

EVALUACIÓN TÉRMICA DE UNA VIVIENDA DE SUELO CEMENTO COMPARADA CON SIMULACIONES DIGITALES

Juan Carlos Patrone*, John Martin Evans

Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de Buenos Aires

Ciudad Universitaria, Pabellón III, 4° piso, Ciudad de Buenos Aires Te. 011-4789-6274
arqpa@yahoo.es, evansjmartin@gmail.com

Palabras clave: construcción con tierra - evaluación térmica - edificación sustentable

Resumen

Este trabajo analiza las características térmicas de una vivienda de interés social construida en 2004 - 2005 en Florencio Varela, Provincia de Buenos Aires, con muros monolíticos de suelo cemento o tapial. Las mediciones de las condiciones térmicas fueron registradas durante en la estación de verano, diciembre 2005 a enero 2006, y se complementará con el programa de mediciones a realizar en otoño, invierno y primavera del presente año. El prototipo en estudio cuenta con dos locales con distintas soluciones constructivas para el techo. Las mediciones realizadas fueron comparadas con simulaciones numéricas realizadas con el programa Quick, y se verifica el cumplimiento de las Normas IRAM de Aislación Térmica de Edificios. En ambos casos se utilizaron características térmicas estimadas en base a las densidades de tierra compactada y suelo cemento, estudiadas en un trabajo previo. Los resultados permiten evaluar estrategias bioambientales para mejorar el confort en la vivienda y comparar el uso de suelo cemento de gran inercia térmica con alternativas convencionales de menor densidad y mayor resistencia térmica. Este trabajo tiene por objetivo proporcionar evidencia del comportamiento térmico de edificios de suelo cemento a fin de lograr un Certificado de Aptitud Técnica de esta construcción no convencional y verificar el cumplimiento de las Normas Mínimas de habitabilidad de la Subsecretaría de Vivienda de la Nación.

Introducción

A partir de una investigación particular orientada hacia la construcción de muros monolíticos estabilizados y compactados (tapial), dadas sus características económicas, tecnológicas y bioambientales, que podía contribuir a dar respuesta a la problemática habitacional del país y a una gestión adecuada, que permitió la concreción de un prototipo de vivienda de interés social, realizada por el Arq. Juan Carlos Patrone con el aval del Secretario de Obras y Servicios Públicos del Municipio de Florencio Varela Arq. Tomas Vanrell con el financiamiento del mismo Municipio y la gestión llevada a cabo con distintas Instituciones Universitarias nos permite contar con un prototipo construido para poder realizar mediciones y evaluaciones orientadas a futuras certificaciones (Patrone y Cabezón, 2004).

Si bien los objetivos en la concreción del proyecto de investigación fueron más constructivos que bioambientales, la anterior relación con el CIHE y la desarrollada a través de la investigación y posterior construcción de la vivienda nos condujo a la realización de este proyecto de evaluación térmica del prototipo.

La vivienda, Figura 1, construida con muros monolíticos portantes, de suelo cemento compactado de 0,20 cm de espesor de 36 m² de superficie, consta de un dormitorio, baño y cocina comedor, Figura 2, con pisos y contrapisos de suelo cemento cal y una alternativa de aislamiento térmico no convencional en el techo del dormitorio, compuesta de una masa de pasto seco entre dos capas de barro de un espesor total de 7,5 cm, siendo en el resto de la vivienda el aislamiento de telgopor de 4 cm de espesor, la conformación del techo es de tirantería de madera sobre la que apoya un entablado de madera machihembrado, aislamiento hidrófuga, el aislamiento descrito y chapa galvanizada.



