

## ANÁLISIS DE TEMPERATURAS SUPERFICIALES EN LA ENVOLVENTE DE UNA VIVIENDA MEDIANTE IMÁGENES TERMOGRÁFICAS

Irene Marincic, José Manuel Ochoa, María Guadalupe Alpuche, Alejandro Duarte e Ileana González

Dpto. de Arquitectura y Diseño, Universidad de Sonora, Blvd. Encinas y Rosales, Col. Centro, (83000) Hermosillo, Sonora, México.  
Tel. +52 662 2592179. E-mail: imarincic@arq.uson.mx

Guadalupe Huelsz

Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 34 Temixco Centro, 62580 Temixco, Morelos, México

### RESUMEN

Debido a la necesidad de construir viviendas de forma rápida y económica para personas de bajos recursos se proyectan fraccionamientos con escasa adaptación al medio, utilizando casi el mismo modelo para cualquier clima de México.

En muchos casos, se seleccionan los materiales de acuerdo al precio más bajo, sin tener en cuenta el comportamiento más adecuado según el clima. Los blocks huecos de concreto son ampliamente utilizados en algunas regiones, por su bajo costo y rápida instalación. En Hermosillo, Sonora, también porque se fabrican en la región. Sin embargo, es muy común oír de los ocupantes, que sus viviendas son demasiado cálidas.

En general, en climas extremos como el cálido seco de Hermosillo, las estrategias de diseño térmico deben ser cuidadosamente estudiadas y aplicadas, ya que éstas impactan directamente sobre el consumo de energía y la calidad de vida de los usuarios. Éstas incluyen la selección de los materiales adecuados.

Analizamos las temperaturas superficiales de una vivienda en Hermosillo, construida con blocks huecos de concreto. Se presentan imágenes termográficas de diferentes orientaciones de la envolvente y se analiza el comportamiento térmico. Se evalúa separadamente la parte sólida y el espacio hueco de los blocks, y se determina la conveniencia de su utilización.

La selección adecuada de las propiedades de los materiales puede mejorar las condiciones térmicas en el interior de las viviendas y propicia el uso responsable de los recursos energéticos para enfriamiento.

### ABSTRACT

The need for quick and low-cost construction of dwellings for underprivileged people means that in any climate in the Mexican territory, housing developments are designed and constructed without regional adaptation, using almost the same model for the whole country.

In many cases, construction materials are selected according to the lowest price, and not taking into account the best thermal behaviour to adapt to the local climate. As a construction material for walls, concrete hollow blocks are widely used because of their low price and their quick installation. In Hermosillo, Sonora, also because they are made in local factories. In spite of these arguments, it is common to hear from the occupants that houses with block walls are usually too warm.

In general in extreme climates, like the hot dry climate of Hermosillo city, design strategies must be very carefully selected and applied, because they strongly impact on energy consumptions and in thermal comfort and quality of life of the occupants. These design strategies include the selection of the appropriate materials.

We analyse superficial temperatures in a dwelling constructed with concrete hollow blocks. Infrared pictures are presented from different orientations of the envelope and its thermal behaviour is analysed. We particularly analyse the solid part and the hollow space of the block, in order to determine if it is an appropriate material.

The correct selection of thermal properties of materials can improve the indoor thermal conditions and helps to the conscious utilization of energy resources.

Palabras claves: termografía, temperatura superficial envolvente, propiedades térmicas materiales.

### INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolló en el marco de una red conformada por varios grupos de investigación, correspondientes a universidades localizadas en diferentes climas de México. La parte del proyecto del que se desprende este artículo (Huelsz et al, 2012) tiene como objetivo monitorear las condiciones térmicas de viviendas de tipología muy común y repetitiva en determinadas regiones, correspondientes a los climas cálido-seco, cálido-húmedo y templado. Para esto, se monitoreó en varias ciudades representativas de estos climas. En el presente trabajo se mostrará la investigación efectuada en la ciudad de Hermosillo, de clima cálido seco.

