

Tierra armada y su comportamiento térmico, dos experiencias en Brasil y México

Rosana Parisi

Pontificia Universidad Católica de Minas, Brasil

Gabriel Castañeda

Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, México

Francisco Vecchia

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), Brasil

Resumen

El presente trabajo forma parte de una investigación experimental y expone los resultados de dos evaluaciones térmicas de viviendas construidas con tierra armada, la primera en Tuxtla Gutiérrez, estado de Chiapas, en México, y la segunda en la Reserva Indígena Xucuru-Kariri en Caldas, en el estado de Minas Gerais, en Brasil. El objetivo fue verificar que la utilización de la tierra armada en la construcción de la vivienda, incluso en realidades geográficas y climáticas distintas, es positiva para el confort térmico interior. Los resultados obtenidos en el estudio lo comprueban y permiten aseverar que es conveniente el empleo de la tierra en la construcción de viviendas.

Abstract

This study exposes the thermal evaluation results, measured and compared through summer in two different earth built houses, one in Tuxtla Gutierrez Chiapas, in the south of Mexico and the other one in the native Brazilian Indian Xucuru-Kariri reserve in Caldas, south of the state of Minas Gerais, Brazil. It's main objective was to ensure if the earth use in buildings improves the thermal behavior in both situations, even doe it was used in complete different geographical and weather locations. The results shown this proposal as a real one, and certifies that earth use in buildings is a convenient choice.

El estudio de evaluación experimental del comportamiento térmico de las dos viviendas construidas con tierra armada resultó de la colaboración entre la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, México (UNACH) y el curso de Arquitectura y Urbanismo del Campus de Pozos de Caldas, de la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais, Brasil (PUC-MINAS). En Chiapas, la vivienda es un prototipo edificado desde hace seis años a través del sistema de autoconstrucción que viene siendo monitoreado, evaluándose el comportamiento pos ocupacional de diferentes aspectos: Comportamiento físico de paredes de bajareque; Comportamiento físico de la madera utilizada en la construcción y, Comportamiento térmico de los elementos constructivos del prototipo, con énfasis en la evaluación de las temperaturas superficiales y temperatura del aire interior.

La vivienda de Caldas, en Minas Gerais, Brasil¹, fue construida un año más tarde, después de realizar talleres de transferencia tecnológica de bajareque mejorado en la comunidad indígena Xucuru-Kariri, con la colaboración interinstitucional UNACH-PUC de Caldas, a través del Cuerpo Académico COCOVI (Grupo de Investigación Componentes y Condicionantes de la Vivienda), con la mano de obra de un grupo social quienes adoptaron y adaptaron la técnica a su contexto y lo denominaron *Novaterra*.

El comportamiento térmico de las dos viviendas fue evaluado a partir de la obtención de temperaturas superficiales de techos y paredes y de la lectura de las

Descriptores

Comportamiento térmico, Análisis térmico, Evaluación y desempeño térmico, Mejoramiento tecnológico.

Keywords:

Thermal behavior, thermal analysis, evaluation and thermal acting, technological improvement

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN | Vol. 24-I | 2008 | pp. 33-42 | Recibido el 01/02/08 | Aceptado el 22/07/08

temperaturas del aire interior, tomando como parámetro de referencia la temperatura del aire exterior².

En este artículo se presentan resultados de mediciones térmicas realizadas entre los días 2 y 12 de agosto de 2004, en Tuxtla Gutiérrez³, Chiapas (México), y entre los días 31 de octubre y 10 de noviembre de 2005 en Caldas, Minas Gerais (Brasil). Estos resultados de verano, tanto en México como en Brasil, fueron determinados bajo la óptica de la climatología dinámica, a través de la elección de un día típico experimental, bajo el dominio de una masa tropical.

Materiales y métodos

Localización del objeto de estudio

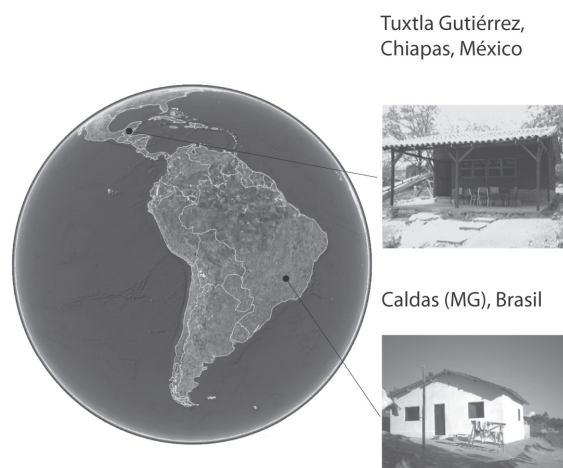
Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas, se localiza al sur de la república mexicana. Según la clasificación de Koeppen, se localiza en una zona tropical con lluvias en verano con un tipo climático Aw según Ayllon (1996). De acuerdo con esta clasificación climática, Caldas se localiza en una zona subtropical con inviernos secos y veranos benignos, con tipo climático Cwb-mesotérmico (figura 1).

