

EVALUACIÓN TÉRMICA DE UNA VIVIENDA DE SUELO CEMENTO EN FLORENCIO VARELA

Juan Carlos Patrone¹, John Martin Evans²

Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de Buenos Aires (FADU UBA) Ciudad Universitaria, Pabellón III, 4° piso, Ciudad de Buenos Aires
Te. 011-4789-6274 e-mail: evansjmartin@gmail.com, arqpa@yahoo.es

RESUMEN: Se presenta el desarrollo de una investigación sobre tecnología constructiva en función de la vivienda de interés social, para contribuir con soluciones económicas y de baja complejidad tecnológica. La misma se orientó hacia muros monolíticos de suelo cemento compactado (tapial), por considerársela apropiada por su simplicidad, rapidez constructiva, características bioambientales, economía y facilidad de transferencia a mano de obra no especializada. Posteriormente se concretó la construcción de un prototipo de vivienda en Florencio Varela (2003 – 2005). Hacia finales del 2005 se iniciaron mediciones térmicas dentro del prototipo, desarrollando simulaciones numéricas con el programa Quick sobre la base de los registros obtenidos, verificando el cumplimiento de las Normas IRAM de aislación Térmica. El objetivo es proporcionar evidencia sobre el comportamiento térmico de edificios de suelo cemento a fin de lograr la Certificación de Aptitud Técnica verificando el cumplimiento de las Normas Mínimas de Habitabilidad de la Subsecretaría de Vivienda de la Nación.

Palabras clave: Vivienda de interés social, Edificación sustentable, Suelo cemento, Tapial, Comportamiento térmica

INTRODUCCION

A partir de la construcción de un prototipo de vivienda de interés social situado en Florencio Varela, Provincia de Buenos Aires, producto de una investigación orientada hacia la construcción con materiales sustentables: muro monolítico con suelo cemento compactado (tapial), iniciada por el Arq. Juan C. Patrone en el 2001 y por su vinculación con el Centro de Investigación de Hábitat y Energía de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires, al concluirse el prototipo, como estaba previsto, se iniciaron las mediciones y evaluaciones térmicas orientadas a futuras certificaciones (Patrone, 2005).



Figura 1: Vista del prototipo construido en Florencio Varela

El prototipo, Figura 1, de 36 m² de superficie construido con muros portantes (tapial) de suelo cemento compactado (Merril, 1949) de 20 cm de espesor, consta de un dormitorio, baño y cocina comedor, con pisos y contra-pisos 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 la capa aislante del techo de las habitaciones en el resto de la vivienda de poliestireno expandido de 4 cm de espesor. La conformación del techo es de tirantería de madera sobre la que apoya un entablado de madera machihembrado, aislamiento hidrófugo, el aislamiento térmico descrito y chapa galvanizada. El mismo se materializó sobre un solar propiedad del Municipio de Florencio Varela con mano de obra provista por el Plan Trabajar y financiación del Municipio (Patrone y Cabezón, 2004).