Las viviendas económicas, que son las construcciones más numerosas en muchas ciudades mexicanas, responden a una necesidad apremiante de proveer de alojamiento a personas de bajos ingresos. Es necesario cumplir con esta necesidad de manera rápida y con costos que no rebasen los “cajones de crédito” de las instituciones financiadoras. Esto orilla a los desarrolladores de vivienda a diseñar y construir viviendas con muchas limitaciones, y en la mayoría de los casos, se utilizan los mismos modelos de vivienda para diferentes climas, sin tomar en cuenta la adecuación a las condiciones locales.

Los blocks huecos de concreto son un material muy utilizado en la región de Hermosillo y alrededores, debido a su bajo costo, rápida instalación y fácil transporte, ya que se fabrican en la zona.

En este trabajo se analiza el comportamiento térmico de la envolvente de una vivienda de bajo costo de muros construidos con blocks huecos de concreto, mediante imágenes termográficas, a fin de determinar si el material, extensamente utilizado en la región, es adecuado para las condiciones térmicas locales. La vivienda, perteneciente a un fraccionamiento de bajo costo, es representativa de las viviendas locales, en cuanto a tamaño, forma, tipo de envolvente y sistemas constructivos.

## ESTUDIO DE CASO

La vivienda estudiada se localiza en la ciudad de Hermosillo, Sonora, al Noroeste de México, de clima cálido-seco. La época más cálida es en los meses de junio, julio y agosto con temperatura máxima promedio de 39°C y mínima promedio de 25°C y humedad relativa promedio de 40%. La época más fría corresponde a los meses de diciembre, enero y febrero con temperatura máxima promedio de 24°C y mínima promedio de 9°C y humedad relativa promedio de 50%. La radiación solar es intensa y los cielos están despejados la mayor parte del año.

La vivienda seleccionada se ubica en un fraccionamiento de viviendas económicas (ver Fig. 1) al Sur de la ciudad. Se analizaron temperaturas superficiales en la envolvente de esta vivienda tipo, de 50 m<sup>2</sup>, construida con muros de block hueco de concreto (ver Fig. 2) y losa de vigueta prefabricada y bovedilla de poliestireno. Los materiales de muros y techos son los más utilizados en la región para viviendas económicas (Marincic et al, 2010).



Figura 1. Fraccionamiento de viviendas económicas estudiado

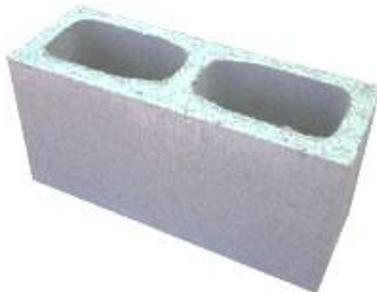


Figura 2. Block de concreto de 0.12 m x 0.20 m x 0.40 m con dos huecos interiores

Como se mencionó, la utilización del block de concreto se debe principalmente a su bajo precio, que es un motivo relevante en caso de este nivel económico de construcción, y por otro lado,

porque se fabrica en la región, lo cual implica además un bajo costo para su transportación.

En este trabajo analizamos si la utilización de este tipo de materiales es adecuado para el clima de la región, particularmente para construir viviendas que muy probablemente no se utilizarán con aire acondicionado.

## MÉTODO DE MEDICIÓN

El método utilizado en este trabajo para el análisis del comportamiento térmico de la envolvente de blocks de concreto, es el monitoreo mediante imágenes termográficas. La transferencia de calor a través de materiales no homogéneos, como es el block de concreto hueco, no es fácil de calcular. Mediante imágenes termográficas, se pueden visualizar las temperaturas superficiales interiores y exteriores en una “escala de colores falsos” o bien en escala de grises. Las temperaturas se pueden medir sobre la fotografía mediante un software, para poder analizarse en su conjunto. De este modo, se puede tener visualmente una idea del comportamiento térmico de un muro, de block en este caso, y obtener mediciones instantáneas de las temperaturas superficiales de los materiales componentes. La evaluación por separado de las dos partes que componen el block, la parte sólida y el espacio hueco, se puede efectuar de esta manera más fácilmente.