Figura 1. Vista del prototipo,

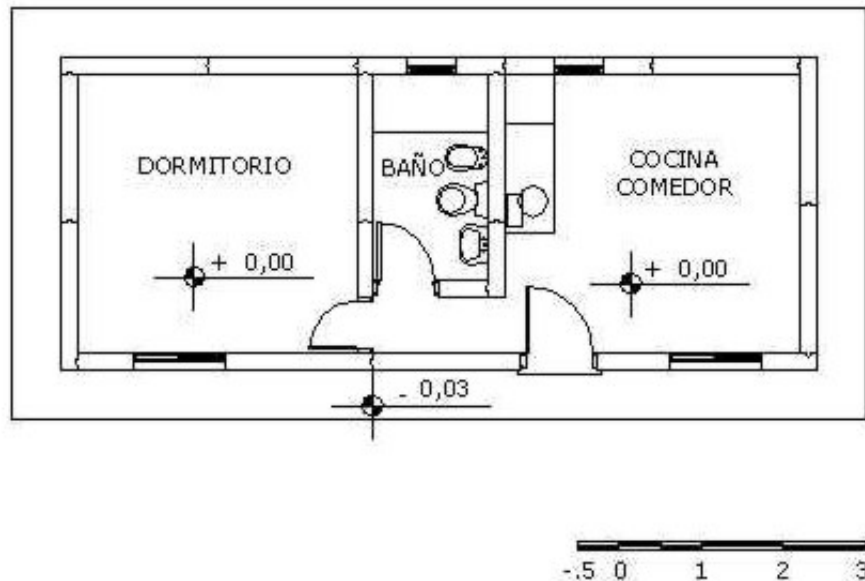


Figura 2, Planta de la vivienda prototipo.

La Norma IRAM 11.605 (1996) indica la transmitancia térmica máxima admisible para invierno y verano, con tres niveles de calidad: A: Óptimo, B Normal, C Mínima. La Secretaría de Vivienda exige en Nivel C para vivienda de interés social. La versión anterior de la Norma IRAM 11.605 (1980) permitía mayor transmitancia térmica en paredes con mayor capacidad térmica considerando su peso superficial en kilogramos por metro cuadrado. Sin embargo, a fin de simplificar la verificación de cumplimiento, la norma actual solo considera la transmitancia térmica como indicador del comportamiento térmico de un elemento constructivo.

El objetivo de las mediciones realizadas en este trabajo es verificar la habitabilidad de viviendas construidas de tapial en las condiciones climáticas de Buenos Aires, con énfasis en la época de calor.

Comportamiento térmico:

La Tabla 1 indica los valores de K, transmitancia térmica, máxima admisible para cumplir con nivel C en Buenos Aires, ubicada en la Zona Bioambiental IIIb. La última fila de la tabla indica los valores críticos, considerando el valor menor de las dos estaciones.

Tabla 1. Valores de K máximo admisible (Watts/m²K) para muros y techos en verano y invierno, Norma IRAM 11.605 (1996).

Condiciones	Techos	Muros
Invierno (Norma IRAM 11.605, Tabla 1)	1,00	1,85
Verano (Norma IRAM 11.605, Tabla 2)	0,76	2,00
Valor crítico (Valor menor de las dos estaciones)	0,76	1,85

Las paredes de tierra estabilizada compactada o tapial tienen una densidad estimada de 1900, una conductividad de 0,9 W/mK y un espesor de 20 cm. Según un estudio de sus características térmicas (Evans, 2004), la transmitancia térmica de esta construcción es 1,90 Watts/m²K, valor que no cumple con la Norma 11.605. El objetivo de las mediciones es analizar las características térmicas y evaluar el comportamiento térmico de esta construcción y cuantificar las posibles ventajas de un elemento constructivo de mayor densidad y capacidad térmica.

Figura 3 indica las temperaturas, registradas cada 15 minutos durante un periodo de 6 días en el módulo experimental. Los registradores automáticos de temperatura mini-dataloggers modelo HOBO fueron colocados en las ubicaciones indicadas en la Tabla 2 y la Figura 2. El periodo de mediciones fue del 10 al 16 de diciembre de 2005, con mediciones de temperatura cada 15 minutos, y 96 registros cada 24 horas.

Figura 3 indica que las mediciones fueron realizadas en una serie de días con temperatura ascendiente y variaciones similares en cada día, con una amplitud térmica o diferencia de temperatura entre máximo y mínimo diario de 9° C y máximos que alcanzan 26,5° C.