¹ Investigador CIHE-FADU-UBA

² Director CIHE-FADU-UBA

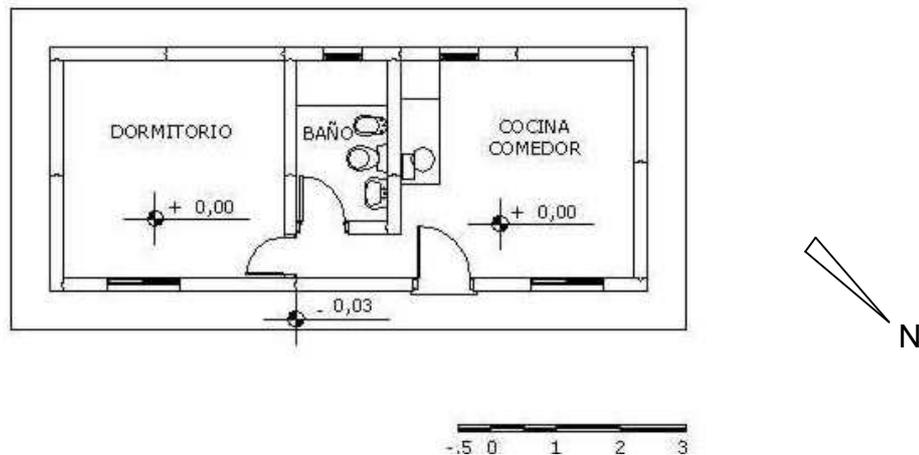


Figura 2: Planta del prototipo de Florencio Varela

METODOLOGÍA

Se realizaron mediciones con registradores automáticos de temperatura minidataloggers modelo HOBO en verano e invierno, durante los meses de diciembre de 2005 - enero de 2006 y mayo - julio de 2006. Las mediciones realizadas fueron comparadas con simulaciones numéricas realizadas con el programa Quick, a fin de evaluar su comportamiento térmico y verificar el cumplimiento de las Normas IRAM de Aislamiento Térmico de Edificios.

El programa Quick fue desarrollado en Sur África para situaciones con acondicionamiento natural con climas similares a la Provincia de Buenos Aires. Los resultados de la comparación entre mediciones y simulaciones 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 de ensayo.

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 el cumplimiento de Nivel C para vivienda de interés social. La versión anterior de la Norma IRAM 11.605 (1996) 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.

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.

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

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

DESARROLLO

Las paredes de tierra estabilizada compactada o tapial tienen una densidad estimada de 1900 kg/m³, una conductividad de 0,9 W/mK y un espesor de 20 cm. Según un estudio de sus características térmicas (Evans, 2004) y las indicaciones de la Norma IRAM 11.601 (1996), la transmitancia térmica estimada de esta construcción es 1,90 Watts/m²K, valor que no cumple con la Norma 11.605 (1996). 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.

La vivienda se encuentra desocupada, se abre durante la mañana de lunes a viernes, dejando la puerta abierta para el ingreso de luz para permitir la elaboración de prototipos de baldosas que se producen para una investigación de pisos de suelo cemento.

Referencia	Ubicación	Comentarios
S	Exterior	Bajo un árbol para evitar el impacto de sol directo
D	Techo dormitorio	En contacto con la sup. interior del techo
F	Techo cocina	En contacto con la sup. interior del 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

Los registradores de temperatura minidataloggers modelo HOBO fueron colocados en las ubicaciones indicadas en la Tabla 2 y la Figura 2.

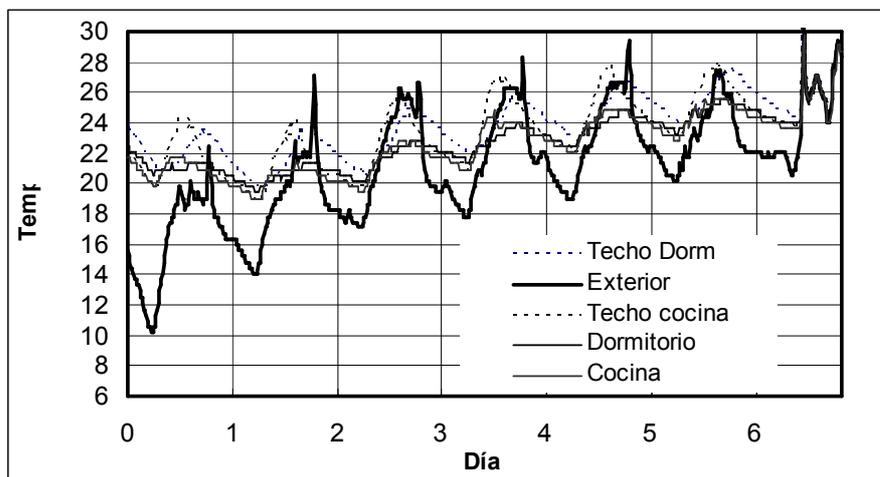


Figura 3: Indica las temperaturas, registradas cada 15 minutos durante un periodo de 6 días de verano en el módulo experimental, realizadas en una serie de días con temperatura ascendente y variaciones similares en cada día, con una diferencia de temperatura entre máximo y mínimo diario de 9°C y máximos que alcanzan 26,5°C.