La vivienda de bajareque en Chiapas y Caldas

La vivienda de bajareque en Tuxtla Gutiérrez, denominada casa de Chiapas, tiene 36 m² de construcción y se logró con un proceso de autoconstrucción por los integrantes de la Facultad de Arquitectura de la UNACH (foto 1). La de Caldas tiene 84 m² y fue construida a través de participación comunitaria (incluidos) los futuros habitantes, alumnos del curso de Arquitectura de la PUC-Minas (Campus de Pozos de Caldas), además de algunos trabajadores de la construcción, contratados por la universidad para tareas específicas (foto 2).

La estructura de la casa de Chiapas es de elementos de madera de pino de 10 x 10 cm como columnas, siendo además soporte para la estructura de las paredes que se componen de dos partes. La primera, un rodapié de 50 cm de altura, construido con albañilería de ladrillo rojo cocido, asentado con mortero de cemento-cal-arena. La segunda parte de la pared está colocada encima del rodapié y está conformada por una estructura de madera de pino recubierta por un entramado de caña de maíz, el cual fue cubierto posteriormente con un embarro o masa de tierra con agua y paja del lugar, para un espesor total de 10 cm.

Figura 1
Mapa de ubicación



Fuente: elaboración propia

La estructura del techo de la casa de Chiapas es de listones de madera de pino, soportando una cama de caña de maíz, tal como se puede apreciar en la foto 3. Sobre esta cama se colocó fieltro asfáltico para evitar el paso de humedad y polvo y, sobre éste, la teja de barro tipo española. La investigación experimental resaltó que el plafón, formado por la cama de caña de maíz, actúa como amortiguador del calor radiante, aunque inicialmente fuera colo-

cado con otras finalidades, como la de servir de apoyo al fieltro asfáltico, además de la calidad estética del ambiente. Tanto en las paredes como en el techo la estructura de madera se trató con aceite quemado con el fin de preservarla y prolongar su vida útil.

De la misma forma que en la casa de Chiapas, la casa de Caldas en Minas Gerais fue construida con materiales locales. Para los componentes estructurales se utilizó

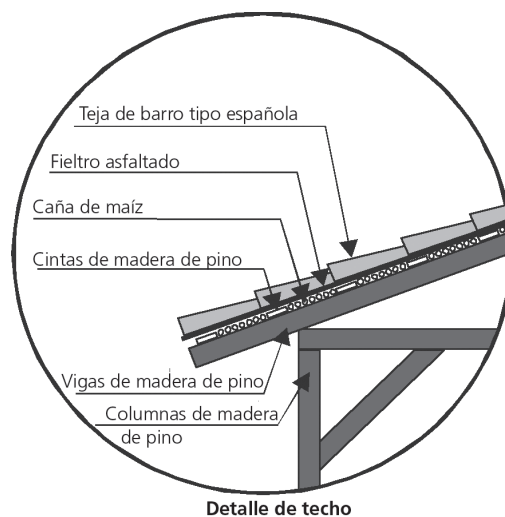
Foto 1
Casa Experimental de Bajareque,
construida en la Facultad de Arquitectura de la UNACH.



Foto 2
Casa Experimental de Bajareque "Novaterra",
construida en Caldas, MG, Brasil.



Foto 3
Detalle de la composición
del techo de la casa
de bajareque.



Fuente: elaboración propia

madera de eucalipto de plantación, tratado con aceite quemado, configurando columnas, vigas y cintas o largueros. Los entramados de la vivienda fueron realizados con bambú, material abundante en la reserva indígena de Caldas. El relleno o embarrado se hizo con barro y fibras de las hojas que cubren las mazorcas del maíz. Al igual que en Chiapas, en la casa de Caldas se colocó un rodapié de ladrillos asentados con mortero de cemento-cal-arena para proteger el resto de las paredes de la humedad ascendente.

En este caso, sobre las caras exteriores de las paredes de tierra armada con bambú se colocó malla metálica,

amarrada a la estructura de madera, recubriéndola posteriormente con mortero de cemento-cal-arena. El acabado del techo se hizo con tejas de barro tipo romana, elemento constructivo común en la región.