Referencia	Ubicación	Comentarios
S	Exterior	Bajo un árbol para evitar el impacto de sol directo
D	Techo dormitorio	En contacto con el techo con
F	Techo cocina	En contacto con el techo
R	Dormitorio	En el centro del local a una altura de 1,5 m
T	Cocina	En el centro del local a una altura de 1,5 m

Tabla 2. Ubicación de los puntos de medición

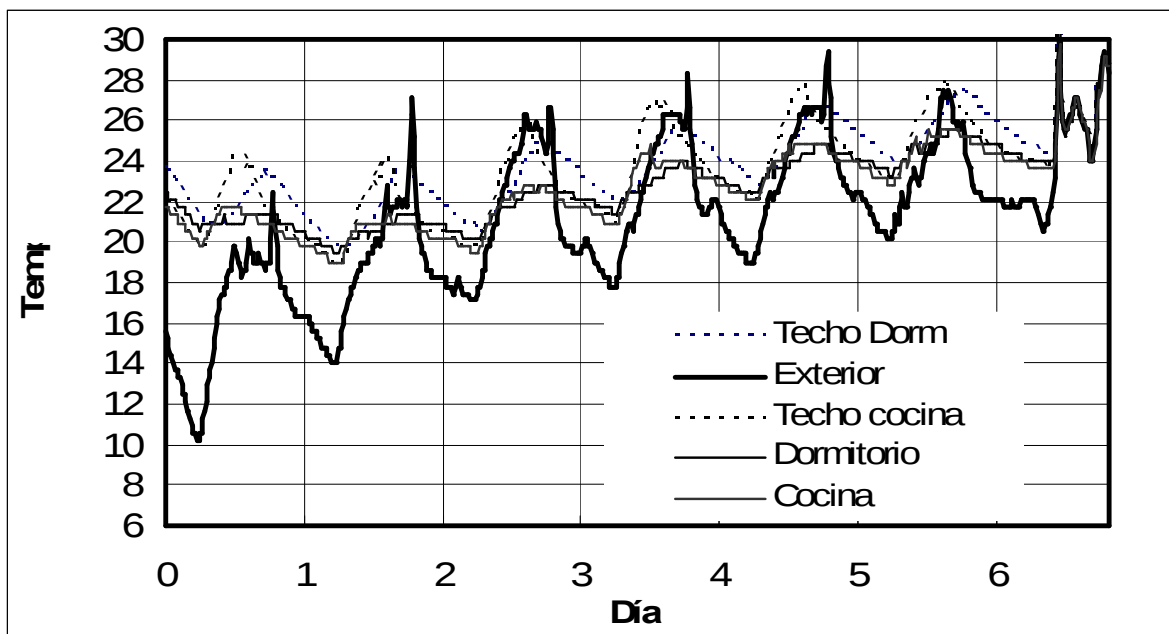


Figura 3. Temperaturas registradas automáticamente durante un periodo de calor, desde del 10 de diciembre.

A fin de visualizar el comportamiento térmico y evitar efectos aleatorios de periodos de nubes, se realizó un gráfico con los promedios horarios de 6 días, Figura 4. Las curvas permite establecer las siguientes características del módulo:

- La temperatura interior en la cocina y dormitorio tiene una variación de 2,4° a 2,9° C, mientras la temperatura exterior tiene una amplitud de 7,9° C mostrando una favorable amortiguación de la variación de la temperatura.
- La temperatura pico interior fue 23,7 comparado con una temperatura pico del aire exterior de 25,5, aunque con radiación solar, la sensación de confort en el exterior es todavía menos confortable en días de calor en verano.
- La temperatura mínima a la noche fue 20,8° y 21,3° C en el dormitorio y la cocina respectivamente, comparada con una temperatura mínima exterior de 17,6° C.

La comparación de alternativas de techo merece un estudio especial, considerando que el modulo con el mismo material en los muros tiene distintas construcciones del techo:

- Techo de la cocina: techo chapa corrugado exterior, cámara de aire levemente ventilada, aislación liviana de poliestireno expandido de 25 mm, y cielorraso de tabloncitos de madera de 18 mm. Transmitancia térmica calculada: 0,50 y 0,53 W/m²K en verano y invierno respectivamente. **Cumple** con Norma IRAM 11.605.
- Techo del dormitorio: techo de chapa, cámara de aire levemente ventilada, capa de barro con paja, formando una capa aislante de 50 mm aproximadamente, cielorraso de madera, 18 mm. Transmitancia térmica calculada: 0,97 y 1,07 W/m²K en verano y invierno respectivamente. **No cumple** con Norma IRAM 11.605.