Las mediciones se efectuaron durante un día muy soleado de primavera, en que se obtuvieron fotos que muestran las temperaturas superficiales de la envolvente mediante una cámara infrarroja Fluke Ti25 (Fluke Corporation, 2007) (Fig. 3). En la configuración de la cámara, la emisividad se consideró como 0.95 por ser cercana a la mayoría de materiales de construcción (ASHRAE, 2005). Se fotografiaron las diferentes superficies interiores y exteriores durante 24 horas, con intervalo de 1 hora. Mediante el software de la cámara se pueden procesar las imágenes, seleccionando los puntos de la superficie que se quieran analizar.

La vivienda no estaba habitada, por lo que no se presentan cargas térmicas internas por ocupación, ni por uso de equipo eléctrico, ni por iluminación, salvo por el uso de una lámpara fluorescente de bajo consumo que se encendió durante la noche del monitoreo.



Figura 3. Cámara termográfica Fluke Ti25

A continuación, mostraremos algunas de las imágenes termográficas de la envolvente, con las que se analizó su comportamiento térmico.

## ANÁLISIS TÉRMICO DE LA ENVOLVENTE

Se efectuó un análisis preliminar de las cuatro fachadas de la vivienda a lo largo de 24 horas, con intervalos de 1 hora. Se presentan algunas de las imágenes para mostrar el comportamiento térmico durante el día. En la época del año en que se monitoreó (primavera), la fachada con más incidencia de radiación solar es la Sur. La fachada Norte recibe menos horas de sol y las fachadas Este y Oeste están parcialmente sombreadas, debido a la ubicación de las viviendas vecinas. En las Figs. 4 y 5 se muestran las fachadas Sur y Norte durante la mañana, y en las Figs. 6 y 7, las mismas fachadas durante la tarde. El recuadro interior es la imagen en el infrarrojo, mientras que el contorno exterior es la imagen en el visible. Las temperaturas mínimas y máximas se pueden ver sobre la fotografía. En estas imágenes, no se consideraron las temperaturas superficiales de las ventanas ni de los marcos de aluminio.