La orientación de la casa de Chiapas es nortesur, con el corredor al norte, favoreciendo la circulación del aire, como se observa en las figuras 2 y 3. La casa de Caldas tiene una orientación semejante con aberturas que favorecen la circulación del aire (figuras 4 y 5).

En las dos construcciones la mayoría de los materiales empleados son locales y de origen natural, excepto

Figura 2
Planta de casa Chiapas

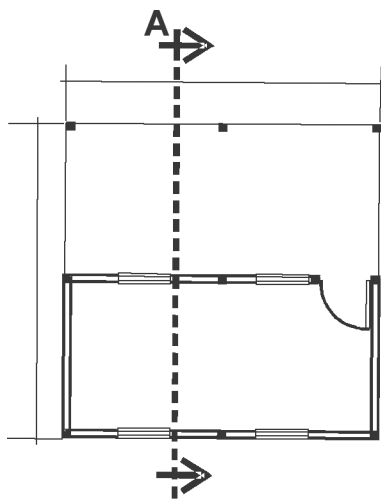


Figura 3
Detalle de colocación de sensores

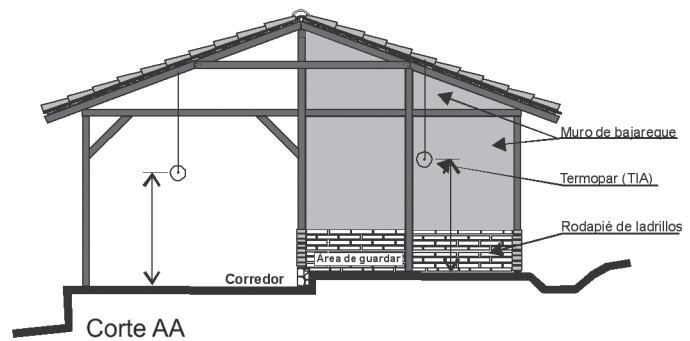


Figura 4
Planta de casa Chiapas

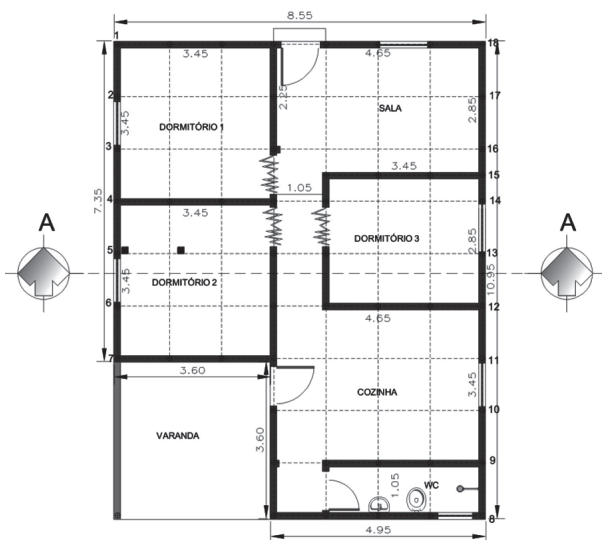
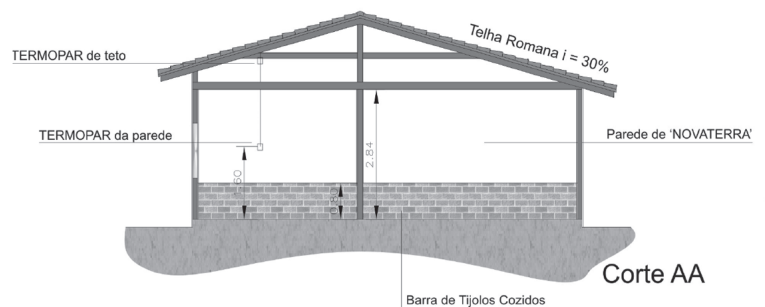


Figura 5
Detalle de colocación de sensores



Fuente: elaboración propia

el aceite quemado y la pintura de acabado y, en el caso de la casa de Chiapas, el fieltro asfáltico. En la casa de Caldas, además de los recursos de origen natural, fueron empleados materiales industrializados como la malla metálica y el cemento. Conforme a las recomendaciones de la Fundación Nacional del Indio de Brasil (FUNAI), fue indispensable emplear tales materiales para poder aplicar posteriormente el friso (acabado), evitando así que pueda alojarse el parásito transmisor del mal de Chagas, el *Trypanosoma cruzi*.

En el caso de la vivienda de Caldas y por exigencia cultural, en el futuro se construirá un plafón horizontal a nivel del enrase. Sin embargo, para la experimentación, se tomaron las mediciones sin cielo raso, con el objeto de mantener condiciones similares al prototipo de Chiapas.