Esta construcción permite comparar un techo aislante liviano con materiales convencionales que cumple con la norma y un techo de mayor peso y capacidad térmica de materiales no convencionales que no cumple con la Norma IRAM 11.605.

Figura 4 indica que la temperatura máxima en la superficie inferior del techo del dormitorio de construcción no convencional es más confortable que el techo convencional de la cocina. La temperatura máxima del interior del techo cocina es un grado más que la del dormitorio, con atraso de una hora con pico a las 14:00 horas mientras el techo no convencional alcanza la temperatura pico a la 17:00, tres horas después. Las temperaturas mínimas, registradas a las 6:00 horas son 21 y 22 en el dormitorio y la cocina respectivamente. En verano, el techo de construcción no convencional que no cumple con la Norma IRAM es más confortable que un techo convencional con materiales aislantes livianos.

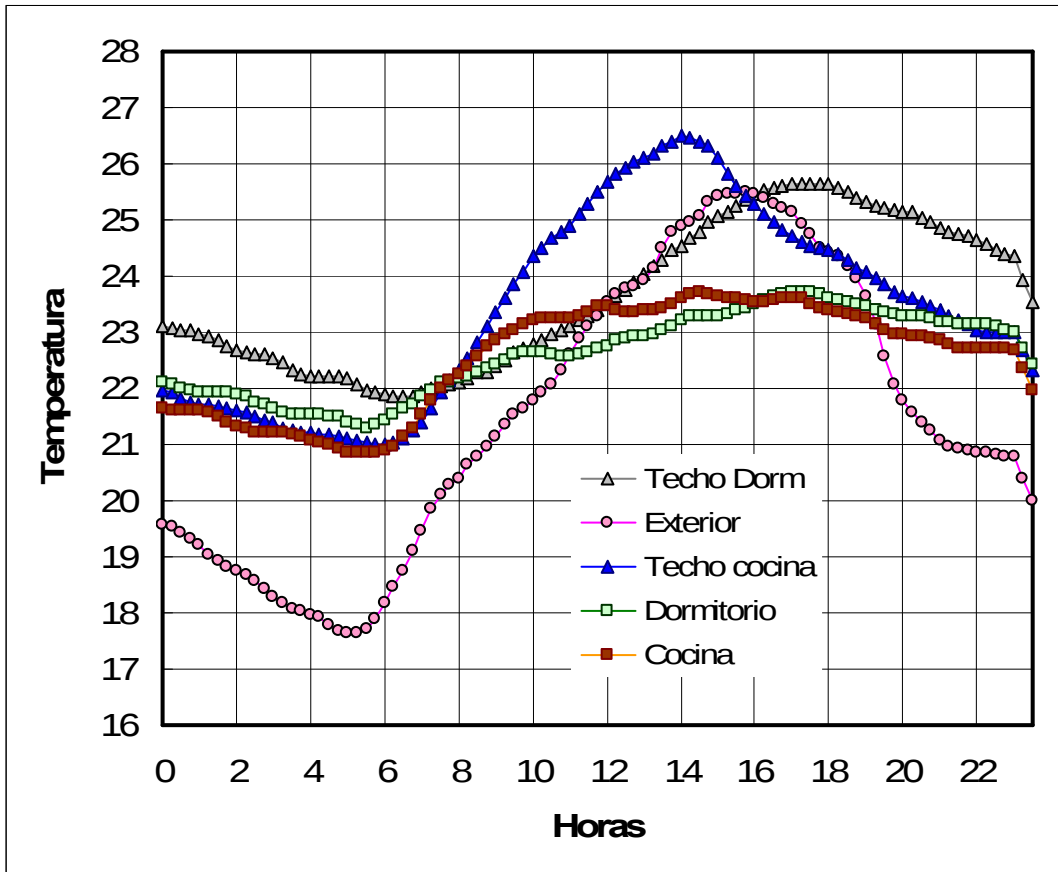


Figura 4. Temperaturas promedios registrados durante los seis días de medición

Dado que el módulo no incluye elementos de construcción convencional, se adopta la técnica de simulaciones calibradas para comparar el comportamiento térmico del módulo con alternativas convencionales. El primer paso es la comparación de los resultados de una simulación numérica del módulo y con los valores de temperatura registrada con los HOBO. La Figura 5 indica esta comparación de los datos de temperatura simuladas y medidas. Los datos de radiación fueron obtenidos de la estación de medición de radiación montada en el techo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Buenos Aires. Los datos de ventilación fueron estimados, considerando un deficiente grado de estanqueidad del modulo en el momento de realizar las mediciones.