MEDICIONES EN VERANO

El periodo de mediciones de verano fue del 10 al 16 de diciembre de 2005, con mediciones de temperatura cada 15 minutos, y 96 registros cada 24 horas, Figura 3.

A fin de visualizar el comportamiento térmico y reducir el impacto aleatorio de periodos de nubes u otras variaciones, 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, demostrando nuevamente el efecto favorable de la amortiguación.

La comparación de alternativas de techo merece un estudio especial, considerando que el módulo con el mismo material en los muros tiene distintas construcciones del techo: la cocina tiene techo de chapa ondulada exterior, cámara de aire levemente ventilada, aislación liviano de poliestireno expandido de 40 mm, y cielorraso de tablonces de madera de 12 mm, con una transmitancia térmica calculada de 0,50 y 0,53 W/m²K en verano y invierno respectivamente. Este valor cumple con la Norma IRAM 11.605 (1996).

El techo del dormitorio consta de chapa ondulada, cámara de aire levemente ventilada, capa de pasto seco compactado entre dos capas de barro, formando una capa aislante de 75 mm aproximadamente, cielorraso de madera de 12 mm. La transmitancia térmica calculada con el valor de la conductividad estimada solo alcanza 0,97 y 1,07 W/m²K en verano y invierno respectivamente. Este valor no cumple con la transmitancia máxima admisibles de Norma IRAM 11.605 (1996), Nivel C.

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 (1996). 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.

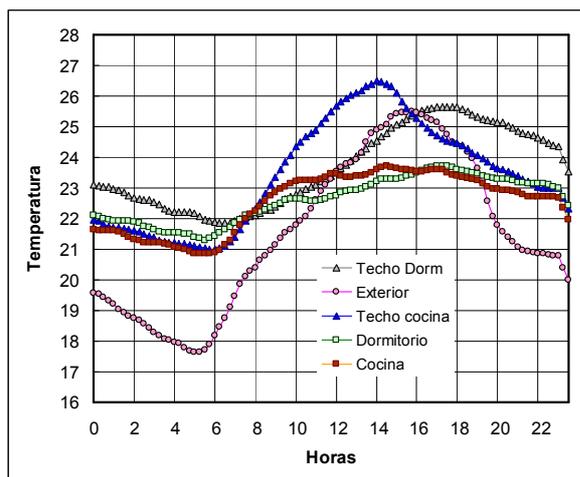


Figura 4. Temperaturas promedio registrados durante los seis días de medición en verano

MEDICIONES EN INVIERNO

El periodo de mediciones de invierno fue del 27 al 31 de mayo de 2006, con mediciones de temperatura cada 15 minutos, y 96 registros cada 24 horas, Figura 5.

A fin de visualizar el comportamiento térmico y reducir el impacto aleatorio de las variaciones diarias de temperatura, se realizó un gráfico con los promedios horarios de 5 días, Figura 5. 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.

