indica que la temperatura en el sistema es homogénea.



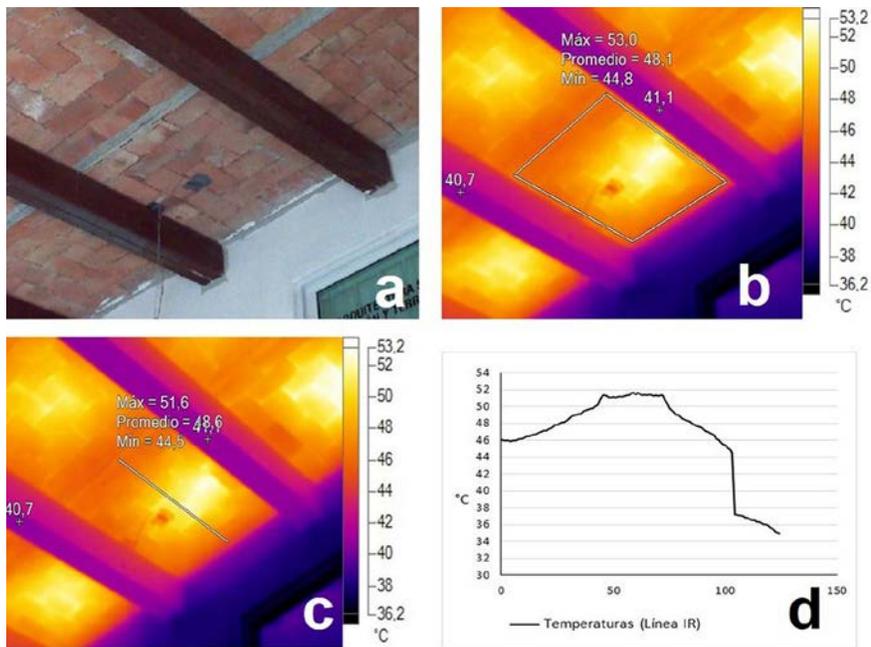
Diagnóstico termográfico de techo verde Domotej a las 2 pm: a) Imagen de luz visible, b) imagen IR con polígono, c) imagen IR con línea de perfil de temperaturas y d) gráfico de temperaturas del perfil de la línea

Para la Termolosa se observa que la diferencia de temperaturas dentro del perfil varía, entre el valor máximo y mínimo, 4.5 °C. El promedio de temperaturas del sistema se encuentra a 40.2 °C, pero de acuerdo con el perfil de las mismas, en las temperaturas en la junta entre piezas, que es de concreto, existe un aumento de temperaturas de 2.7 °C con respecto al promedio, mientras que en el resto del componente éstas son homogéneas.

Respecto al techo Domotej, se observa que la diferencia de temperaturas dentro del perfil varía, entre el valor máximo y mínimo, 8.2 °C. El promedio de temperaturas del sistema se encuentra a 48.1 °C, lo cual se evidencia en el perfil de temperaturas, es decir, que existe mayor temperatura en la parte central del componente por tener menor espesor.



Diagnóstico termográfico de Termolosa a las 10 am: a) Imagen de luz visible, b) imagen IR con polígono, c) imagen IR con línea de perfil de temperaturas y d) gráfico de temperaturas del perfil de la línea.



Diagnóstico termográfico del techo Domoteja a las 10 am: a) Imagen de luz visible, b) imagen IR con polígono, c) imagen IR con línea de perfil de temperaturas y d) gráfico de temperaturas del perfil de la línea

Conclusiones

Conforme a los resultados de la medición por termografía infrarroja, se concluye que el componente que mejor se comportó fue el techo verde Domotej, dado que en la hora en que se realizó la evaluación, el sistema mantuvo diferencias entre la temperatura máxima y mínima de 1.3 °C, y finalmente porque fue el componente que resultó con una temperatura superficial promedio más baja en el horario de las 2 pm, siendo de 31.4 °C. Se observó también que el techo verde no presenta puentes térmicos en ninguna de las partes que lo componen. En segundo lugar, quedó la termolosa, con una temperatura mayor promedio de 40.2 °C a las 2 pm. El sistema mantiene condiciones homogéneas en la superficie inferior y los puentes térmicos que se observan en las imágenes infrarrojas resultaron de 5 °C, resultado que permitió identificar la necesidad de atender este problema para evitar ganancias en las juntas entre piezas. Por último, el componente que obtuvo mayores temperaturas fue el Domotej, aunque hay que mencionar que es heterogéneo; es decir, sólo en la parte superior del componente donde tiene menor espesor alcanzó los 53 °C, cuando su promedio de temperaturas fue de 48.1 °C.

El siguiente paso, a partir de los resultados de esta evaluación, consiste en determinar las ganancias térmicas al interior del edificio por medio de simulación dinámica, ya que es posible introducir valores más exactos y cercanos al comportamiento de los componentes y así obtener un valor certero de cómo influye cada componente en las condiciones ambientales al interior de la edificación.

Referencias

- BALARAS, Constantino y A. A. Argiriou. "Infrared thermography for buildings diagnostics", *Energy and Buildings* 34(2): 171-183.
- CASTAÑEDA-NOLASCO, Gabriel y F. Vecchia. "Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México", *Ingeniería* 11(2): 21-30.
- MEOLA, Carosena, Giovanni Maria y Luca Giorleo. "The use of infrared thermography for materials characterization", *Journal of Materials Processing Technology* 155(1): 1132-1137.
- PÉREZ Leal, Edwin Guillermo, Gabriel Castañeda y Ángel Eduard Rodríguez. "Evaluación del comportamiento estructural del componente prefabricado para techo Domotej", *Quehacer Científico en Chiapas* 1(13): 24-37.

Raúl Pável Ruiz Torres

raul.ruiz@unach.mx

Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas,
Tuxtla Gutiérrez

Doctor en Arquitectura por el PIDA (UCOL, UMSNH, UGTO y UAA). Estancia Posdoctoral por el Conacyt realizado en la UADY. Adscrito a la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, desarrolla trabajos sobre confort térmico, comportamiento térmico y propiedades térmicas de los materiales.

Gabriel Castañeda Nolasco

gnolasco2@gmail.com

Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas,
Tuxtla Gutiérrez

Maestro en Arquitectura por la UADY, especialista en Evaluación de Proyecto por el Instituto Tecnológico Autónomo de México. Doctor en Ciencias de la Ingeniería Ambiental por la Universidad de Sao Paulo, Brasil. Adscrito a la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, desarrolla trabajos sobre tecnología no convencional para la vivienda.

Eddy Gonzalez García

ing_egonzalez@hotmail.com

Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas,
Tuxtla Gutiérrez

Doctor en Ingeniería Civil (construcción sustentable) por la Universidad de Sonora y estancia posdoctoral en Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara. Adscrito a la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, desarrolla trabajos en el área de construcción sustentable en la línea de materiales de construcción de bajo impacto ambiental.

Eber Alberto Godínez Domínguez

eber.godinez@unach.mx

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas,
Tuxtla Gutiérrez.

Doctor en Ingeniería Estructural por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-A). Estancia Posdoctoral mediante un proyecto del Conacyt, realizada en la UAM-A. Adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, desarrolla trabajos relacionados con el comportamiento sísmico de diferentes sistemas estructurales.