



EVALUACIÓN TÉRMICA DE UNA VIVIENDA DE SUELO CEMENTO COMPARADA CON OTRAS SIMILARES DE DISTINTOS MATERIALES

Juan Carlos Patrone¹, John Martin Evans²

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

Ciudad Universitaria, Pabellón III, 4º piso, (1428) Ciudad de Buenos Aires.

(1) Tel.: (5411) 42531651 arqpa@yahoo.es

(2) Tel: (5411) 47919310 evansjmartin@gmail.com

Palabras clave: vivienda de interés social, suelo cemento, comportamiento térmico

RESUMEN

Este trabajo analiza las características térmicas de un prototipo de vivienda de interés social construida en 2004 – 2005 en Florencio Varela, Provincia de Buenos Aires, con tapial, muros monolíticos de suelo cemento compactado, comparando la misma con otras viviendas construidas también en otros sitios del Gran Buenos Aires de clima templado cálido costero, con diversos materiales que fueron evaluadas en trabajos anteriores. El objetivo es comparar una vivienda construida con muros de suelo cemento de gran inercia térmica con otras alternativa, una vivienda construida con materiales convencionales, otra con un sistema industrializado de nueva tecnología y una de construcción liviana de madera y chapa galvanizada, estableciendo una metodología de simulaciones y evaluaciones térmicas a fin de evaluar estrategias de diseño bioambientales para mejorar el confort en las viviendas de interés social con soluciones económicas y de baja complejidad tecnológica. Se registraron mediciones de las condiciones térmicas en las viviendas, con registradores automáticos de temperatura minidataloggers, y se analizó el cumplimiento de las Normas IRAM de Aislamiento Térmico de Edificios, para lo cual se utilizaron características térmicas estimadas en base a las densidades de tierra compactada y suelo cemento, estudiadas en un trabajo previo, los resultados obtenidos fueron comparados con simulaciones numéricas realizadas con un programa de simulación de temperaturas interiores. Los resultados obtenidos a través de mediciones y simulaciones en la vivienda de tapial indican buenas condiciones de confort con potencial para solucionar problemas habitacionales.

1. INTRODUCCIÓN

Las bondades de las características térmicas de la construcción con tierra han sido estudiadas y desarrolladas por diversos autores destacando la capacidad térmica de los adobes, tapiales y bloques de tierra comprimida (BTC), la capacidad de producir retrasos térmicos, la baja conductividad térmica de adobes alivianados y las distintas combinaciones y conformaciones del material tierra para brindar mejores resultados en el confort en las construcciones de tierra (Minke, 2001), también dentro del marco de la sustentabilidad la utilización apropiada del material en función de maximizar el confort térmico y reducir el consumo energético (Evans, 2004).

Si bien son conocidas las facultades térmicas de la construcción con tierra la posibilidad de utilizar nuevas herramientas para realizar mediciones térmicas sobre construcciones existentes y simulaciones digitales para verificar y cuantificar resultados en la etapa de proyecto ofrece alternativas adecuadas para mejorar la producción del hábitat. Trabajos como los realizados en Chile sobre adobe proyectado (Sotta Benaprés, 2007), en San Juan, Argentina, sobre viviendas rurales de adobe (Blasco Lucas, 2006), en Florencio Varela, Argentina, sobre un prototipo de vivienda de suelo cemento (Patrone y Evans, 2005), entre otros, aportan resultados del comportamiento térmico de ejemplos construidos, para la optimización del confort en futuros proyectos de vivienda.

El objetivo de este trabajo es comparar una vivienda construida con muros de suelo cemento con otras construidas con distintos materiales dentro del Gran Buenos Aires: Una construida con materiales convencionales, otra con un sistema industrializado y una de construcción liviana de madera y chapa galvanizada; Estableciendo una metodología de simulaciones y evaluaciones térmicas a fin de evaluar estrategias de diseño bioambientales, que posibiliten mejorar el confort en viviendas de interés social con soluciones económicas y de baja complejidad tecnológica.

El trabajo reúne los resultados de otros anteriores sobre el comportamiento térmico de viviendas construidas con distintos materiales dentro del Gran Buenos Aires, región que se encuentra dentro de la zona bioambiental IIIb con clima templado cálido costero, con inviernos suaves con valores medios que rara vez llegan a 0° C y veranos con temperaturas medias que oscilan entre 20°C y 26°C (Norma IRAM 11.603, 1998).