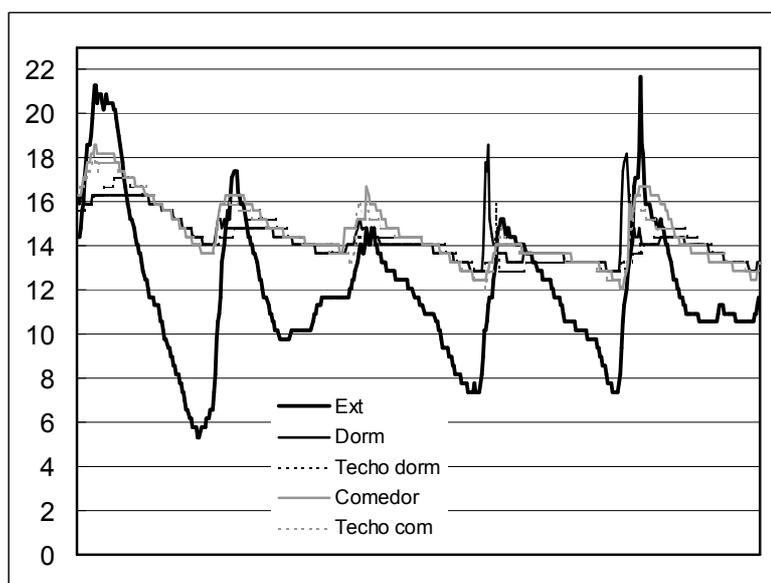


Figura 5: Indica las temperaturas, registradas cada 15 minutos durante un periodo de 5 días en el módulo experimental, realizadas en una serie de días con variaciones similares, con una amplitud térmica o diferencia de temperatura entre máximo y mínimo diario de 7°C y máximos que alcanzan 21°C.

La temperatura pico interior fue 16,3° C muy similar a la temperatura pico del aire exterior. La temperatura mínima a la noche fue 13,5° y 13,7° C en el dormitorio y la cocina respectivamente, comparada con una temperatura mínima exterior de 9,5° C, demostrando nuevamente el efecto favorable de la amortiguación y la capacidad de almacenar calor de la radiación solar durante el día. La figura 5 indica un aumento abrupto de la temperatura interior alcanzando picos de 18° C, debido al ingreso de radiación solar por la puerta.

En esta estación, la comparación de alternativas de techo también merece estudio. La temperatura interior del techo del comedor con aislante convencional de poliestireno expandido alcanza un valor máximo de 16,4°C y una mínima de 13,4°C. mientras el techo no convencional que no cumple con la norma IRAM 11.605, Nivel C, tiene un máximo de 15,3 y un mínima 14°C.

Así el techo no convencional con una variación de temperatura de solamente 1,5°C ofrece mayor confort a la noche, comparado con el techo convencional con una variación de 3°C. En invierno, el techo de construcción no convencional que

no cumple con la Norma IRAM 11.605, Nivel C, es más confortable que un techo convencional con materiales aislantes livianos, especialmente en las horas nocturnas.

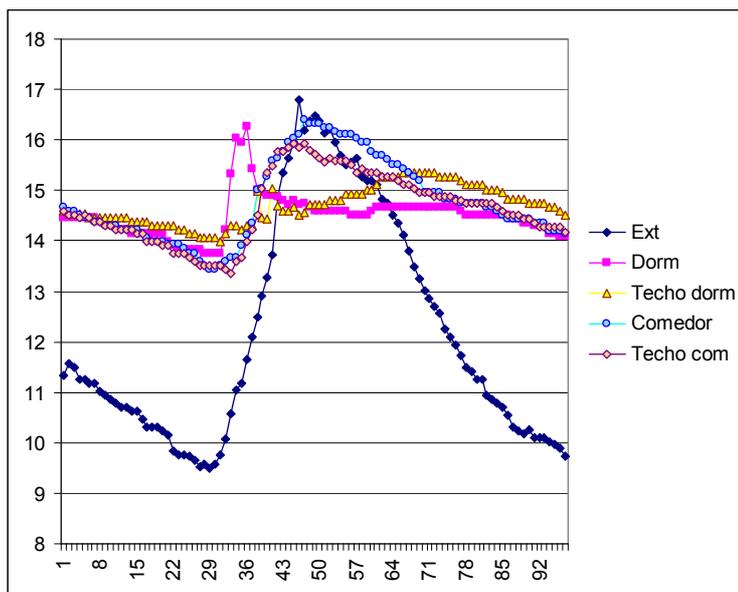


Figura 6: Indica las temperaturas medias registradas cada 15 minutos durante de un periodo de 5 días en invierno, registradas en el módulo experimental.