El equipo de medición

El levantamiento de las temperaturas en las dos experiencias, tanto del aire (interior y exterior) como de las superficies de paredes y techos, se llevó a cabo con colectores automáticos de datos de la familia HOBO H8. Los datos registrados por estos equipos fueron transportados

en el HOBO Shuttle y procesados con el *software* Boxcar Pro 4.3, que permitió la generación de gráficos para su interpretación (foto 4).

El método de investigación

Desde 1997 se ha demostrado que climas en regiones de media latitud siguen un patrón de encadenamiento sucesivo de sistemas atmosféricos (tipo de tiempo meteorológico). De acuerdo con Sorre (1951), Monteiro (1969) y Vecchia (1997), las temperaturas interiores tienden a acompañar el ritmo exterior de las temperaturas del aire. Este patrón interior de temperaturas también fue reconocido por Givoni (1998) quien lo describió como un patrón cíclico diario donde el conjunto de la radiación solar y la temperatura del aire exterior determinan la relación con las temperaturas interiores del aire del edificio. Rivero (1985) ha descrito el proceso de cambios térmicos de dos formas: una en régimen permanente y otra, más importante, en régimen transitorio de tipo periódico. En el gráfico 1 se puede observar el ritmo que siguen las temperaturas durante un período definido. Las dos curvas del gráfico representan el ciclo diario de los valores, en el período

Foto 4
Equipo de registro térmico,
de la familia HOBO 8

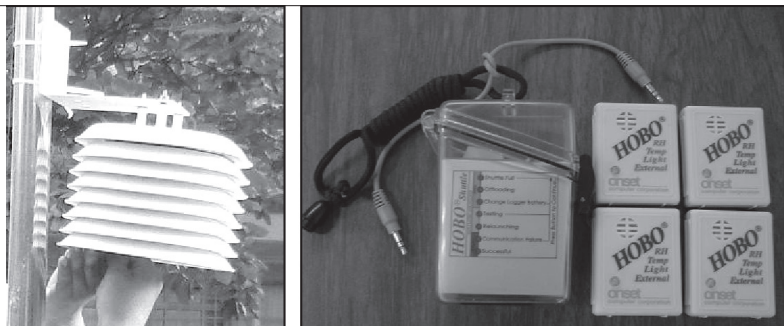
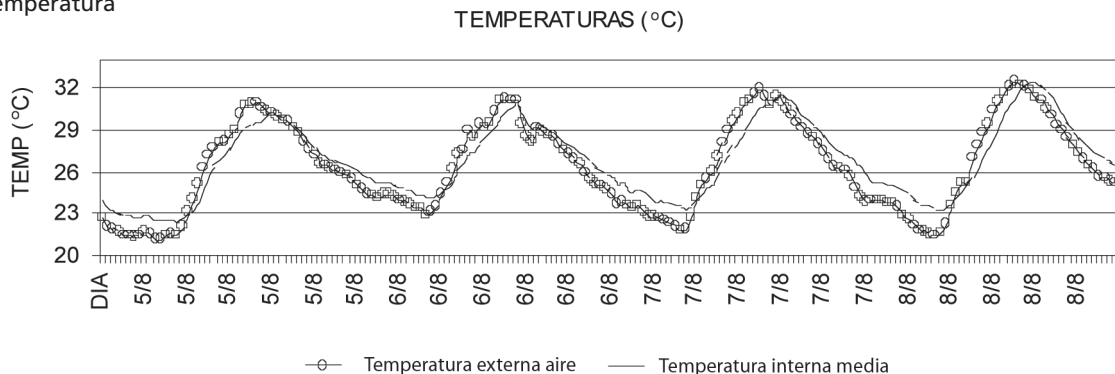


Gráfico 1
Ritmos de temperatura



Fuente: elaboración propia

comprendido entre el 5 al 8 de agosto 2004, de las temperaturas del aire, exterior e interior, con un ligero retraso en las temperaturas máximas, cerca de dos horas. Además, se observa un amortiguamiento en la amplitud térmica del aire, cerca de 2°C.

Por otra parte, se entiende que son tres los principales componentes constructivos que determinan la relación entre la temperatura del aire exterior, la radiación solar y la temperatura interior de los edificios: el piso, las paredes y el techo. También es posible considerar únicamente la relación entre los valores de la temperatura del aire exterior con los valores de las temperaturas interiores, sobre todo si se considerara que la temperatura del aire se amplía por la reemisión del calor obtenido de las superficies del entorno. Por lo tanto, el ciclo de los valores de la temperatura externa del aire puede ser modificado por su amortiguamiento y por el atraso térmico al interior de la vivienda, dependiendo y en función de la forma y el tamaño de los elementos, y la composición de los materiales constructivos utilizados.