Se realizaron mediciones con registradores automáticos de temperatura minidataloggers modelo HOBO en distintos períodos de invierno no coincidentes entre si de los distintos casos estudiados, se tomaron períodos de 5 días corridos, luego se promediaron en un solo día en cada caso y sobre estos promedios se realizaron las simulaciones.

2. VIVIENDAS ESTUDIADAS

El prototipo de vivienda de interés social construida en 2004-2005 en Florencio Varela, Provincia de Buenos Aires, con muros monolíticos de suelo cemento compactado, tapial de 20cm de espesor con piso de suelo cemento y techo de machihembrado de madera, aislación térmica (sándwich de barro y pasto) y chapa galvanizada (Patrone y Cabezón, 2004) (figura 1) sobre la cual durante 2006 se tomaron registros térmicos para estudiar su comportamiento y realizar comparaciones simuladas con otros materiales (Patrone y Evans, 2006), se estructura comparar los registros obtenidos, en otras investigaciones posteriores sobre viviendas construidas con materiales tradicionales y un sistema industrializado, para compararlas a través de simulaciones.

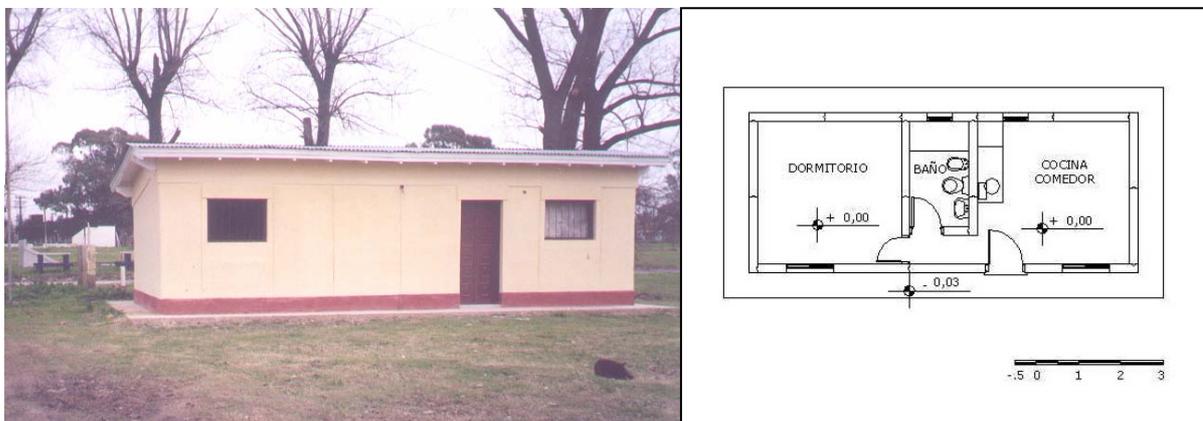


Figura 1 – Vivienda de Florencio Varela – planta y vista

Durante 2007 se obtuvieron registros en dos viviendas en el Barrio Puente Marques, Moreno, Prov. de Bs. As. dentro del marco de la investigación realizada por el CIHE, Centro de Investigación Habitat y Energía, de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, y el GEA, Grupo de Energía y Ambiente, de la Facultad de Ingeniería, ambos centros de la Universidad de Buenos Aires, con apoyo del Plan Viviendas por + Energía de EDENOR, compañía distribuidora de electricidad del Gran Buenos Aires (Patrone, Compagnoni y Donzelli, 2007).

Una construida con un sistema industrializado de muros y techos de paneles de poliestireno expandido revocados con concreto armado y pisos de alisado cementicio sobre contrapiso de cascotes, proyecto del arquitecto Carlos Levinton. La otra, un prototipo perteneciente a un plan municipal de autoconstrucción iniciado en el año 1980 y completado posteriormente por los ocupantes, sin el necesario asesoramiento técnico brindado en los primeras etapas del

proyecto, construida con muros de bloques de hormigón revocados en ambas caras, pisos de alisado cementicio sobre contrapiso de cascotes y techo de losa cerámica, con carpeta de compresión y cielorraso aplicado a la cal (figura 2).



Figura 2 – (a) Vivienda nueva – Arq. Carlos Levinton; (b) Autoconstruida de bloques de hormigón

La cuarta vivienda estudiada es una casilla de fin de semana en el balneario de Quilmes Prov. de Bs. As. hoy habitada permanentemente por una familia tipo, relevada con anterioridad y con registros térmicos tomados en 2008, esta construida con madera y chapa galvanizada sin aislamiento alguno es el ejemplo más precario respecto al confort; esta elevada sobre pilotes dejando sus seis caras expuestas a la intemperie, siendo el piso de tablonetes de madera de una pulgada de espesor, las paredes exteriores son de chapa galvanizada, cámara de aire de tres pulgadas y un revestimiento interior de cartón prensado (chapadur) de 5 mm de espesor. El techo es también de chapa sobre tirantería de madera entretecho y cielorraso de cartón prensado (Patrone, 2005) (figura 3).