SIMULACIONES

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 7 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.

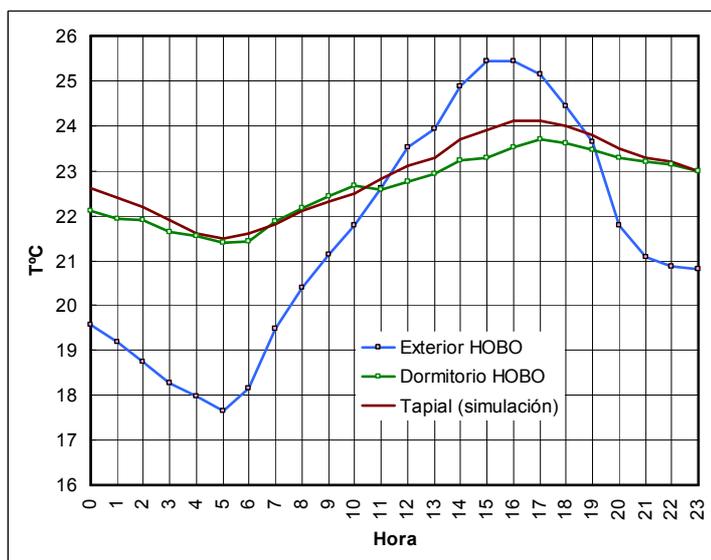


Figura 7. Comparación entre temperaturas interiores registrados en el dormitorio con HOBO y temperatura interior obtenida con un programa de simulación numérica

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.

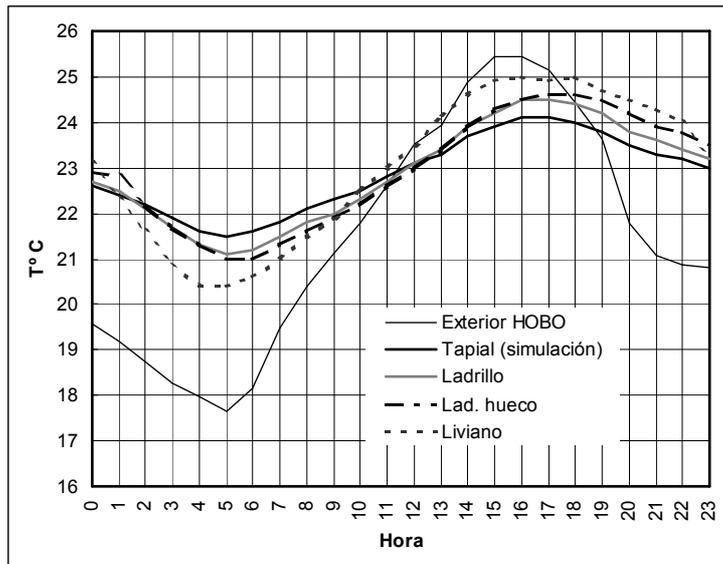


Figura 6. Temperaturas interiores con distintas construcciones.

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 más claramente la variación en el comportamiento térmico de alternativas en régimen periódico. El mismo gráfico indica el triángulo de confort donde la combinación de temperatura promedio y la amplitud térmica estén adentro de límites favorables para confort térmico para actividades sedentarias.