El programa utilizado en este caso es Quick, originalmente desarrollado en Sur África para situaciones con acondicionamiento natural con climas similares a la Provincia de Buenos Aires. Los resultados indican una variación máxima de 0,5° C, una precisión muy adecuada considerando los problemas de estimar la ventilación y la posible diferencia de radiación solar entre la estación de medición y el módulo.

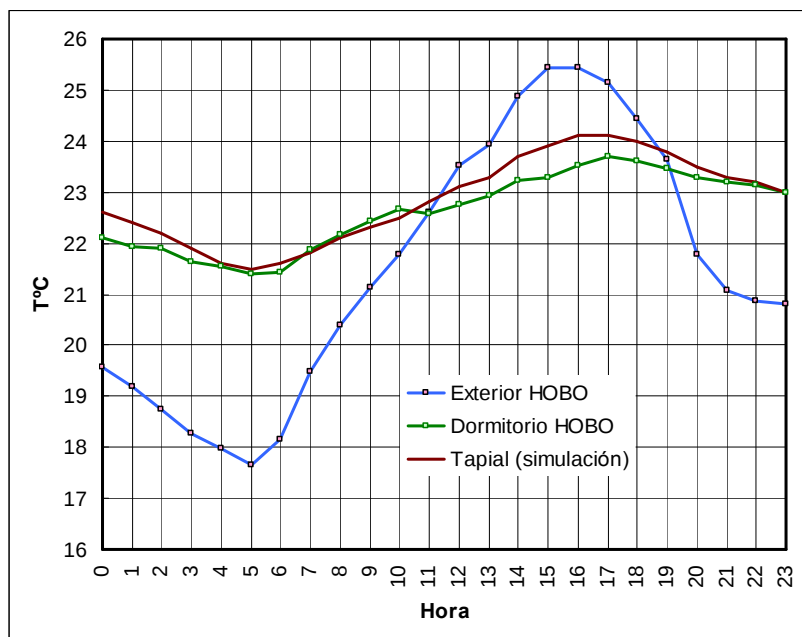


Figura 5. Comparación entre temperaturas interiores registrados en el dormitorio con HOBO y temperatura interior obtenida con un programa de simulación numérica

El segundo paso es comparar simulaciones del modulo con la construcción de tapial, con simulaciones de materiales constructivos convencionales. La tabla 3 indica las alternativas convencionales adoptadas para esta comparación.

Construcción	Espesor mm	Capas constructivas	K W/m ² K
Tapial	200	Tierra estabilizada compactada.	1,9 (No cumple)
Bloque	200	Bloque cerámico hueco de 180 mm con 4 cámaras y revoque ambos lados.	1,6 (Cumple)
Ladrillo	300	Ladrillo macizo de 270 mm y revoque ambos lados.	1,8 (Cumple)
Liviana	200	Placa cementicia exterior, cámara de aire, lana de vidrio de 25 mm, barrera de vapor y placa de yeso interior.	0,8 (Cumple)

Tabla 3. Construcciones alternativas de muros

Figura 6 indica los resultados de las simulaciones de las cuatro construcciones alternativas. Los valores de la ventilación, radiación solar, temperatura exterior, geometría edilicia, y orientación son iguales en todas las alternativas. Las características térmicas de los materiales convencionales fueron obtenidas de la Norma IRAM 11.601 (1996) con valores obtenidos de ensayos en laboratorios de INTI.