En la casa de Chiapas las paredes solamente delimitan el 50% del área construida y el resto es un corredor abierto con techo. En la casa de Caldas las paredes delimitan cerca del 90% de la construcción techada, debido al diseño y el número de espacios solicitados.

Es bueno señalar que en este análisis no se consideró afectación por acondicionamiento electromecánico del aire interior y, tampoco, la incidencia de radiación solar directa por superficies acristaladas (efecto invernadero). Es decir que para este estudio se considera que los valores de las temperaturas externas del aire determinan un patrón cíclico diario en las temperaturas interiores de las dos viviendas analizadas, y están solamente afectadas por los tres elementos arriba señalados: pisos, paredes y techos.

Resultados

Los resultados obtenidos en Chiapas y en Caldas fueron recabados tomando lecturas automáticas cada veinte segundos y promediados cada media hora, lo que corresponde a 180 lecturas de cada sensor por hora.

En un período de 10 días de 2004 fue posible adoptar un día representativo de verano en Tuxtla Gutiérrez donde predominó una masa tropical con temperaturas elevadas. Lo mismo ocurrió en Caldas al año siguiente en

el mismo período de 10 días, eligiendo, de manera similar, un día representativo de verano con lo cual la investigación experimental verificó el comportamiento y la respuesta térmica de las viviendas de bajareque ante el calor.

Los resultados fueron analizados considerando las siguientes premisas básicas:

1. Las mediciones de agosto de 2004 como fecha representativa del período de verano en Tuxtla Gutiérrez, México (casa de Chiapas).

2. Las mediciones desde final de octubre al 10 de noviembre, como representativas del verano en Caldas, Brasil (casa de Caldas).

3. Asumir que la relación y correspondencia entre las temperaturas del aire interior y del aire exterior expresan el comportamiento térmico de las viviendas. Entre otros aspectos esta concordancia está directamente relacionada con los materiales empleados para cerramientos, paredes y techos, la orientación de las viviendas y la circulación del aire en el interior y exterior de las mismas. Por lo tanto si las temperaturas internas del aire son mayores que la del exterior, esto significa que se está agregando calor a la vivienda. Por otro lado, si ambas temperaturas permanecen similares durante todo el día, significa que no se agrega calor a la vivienda y por lo tanto su condición climática interior es la misma que la del exterior. Pero si la temperatura del aire interior es menor que la del aire exterior, significa que se está impidiendo el incremento de la temperatura básicamente por dos motivos: porque el aire interior es menos caliente por la acción de la utilización de medios electromecánicos (sistema activo) y porque el aire interior es menos caliente por las características aislantes o las características en cuanto a la inercia térmica de los materiales empleados, principalmente en paredes y techos (sistema pasivo).

En resumen, se puede considerar lo siguiente:

- Si la temperatura del aire interior > temperatura del aire exterior, el comportamiento térmico de la vivienda no es adecuado, ya que se está calentando el ambiente interno. Es probable que las envolventes —vidrios, techos, etc.— sean los responsables.
- Si la temperatura del aire interior = temperatura del aire exterior, el comportamiento térmico es adecuado, pues no se alteran los valores de la temperatura interna del aire en relación a la del aire exterior. Hay un buen equilibrio térmico entre exterior y el interior;

- Si la temperatura del aire interior < temperatura del aire exterior, el comportamiento térmico es el deseable en climas cálidos, pues las envolventes están actuando para retardar la entrada del calor a la vivienda.

La casa de Chiapas (México)

En el gráfico 2 y el cuadro 1 se observa que hubo un atraso térmico de dos horas en el pico de las temperaturas del aire interior-exterior, o sea, la temperatura máxima exterior es igual a la temperatura máxima interior después de 2 horas.

También se puede verificar que desde las 8 horas de la mañana hasta las 15 horas, los valores de la temperatura del aire exterior son mayores que los de la tempe-

ratura interior. Después de ese horario, la temperatura del aire interior permanece mayor que la del aire exterior, pero en ese momento no excede 1°C. Desde las 15 horas, tanto la temperatura interior como la exterior siguen bajando hasta las 22 horas, cuando la diferencia aumenta hasta 1,5°C. Esta diferencia permanece equilibrada hasta el día siguiente a las 8 horas, cuando las temperaturas externa e interna del aire regresan a encontrarse y cuando las amplitudes nuevamente se alternan.