Figura 3 – Vivienda en la rivera de Quilmes – planta y vista

De los registros tomados en distintos ambientes de las viviendas estudiadas, para este trabajo solo se tomaron los de un dormitorio en cada vivienda, colocando los Hobos a 1.50 m de altura con respecto al piso, además de los registros de la temperatura exterior correspondiente a cada una de ellas (tabla 1).

Tabla1 – Resumen viviendas

Vivienda	Dormitorios			
	Construcción	Área	Volumen	Orientación
Florencio Varela	Tapial S.C.	11,56 m ²	32,37 m ³	NE
Nueva Moreno	Industrializada	8,95 m ²	24,61 m ³	NO
Autoconstruida	Tradicional	10,14 m ²	27,88 m ³	SO
Rivera Quilmes	Liviana - Precaria	6,50 m ²	16,25 m ³	NE

3. METODOLOGÍA

Se realizaron mediciones con registradores automáticos de temperatura minidataloggers modelo HOBO en invierno, durante el mes de mayo de 2006 en Florencio Varela, en mayo de 2007, en la vivienda autoconstruida de Moreno, en julio de 2007, en la vivienda nueva (industrializada) en Moreno y en la vivienda de la rivera de Quilmes en Julio de 2008; con estos registros se seleccionaron 5 días corridos en cada caso, buscando tomar un lapso durante el cual las variaciones de temperatura fueran más regulares (figura 4).

Dado que los registros térmicos fueron efectuados en días, meses y años distintos, se adopta la técnica de simulaciones calibradas para comparar el comportamiento térmico de los módulos construidos. Con los registros de los 5 días corridos se promediaron en un día en cada caso, para equipararlos con simulaciones numéricas realizadas con el programa Quick, a fin de evaluar su comportamiento térmico.

El programa Quick fue desarrollado en Sur África (Mathews, sd), para situaciones con acondicionamiento natural con climas similares a la Provincia de Buenos Aires.

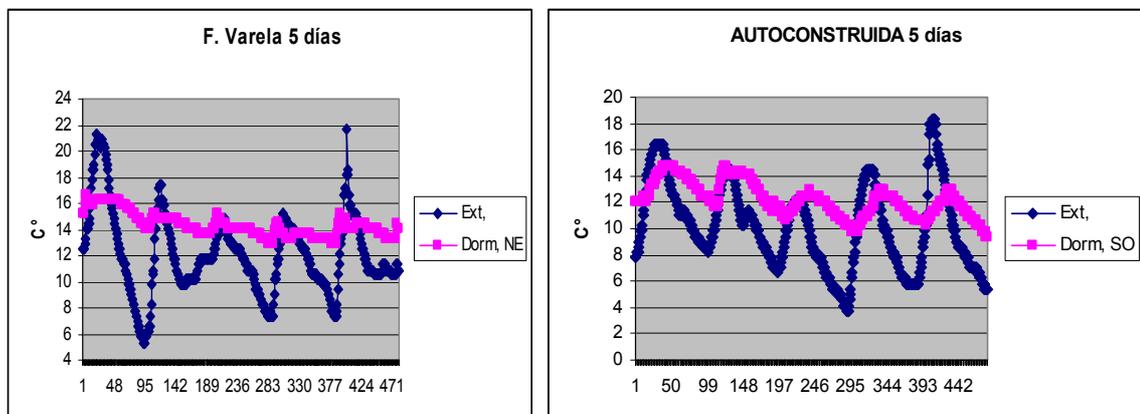
La Norma IRAM 11.605 (1996) indica la transmitancia térmica máxima admisible para invierno y verano, con tres niveles de calidad: A: Óptimo, B Normal, C Mínima. La Secretaría de Vivienda exige el cumplimiento de Nivel C para vivienda de interés social. La versión anterior de la Norma IRAM 11.605 (1996) 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 2 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 2 – Valores de K máximo admisible (W/m^2K) Nivel C, para muros y techos en verano e 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

La ocupación de las viviendas también es distinta, la de Florencio Varela se abre por la mañana permaneciendo la puerta abierta hasta el mediodía, la autoconstruida está habitada por una familia de cinco integrantes, si bien el dormitorio no lo usan, permanece conectado al restote la vivienda calefaccionada.