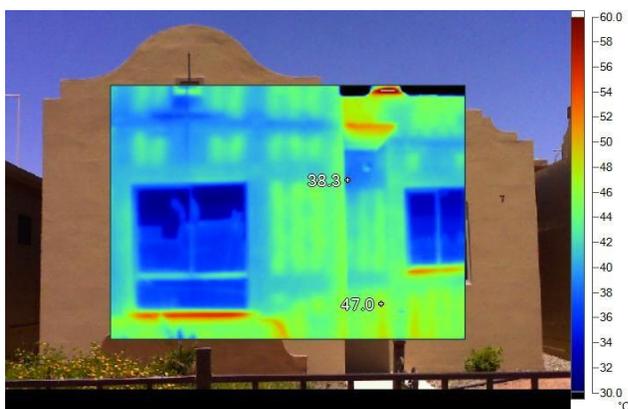


Figura 4. Imagen termográfica de la fachada Sur durante la mañana

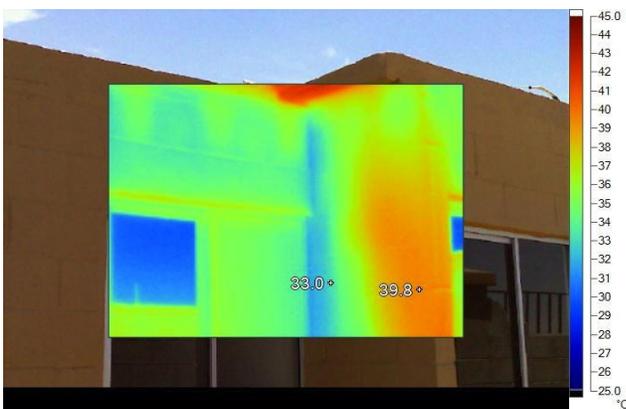


Figura 5. Imagen termográfica de la fachada Norte durante la mañana

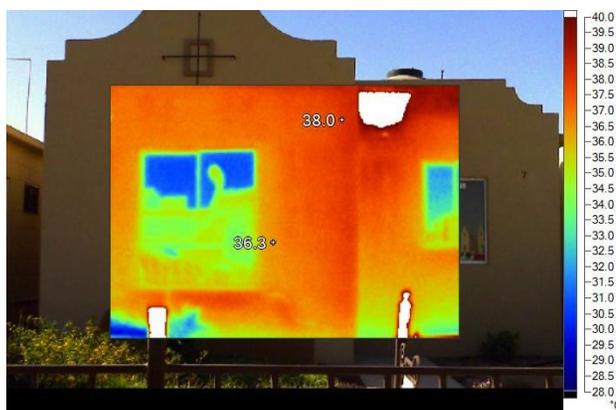


Figura 6. Imagen termográfica de la fachada Sur durante la tarde

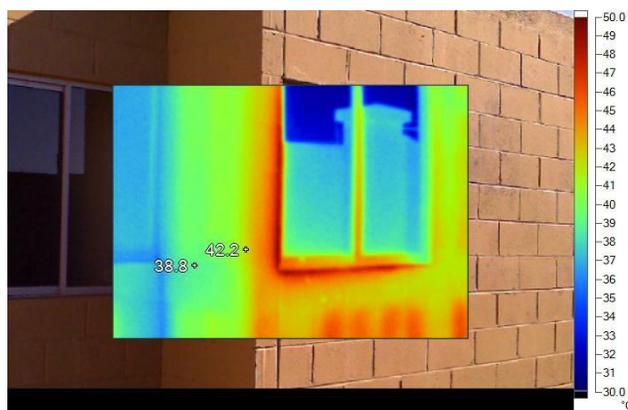


Figura 7. Imagen termográfica de la fachada Norte durante la tarde

Como puede apreciarse, la fachada Sur, con mayor incidencia de radiación solar, se calienta durante la mañana de manera no uniforme, según los dos componentes que la integran (nótese las franjas verticales, que se comentarán más adelante). Se pueden observar diferencias de temperatura de alrededor de 9°C entre ambas partes (Fig. 4). Esto es menos notorio en la fachada Norte, con diferencias de temperatura menores (Figs. 5). Durante la tarde, en ambas fachadas el calor ya se ha distribuido y en parte ya se ha almacenado en ambos componentes, siendo las diferencias del orden de 2 a 4°C (Figs. 6 y 7).

En la siguiente sección, analizaremos las temperaturas superficiales de ambas partes del muro de block.

## MURO DE BLOCK DE CONCRETO

Se escogió un área delimitada del muro de block de la fachada Sur para efectuar un análisis más detallado de las temperaturas superficiales (Fig. 8). El área escogida, que no presenta travesaños, ni uniones de dos muros, ni ninguna otra discontinuidad, es de 1.00m de ancho por 0.75m de altura. En la Fig. 9 se puede ver una sección de esta área.



Figura 8. Fachada Sur con área escogida para el análisis (recuadro en negro)

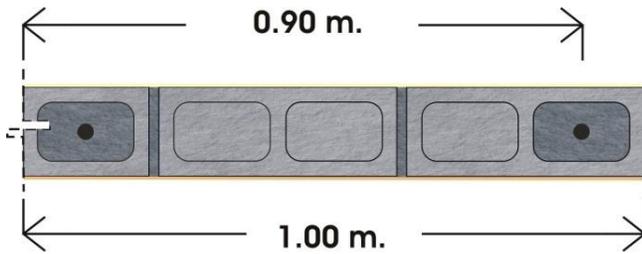


Figura 9. Sección transversal del área escogida del muro de block. La cota de arriba es interior y la de abajo es exterior

Los huecos extremos de la derecha e izquierda (Fig. 9) están rellenos de concreto y varilla, para cumplir con la función de castillos.

Se tomaron imágenes infrarrojas de la superficie interior y exterior del área de muro escogida. En las Figs. 10 a 13 se muestran imágenes tomadas a las 12:00h y a las 18:00h, como horas representativas de flujos de calor que van en diferentes direcciones. Las líneas blancas horizontales representadas en las imágenes corresponden a la sección que su muestra en la Fig. 9 (ancho del área escogida).