Por otra parte, en el gráfico 3 se aprecia que la amplitud térmica de la temperatura del aire exterior es de 11°C y la amplitud del aire interior de la casa de Chiapas es de 9,2°C o sea, dos grados menos que en el exterior. La diferencia de las amplitudes térmicas de casi 2°C indica un amortiguamiento térmico que se expresa como resultado de la composición de los elementos constructivos utiliza-

Gráfico 2
Registro de temperaturas del aire interior-exterior

cuadro 1

temperaturas	hora	Valor (°C)
temp ext max	14 h	32,5
temp int	14 h	31,2
temp int max	16 h	32,5
temp ext	16 h	32

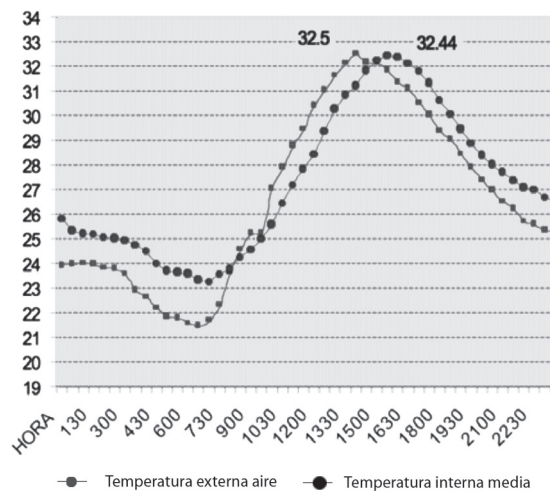
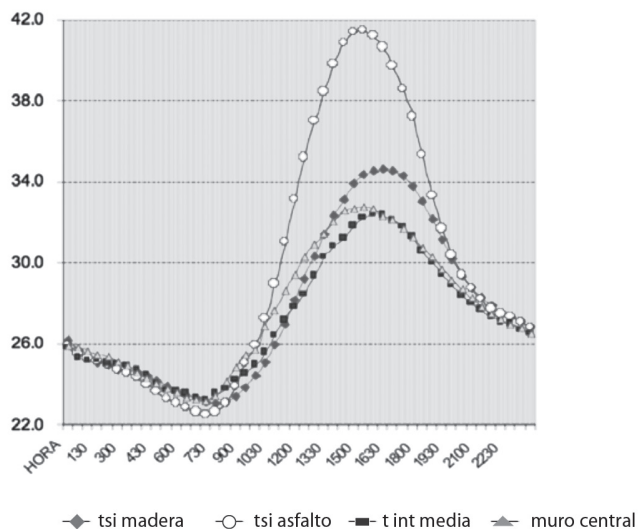


Gráfico 3
Amplitud térmica de la temperatura del aire exterior



Fuente: elaboración propia

dos por medio de sus propiedades termo físicas, en equilibrio y de la inercia térmica.

Con base en la semejanza verificada entre los valores de las temperaturas superficiales de las paredes de la casa de Chiapas para la evaluación de los cambios térmicos de las envolventes fue adoptado el valor medio de todas las temperaturas registradas, comparándolas con los valores de las temperaturas superficiales del techo. Aunque respecto a los materiales empleados en esta casa se verificó que la mayor variación térmica es del fieltro asfáltico y la máxima variación superficial corresponde a la diferencia entre los índices térmicos comparados entre el fieltro asfáltico y los valores medios de las paredes que es de aproximadamente 9°C. Se debe resaltar que el plafón de madera y caña de maíz participa como reductor del paso

térmico para la casa de Chiapas, ya que existe una reducción de 6°C en la temperatura, producto de la diferencia de los valores máximos de las temperaturas superficiales del fieltro asfáltico empleado como subcobertura y el plafón de caña de maíz.

La casa de Caldas (Brasil)

Para la casa de Caldas, las temperaturas registradas demuestran de manera evidente la regulación térmica que puede ser atribuida a los materiales envolventes (paredes y techo). En un momento en que la temperatura del aire exterior es mayor en gran parte del día, en el interior, se requiere y se desea un ambiente fresco durante el día

Cuadro 2

Temperaturas	hora	Valor (°C)
temp ext max	11:30 h	27,5
temp int	11:30 h	24
temp int max	13:30 h	25,17
temp ext	16 h	27

Gráfico 4
Diferencias de temperatura entre el interior y el exterior durante el día y la noche