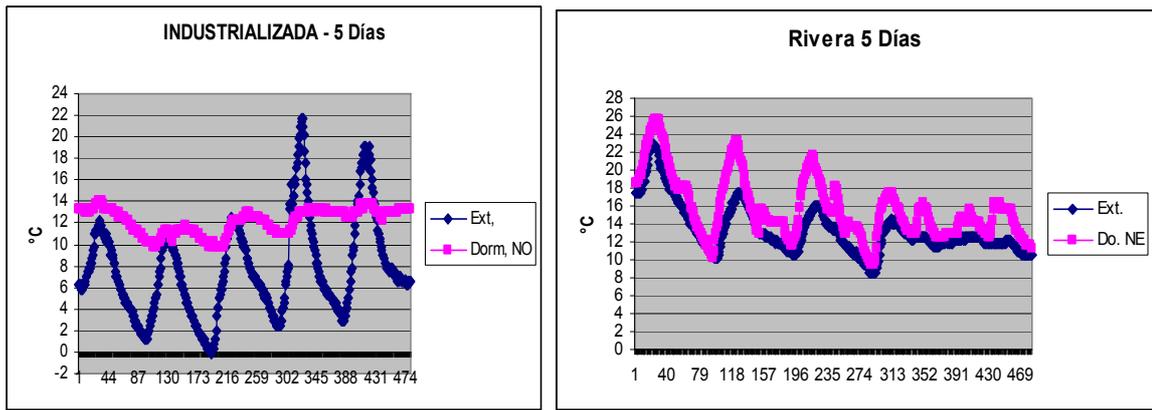


Figura 4 – Gráficos de registros durante 5 días cada 15 minutos en F. Varela, Autoconstruida y nueva en Moreno y en la ribera de Quilmes

La vivienda nueva estaba ocupada por un sereno que no usaba el dormitorio medido pero si calentaba la casa y la vivienda de Quilmes habitada por una familia de cuatro integrantes que calefaccionan al levantarse por la mañana y del atardecer hasta acostarse.

4. SIMULACIONES

Sobre los registros obtenidos en lapsos de 5 días se promedió un día en cada caso. Luego se compararon los resultados de una simulación numérica de cada módulo con los valores promediados de temperatura registrados con los HOBOS. La figura 5 indica esta comparación de los datos de temperatura simuladas y medidas.