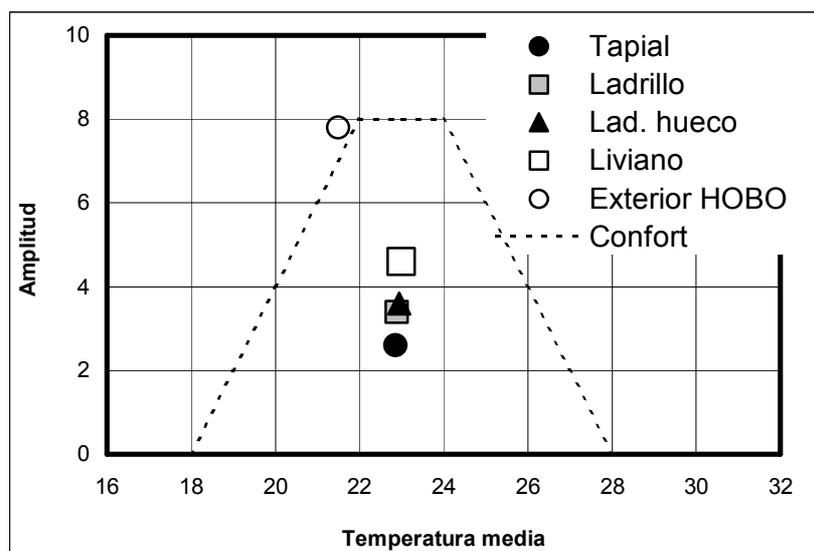


Figura 7. Condiciones simuladas de la temperatura interior y exterior de temperaturas en el módulo.

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 durante los periodos de medición en verano e invierno. A pesar de la alta transmitancia térmica de construcción con tapial, los resultados de invierno fueron favorables, aunque no se considera recomendable la construcción con tapial 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 (1996), Nivel C, 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 (1996), Nivel C, 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.

Si bien la tecnología de construcción en tierra tiene una larga historia, todavía tiene el potencial de ofrecer soluciones a los problemas habitacionales actuales. El uso de la simulación numérica y la medición de su comportamiento térmico con instrumental moderno puede demostrar y verificar sus aptitudes bioambientales.

RECONOCIMIENTOS

Secciones de este trabajo fueron desarrolladas en el marco del proyecto de Investigación UBACyT A-020 "Certificación de edificios sustentables", Programación Académica 2004-2007 de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires.

Especial agradecimiento al Arq. Tomás E. Vanrell Secretario de Obras y Servicios Públicos de la Municipalidad de Florencio Varela por el aval brindado a esta Investigación..

REFERENCIAS:

- Evans, J. M. (2004) *Construcción en tierra, aporte a la habitabilidad*, 1 Seminario Taller, Construcción en Tierra, FADU UBA, Buenos Aires.
- IRAM, Norma IRAM 11,601, (1996) *Acondicionamiento térmico de edificios: métodos de cálculo*. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM, Norma IRAM 11.603, (1998) *Zonificación Bioambiental de la República Argentina*, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM, Norma IRAM 11.605, (1996) *Acondicionamiento térmico de edificios: condiciones de habitabilidad en viviendas, valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires,.
- Patrone J. C. Y Cabezón M, (2004) *Tierra Estabilizada Apisonada en el Gran Buenos Aires*, 1er. Seminario Taller, Construcción con Tierra, FADU UBA, Buenos Aires.
- Patrone J. C. (2005) *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.
- Merril A. F.(1949) *Casas de Tierra Apisonada y Suelo Cemento*. Windsor. Argentina.

ABSTRACT

THERMAL EVALUATION OF A SOIL CEMENT HOUSE IN FLORENCIO VARELA

This paper presents the development of a research project for social housing, contributing economically and technologically simple solutions to appropriate construction requirements. It aims at the development of solid walls of monolithic rammed soil-cement, considered as an appropriate, simple, economic, rapid construction method with interesting bioclimatic characteristics and possibilities of transfer with non-specialized labour. As a result, a prototype house was constructed in Florencio Varela (2003-2005). At the end of 2005, measurements of the buildings thermal performance were started, and numerical simulations with the Program Quick were developed using the data obtained in order to verify the compliance with the IRAM Standards of thermal insulation. The aim is to supply evidence of the thermal performance of soil cement buildings in order to achieve a Certificate of Technical Acceptance and verify compliance with the Minimum Housing Standards of the Sub-Secretary of State for Housing.

Key words: Low cost housing, Sustainable building, Soil cement, Thermal performance