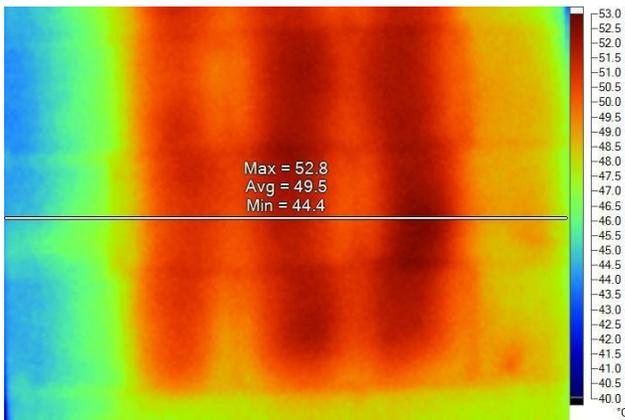


Figura 10. Temperatura superficial de la fachada Sur en el área escogida. Imagen exterior a las 12:00h.

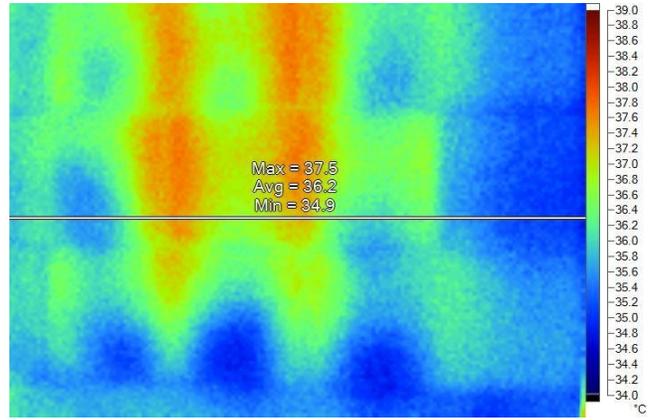


Figura 11. Temperatura superficial de la fachada Sur en el área escogida. Imagen interior a las 12:00h.

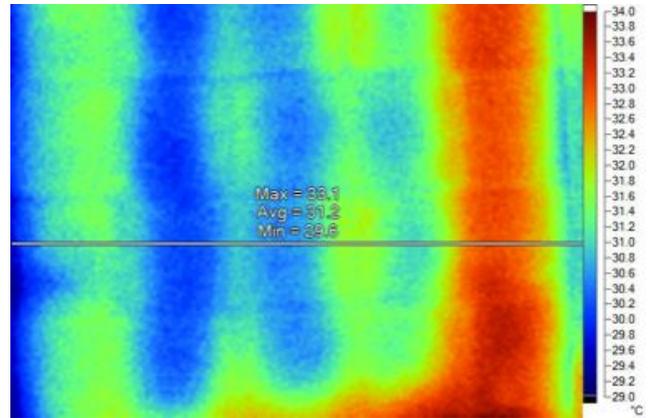


Figura 12. Temperatura superficial de la fachada Sur en el área escogida. Imagen exterior a las 18:00h.

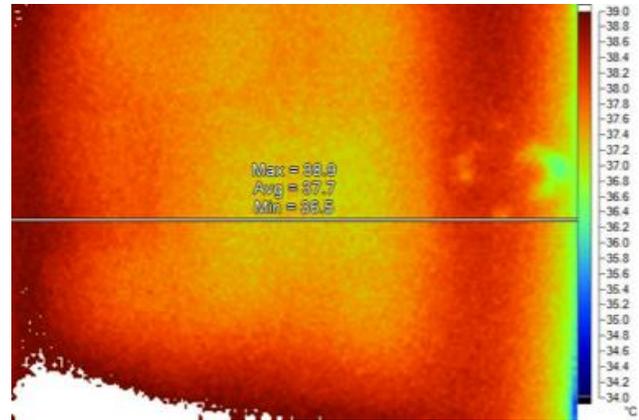


Figura 13. Temperatura superficial de la fachada Sur en el área escogida. Imagen interior a las 18:00h.

Uno de los aspectos que llama la atención, sobre todo en las tres primeras Figs. (10, 11 y 12), son las franjas verticales con diferente temperatura. A las 12:00h, las franjas de mayor temperatura, tanto en la superficie exterior como en la interior, corresponden a los espacios huecos del block. Mientras que a las 18:00h, en la superficie exterior las franjas de mayor temperatura corresponden a la parte sólida del block. A esa hora, en la superficie interior no se aprecian las franjas de los blocks centrales, solo las franjas de mayor temperatura correspondientes a los castillos.