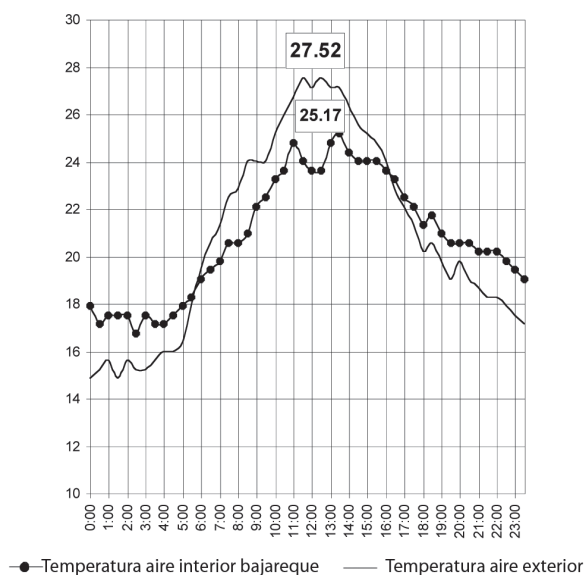
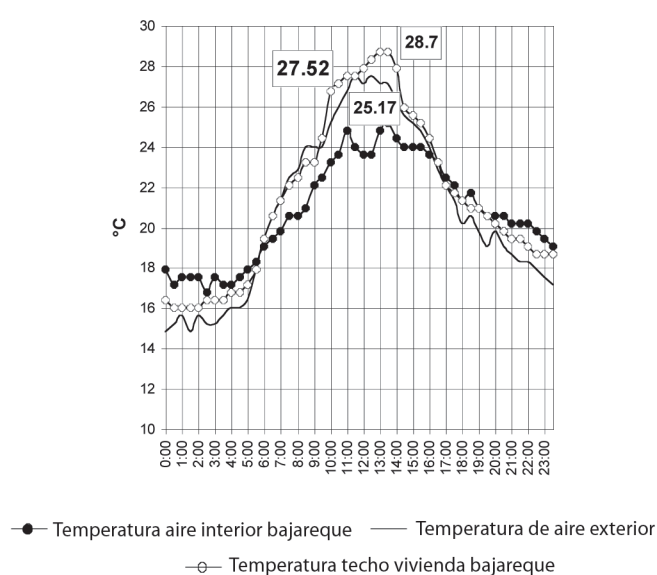


Gráfico 5
Diferencias de temperatura entre el interior y el exterior durante el día y la noche



Fuente: elaboración propia

y cálido por la noche, así, se observa que la temperatura del aire interior es mayor durante la noche y al amanecer la temperatura del aire exterior es menor hasta en 3° C como se aprecia en el cuadro 2 y el gráfico 4 y 5.

Se observa que, aun sin plafón, la vivienda en Caldas presenta una diferencia entre la temperatura externa y la del ambiente de aproximadamente 3,5° C, lo que contribuye para el mejoramiento del confort térmico de la vivienda. Es importante señalar que, para el momento de colocar el plafón, la diferencia de los índices y valores de temperatura aumentarán, con lo cual está garantizado y mejorado el confort térmico interior de la vivienda.

Discusión

La caña de maíz de las paredes de tierra en la vivienda de Chiapas participa activamente como aislante del espacio interior. Por otro lado, la tierra agrega inercia térmica al conjunto, hecho que puede ser observado y comprobado por el amortiguamiento de las temperaturas de acuerdo a las lecturas simultáneas de las temperaturas interiores superficiales y del aire exterior.

En general se puede aseverar que la evaluación global de las temperaturas del aire exterior e interior de las dos viviendas demuestran un adecuado comportamiento térmico frente a los aumentos de calor durante el verano.

El análisis y la evaluación de las temperaturas superficiales del techo y de las paredes de la casa de Chiapas demuestra que el techo es la superficie más frágil y expuesta frente a las alteraciones térmicas entre el interior y el exterior. La temperatura superficial máxima de los techos de la casa de Chiapas es de casi 42°C contra aproximadamente 33°C de la pared central de la misma casa. Hay una diferencia de 9° C entre la temperatura del aire exterior y la del aire interior, de donde se concluye que el techo es el factor sujeto a la amplitud térmica.

Recordemos que las paredes cumplen un papel coadyuvante en ese proceso de alteraciones térmicas. La hipótesis anterior se ve reforzada por los valores de las temperaturas superficiales internas de las paredes de bajareque de ambas viviendas que siguen el ritmo de los valores de la temperatura del aire interior.

Para modificar las temperaturas superficiales del techo (sistema de cobertura) es necesario incrementar la resistencia térmica del techo (equilibrio térmico) y/o

aumentar la reflexión de la radiación solar directa sobre el techo, alterando su absorción, que es principalmente determinada por el incremento de la reflexión.