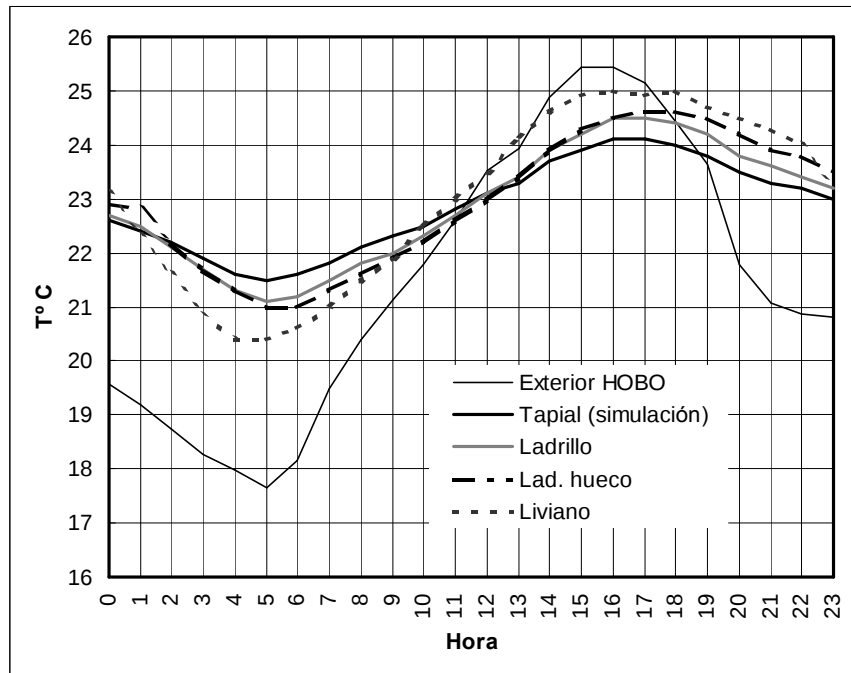


Figura 6. Temperaturas interiores con distintas construcciones.

Los resultados de las simulaciones indican el buen comportamiento de la construcción en muros de tapial en verano. El gráfico de amplitud térmica y temperatura media permite visualizar mas claramente la variación en el comportamiento térmico de alternativas en régimen periódico. El mismo gráfico indica el triangulo de confort donde la combinación de temperatura promedio y la amplitud térmica estén adentro de limites favorables para confort térmico para actividades sedentarias.

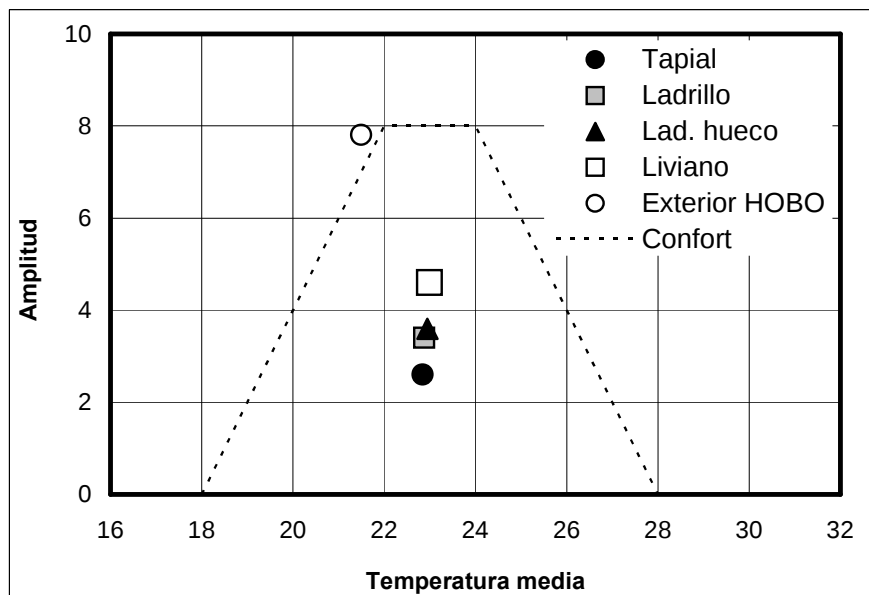


Figura 7. Condiciones simuladas de la temperatura interior y exterior de temperaturas en el módulo.