Cabe destacar que en las Figs. anteriormente mencionadas, la escala de temperaturas superficiales es diferente de una foto a la otra, a efectos de posibilitar su mejor visualización. Como es de esperarse, las mayores temperaturas se presentan en la superficie exterior a las 12:00h y las menores en la misma superficie exterior a las 18:00h.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la información medida de las imágenes de las Figs. 10 a 13, se puede graficar la distribución de las temperaturas superficiales en el ancho del área seleccionada. Se representan las temperaturas superficiales interiores y exteriores del muro en función de la distancia horizontal (ancho) en el mismo grafico, a las 12:00h y a las 18:00h, en las Figs. 14 y 15 respectivamente.

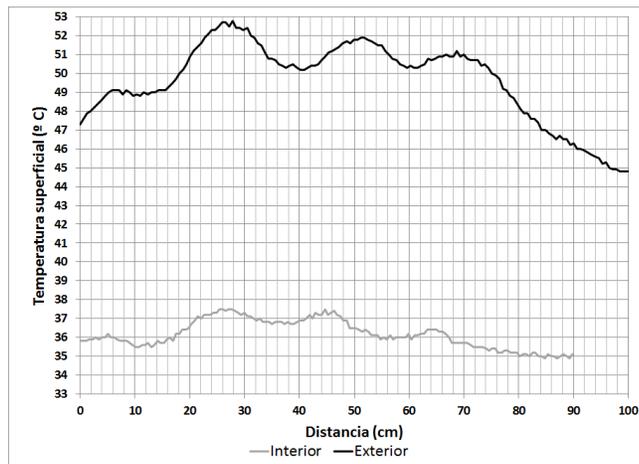


Figura 14. Temperaturas superficiales en el interior y exterior de la fachada Sur en función de la distancia horizontal a las 12:00h.

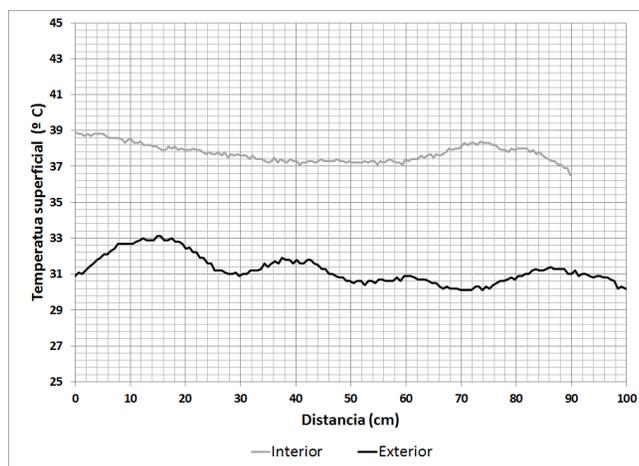


Figura 15. Temperaturas superficiales en el interior y exterior de la fachada Sur en función de la distancia horizontal a las 18:00h.

Comparando las Figs. 14 y 15 se puede observar claramente la inversión del flujo térmico en dos momentos diferentes del día: al medio día y en la tarde. Al medio día (Fig. 14), la superficie exterior del muro presenta temperaturas más elevadas que las interiores, es decir, la dirección del flujo de calor es de afuera hacia adentro, calentando el interior de la vivienda. Durante la tarde (Fig. 15), las temperaturas interiores son mayores a las exteriores, por lo que el flujo de calor va en dirección inversa, desde adentro hacia fuera, enfriando a la vivienda.

Además de la apreciación de este fenómeno, es interesante observar la distribución de temperaturas superficiales según la ubicación de las partes huecas y las partes sólidas de los blocks. A las 12:00h, tanto en la superficie externa, como en la superficie interna, los máximos de temperatura corresponden a la ubicación de los espacios huecos de los blocks. Como se observó en la imágenes, a las 18:00h en la superficie exterior los máximos de temperatura corresponden a la partes sólidas de los blocks, a esta hora, la temperatura de la superficie interior en la zona central no presenta variaciones entre partes huecas y partes sólidas de los blocks.