Según Givoni (1998), la elevación de los índices de la temperatura del aire interior guarda una estrecha correlación con los valores medios de la temperatura del aire exterior y dependen de la configuración de los edificios. Así, la existencia de adecuada ventilación (cruzada) es un importante elemento en el comportamiento térmico de los espacios internos, sobre todo respecto a los aumentos de intensidad de calor en verano, junto a la resistencia de los acabados y su comportamiento térmico, sumado a los colores utilizados para superficies exteriores y techo.

Conclusiones

Al analizar los resultados presentados para las dos viviendas, se puede observar lo siguiente:

1. Además de la importancia y eficiencia en cuanto a confort, los materiales de origen natural utilizados para las paredes revisten importancia en cuanto al carácter de sostenibilidad de las edificaciones. A través de ellos se puede generar un proceso de educación ambiental para las personas o grupos directamente envueltos en el proceso constructivo.

2. La utilización de la tierra cruda conjuntamente con la caña de maíz en México, y de la caña de bambú y hoja triturada de la mazorca del maíz en Brasil, posibilitan, además del abaratamiento de los materiales, la educación ambiental de la comunidad en cuanto al aprovechamiento de recursos renovables (pino de plantaciones, bambú, etc.) que puede ser canalizada para el reforzamiento de la noción de ciudadanía.

3. Un sistema eficiente de ventilación natural, los materiales del techo y los colores empleados en las paredes fueron factores que contribuyeron para el condicionamiento térmico en las dos viviendas.

4. Tanto en México como en Brasil el empleo de la tierra cruda rescata una tecnología constructiva ancestral que colabora con el fortalecimiento de una identidad constructiva local.

Notas

- 1 La vivienda de Caldas fue edificada con recursos de la Asociación Cáritas Brasileña y Mitra Diocesana de Guaxupé en sociedad con la PUC-Minas y con la colaboración interinstitucional entre la UNACH-México y la PUC-Minas, Brasil.
- 2 La investigación se basó en procesos experimentales con el levantamiento automático de datos del clima, así como de los parámetros ambientales de evaluación térmica de los espacios internos de las viviendas, con equipo de la marca Hobo-8 para registros de temperatura y humedad relativa en el interior y exterior de las viviendas.
- 3 La vivienda de Tuxtla Gutiérrez, es parte de una estrategia de seguimiento de diferentes objetos arquitectónicos construidos en el marco del proyecto 10x10, propuesta de transferencia de tecnología en 10 países latinoamericanos coordinado por el programa Iberoamericano HABYTED-CYTED.

Referencias

- ANAIS do I Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra (2002) PROTERRA/CYTED. Salvador.
- Cuadrat, J. M. y Pita, M. F. (1997). *Climatología*. Madrid: Cátedra.
- CYTED/HABITED (2001). Vivienda rural. 3er. Seminario sobre vivienda rural y calidad de vida en los asentamientos rurales. Memoria. Santiago de Cuba.
- Doherty, A. y Szokolay, S. V. (1999). Thermal confort. PLEA Notes (PLEA: Passive and Low Energy Architecture). Department of Architecture. University of Queensland. Brisbane (Australia).
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Givoni, B. y Vecchia, F. A. S. (2001). Predicting thermal performance of occupied houses. Florianópolis: Proceedings do 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture-PLEA.
- Hays, A. y Matuk, S. (2003). Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificación con técnicas mixtas de construcción con tierra. CYTED/HABYTED PROTERRA. Proyecto XIV.6.
- Castañeda, Nolasco G. y López G. A. (2004). *Mi casa de baja-reqe. Una alternativa apropiable para el sector de ingresos bajos*. Barcelona: UPC. Coleção do Autor.
- Olgay, V. (1963). *Design with climate*. New Jersey, Princeton University Press.
- Parisi, R. S. B. (2005). 'Novaterra' na Reserva dos Xucuru-Kariri em Caldas-MG: avaliação de um processo de intervenção para comunidades transplantadas. Volume Impresso de Qualificação de Doutorado apresentado junto ao PPG-SEA, CRHEA da EESC-USP.
- Rivero, Roberto (1985). *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. Brasil: Ed. Da Universidade UFRGS. Luzzato Editores.
- Sorre, M. (1951). *Les fondements de la Géographie Humaine. Les fondements biologiques. Essai d'une écologie de l'homme*. Tomo I, Paris: Armand Colin.
- Vecchia, F. (2005). *Climatologia aplicada ao ambiente construído: análise climática, avaliação e previsão do comportamento térmico de edificações ocupadas*. Textos sistematizados apresentados para o Concurso de Livre-Docência. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Vecchia, F. (1997). Clima e ambiente construído. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano. (Tese de Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.