Conclusiones

Los resultados de las mediciones indican claramente las buenas condiciones de confort ofrecido por la construcción de tierra estabilizada y compactada en la región de Gran Buenos Aires en verano.

La próxima campaña de mediciones en condiciones de invierno permite evaluar el comportamiento con bajas temperaturas exteriores. La alta transmitancia térmica de construcción con tapial sugiere que los resultados no serán tan favorables y no será recomendable la construcción con tapial sin aislante térmico adicional en zonas bioambientales más frías: Zonas IV, V y VI según la Norma IRAM 11063 (1998),

Se considera que en las zonas bioclimáticas I, II y III, de igual o mayor calor, y sub-zonas con mayor amplitud térmica, los beneficios verificados en este estudio serán similares o mejores.

A pesar del incumplimiento de la Norma IRAM 11.605, las simulaciones de alternativas demuestran que las condiciones de confort en verano son mejores en el edificio de tapial que en edificios de ladrillo macizo, de bloque cerámico hueco o de construcciones livianas. Otro resultado importante es la evaluación comparativa de dos alternativas de techos. Aquí también la construcción no convencional del techo, que no cumple con la Norma IRAM 11.605, es más confortable que la construcción convencional que cumple con la norma. Estos resultados y conclusiones aportan evidencia para la evaluación y posible ajuste de dicha Norma.

Reconocimientos

Los autores agradecen al Secretario de Obras y Servicios Públicos de la Municipalidad de Florencio Varela, Arq. Tomas Vanrell, por el apoyo recibido y financiamiento de la obra realizada.

El presente trabajo se inscribe en el marco del proyecto de investigación UBACyT-A020 'Certificación de Edificios Sustentables y el Mecanismo del Desarrollo Limpio aplicado al sector edilicio', Programación Académica 2004-2007, del CIHE-FADU-UBA, y se reconoce el apoyo técnico de los laboratorios de la Universidad Tecnológica Nacional.

Referencias

- EVANS, J. M. *Construcción en tierra, aporte a la habitabilidad*, 1 seminario taller, Construcción en Tierra, FADU UBA, Buenos Aires, 2004.
- IRAM, Norma IRAM 11.603, *Zonificación Bioambiental de la República Argentina*, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires, 1998.
- IRAM, Norma IRAM 11.605, *Acondicionamiento térmico de edificios: condiciones de habitabilidad en viviendas, valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires, 1996.
- IRAM, Norma IRAM 11.605, *Acondicionamiento térmico de edificios: condiciones de habitabilidad en viviendas, valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires, 1996.
- PATRONE J. C. Y CABEZÓN M., *Tierra Estabilizada Apisonada en el Gran Buenos Aires*, 1er. Seminario Taller, Construcción con Tierra, FADU UBA, Buenos Aires, 2004.
- PATRONE J. C. *Gestión y Desarrollo en la Construcción de la Vivienda de Interés Social con empleo de suelo estabilizado*, Construcción con Tierra 1, FADU UBA, Buenos Aires, 2005

Bibliografía

- *MERRIL Antony F., *Casas de Tierra Apisonada y Suelo Cemento*. Windsor. Argentina 1949.
- *MINKE Gernot. *Manual de Construcción en Tierra*. Nordan Comunidad. Uruguay, 2001.
- *EVANS, J. M. y de SCHILLER, Silvia *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*, Ediciones FADU - Argentina 1994
- *OLGYAY Victor *Arquitectura y Clima*, Editorial Gustavo Gili - España 1963
- *MARTINS NEVES Celia M., Rafael F. MELLACE. Publicación del 3er. Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra "La Tierra Cruda en la Construcción del Hábitat" Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina. 2004.
- *MARTINS NEVES Celia M. Publicación del 1er. Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra "Anais". Salvador Bahía Brasil. Sept., 2002.
- *BERRETTA Horacio, GATANI, Maria. *Ladrillos de Suelo Cemento*. Centro Experimental de la Vivienda Económica. Córdoba, Argentina
- *INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO. *Construcción con Suelo Cemento*. Publicación. Buenos Aires, Argentina, 1993.