Se podría pensar que los huecos con aire de los blocks podrían funcionar como aislantes y la parte sólida como puentes térmicos, en cuyo caso se esperaría que a las 12:00h en la superficie exterior los máximos de temperatura ocurrieran en la parte hueca, como sucede, y que en la superficie interior, los máximos se presentarían en la parte sólida, lo que no sucede. Y que a las 18:00h, en la superficie exterior los máximos de temperatura ocurrieran en la parte sólida, como sucede, y en la superficie interior, los máximos se presentarían en la parte hueca, lo que tampoco sucede. Los resultados indican que los flujos de calor que atraviesan el block son muy complejos, tanto en tiempo como en espacio, y no se pueden ver como flujos unidireccionales. Como son dependientes del tiempo, la inercia térmica de las partes sólidas juega un papel importante. La transferencia de calor por radiación, que es prácticamente instantánea, entre las paredes interiores del hueco, sobre todo a las horas de mayores diferencias de temperatura entre dichas superficies (12:00h), también es importante (Borbón et al, 2010) y también existe la transferencia de calor por convección del aire en el interior de los huecos.

Las imágenes termográficas han sido útiles, en este caso, para señalar el complejo comportamiento térmico de un material no homogéneo, que consta de espacios huecos y de partes sólidas. Esta investigación indica la necesidad de estudiar la transferencia de calor dependiente del tiempo en este tipo de sistemas.

## CONCLUSIONES

En general en clima cálido seco se requiere de estrategias de diseño que permitan minimizar el paso del calor a través de la envolvente, así como disminuir la oscilación térmica y aumentar el tiempo de retraso de la temperatura interior respecto de la exterior. Las imágenes termográficas han sido útiles para analizar el comportamiento de una envolvente de block hueco de concreto y para poner en evidencia que las partes huecas del block pueden contribuir en forma importante a la transferencia de calor. Este material, por consiguiente, no es el más adecuado para el clima cálido seco.

Como posibles alternativas, sería la utilización de materiales sin huecos, por ejemplo el ladrillo, o bien, la utilización de blocks de concreto con otra distribución en los huecos, por ejemplo, aumentando el número de huecos en la dirección del flujo de calor, de tal modo que se disminuyera la transferencia de calor por radiación y por convección al interior de los huecos. Este sería tema de futuras investigaciones.

Es importante, entre otras estrategias de diseño pasivo, la elección correcta de los materiales de la envolvente, a fin de que el comportamiento térmico de las construcciones se adapte al clima. Particularmente para este sector de la población, que habita este tipo de viviendas con escaso acceso a sistemas de acondicionamiento, la utilización de materiales adecuados puede contribuir a mejorar las condiciones térmicas interiores y, por consiguiente, la calidad de vida de los ocupantes.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue patrocinada por el Fondo de Sustentabilidad Energética CONACyT - SENER S0019-2009-01 proyecto 118665 y por el programa PROMEP con el proyecto Reglamentación y Normatividad para Arquitectura Bioclimática. Este trabajo fue además parcialmente financiado por el programa de intercambio académico UniSon-UNAM.

Se agradece a la empresa constructora de viviendas de Hermosillo su valiosa colaboración en permitir a los investigadores evaluar las viviendas que está ofertando. Por motivos de confidencialidad, no se revela la identidad de la misma.

## REFERENCIAS

ASHRAE (2005). ASHRAE Handbook Fundamentals, SI Edition, p. 3.9, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Borbón A., Cabanillas R., Pérez J. (2010). Modeling and simulation of heat transfer in hollow concrete block walls, *Información Tecnológica*, 21, pp. 27-38.

FLUKE Corporation (2007). Fluke. Thermal Images. Manual de uso. Rev. 2 8/10. USA.

Huelsz, G. et al. (2012). Informe Etapa 2. Evaluación de casas. Proyecto SENER-CONACyT Sustentabilidad Energética 118665. México.

Marincic I., Ochoa J.M. y Alpuche M.G. La vivienda económica en Hermosillo y el consumo de energía eléctrica (2010). Memorias XXXIV Semana Nacional de Energía Solar, 4-9 de octubre del 2010, Guanajuato, Gto., México.