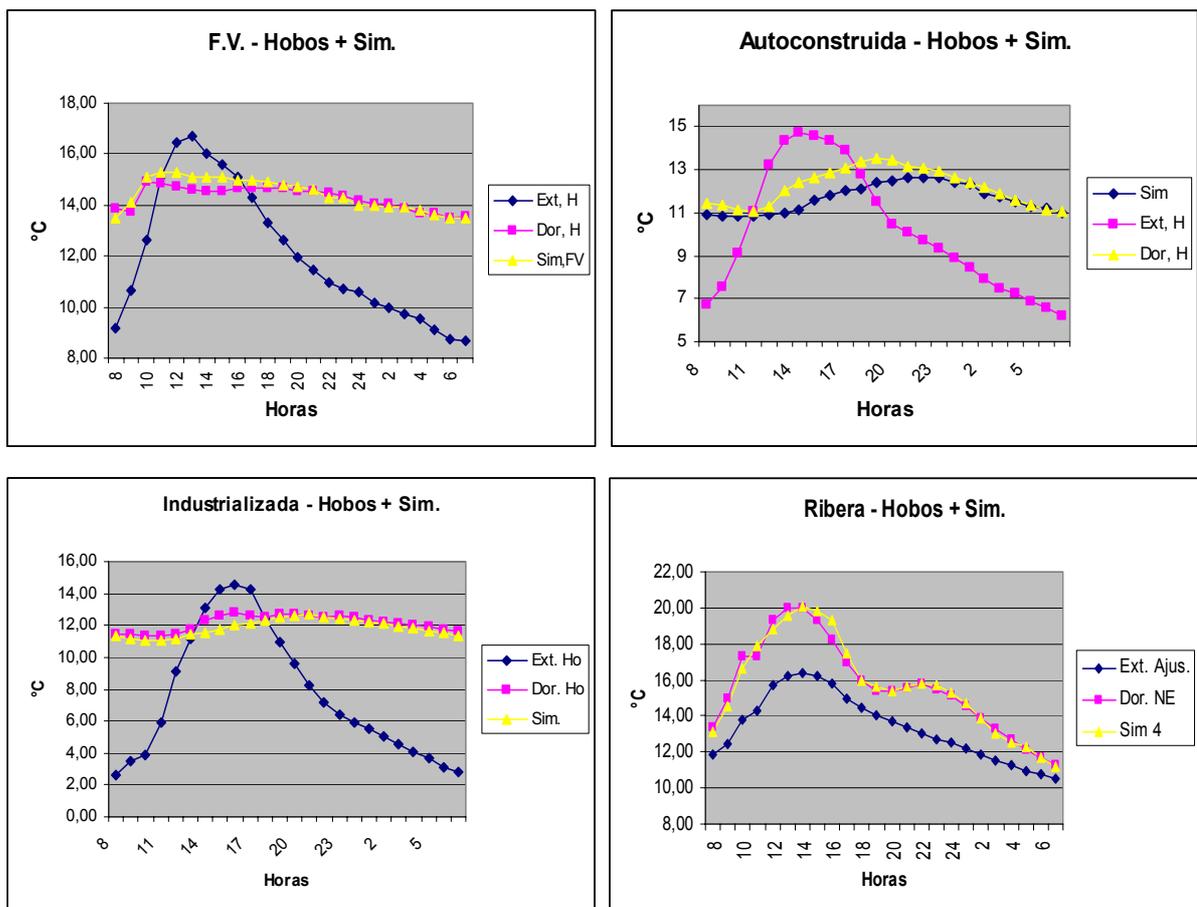


Figura 5 – Simulaciones - Comparación entre temperaturas interiores registradas con HOBOS y temperaturas interiores obtenidas con un programa de simulación numérica de las 4 viviendas.

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.

Los resultados de la comparación entre mediciones y simulaciones indican una variación máxima inferior a 0,5°C, en Florencio Varela, 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, en la vivienda industrializada en Moreno dio un poco mayor 0,9°C, en la autoconstruida de Moreno y en la de la ribera de Quilmes la variación dio 1°C, todavía una precisión adecuada para la realización de las simulaciones.

Los gráficos de la figura 5 también permiten establecer las siguientes características de los módulos:

- La vivienda de Florencio Varela registra: Amplitud térmica exterior de 8,03°C, amplitud térmica interior de 1,14°C, temperatura máxima exterior 16,71°C, ubicándose la máxima interior a 1,88°C, por debajo de la máxima exterior, la mínima exterior fue de 8,86°C, mientras la interior fue de 13,75°C mostrando el efecto favorable de la amortiguación y la capacidad de almacenar calor de la radiación solar durante el día, también indica un anticipo de la temperatura interior debido al ingreso de radiación solar.
- La vivienda industrializada tiene también un muy buen comportamiento térmico, registra: Amplitud térmica exterior de 11,89°C, amplitud térmica interior de 1,51°C, temperatura máxima exterior 14,54°C, ubicándose la máxima interior a 1,74°C por debajo de la máxima exterior, la mínima exterior fue de 2,66°C, mientras la interior fue de 11,3°C, nos esta indicando que el sistema tiene buen aislamiento e inercia térmica, se ve también un aumento de la temperatura interior cuando le exterior desciende, lo que indica el efecto de calefaccionar el resto de la casa.
- La autoconstruida registra: Amplitud térmica exterior de 8,16°C, amplitud térmica interior de 2,47°C, temperatura máxima exterior 14,75°C, ubicándose la máxima interior a 1,25°C por debajo de la máxima exterior, la mínima exterior fue de 6,69°C, mientras la interior fue de 11,03°C, aparentemente no es tan malo el comportamiento, pero observando la figura 4 vemos claramente una mayor amplitud térmica interior y efectos producidos por la calefacción de otros ambientes, distorsionan el retraso térmico producto de la orientación SO.
- El gráfico de la vivienda de la ribera registra: Amplitud térmica exterior de 5,89°C, amplitud térmica interior de 8,78°C, temperatura máxima exterior 16,39°C, ubicándose la máxima interior a 3,59°C por arriba de la máxima exterior, la mínima exterior fue de 10,5°C, mientras la interior fue de 11,2°C, muestra la deficiencia térmica de la vivienda, donde la amplitud térmica interior es 2,89°C mayor que la exterior y las mínima interior es solo 0,7°C superior a la exterior.

Observando la figura 4, vemos como la curva de temperaturas interiores se superpone a la del exterior marcando incrementos por la radiación solar de hasta 5,7°C respecto al registro máximo de temperatura exterior y coincidiendo las temperaturas mínimas del exterior con el interior. También se observan el adelantamiento térmico por la radiación solar y las distorsiones debidas a la calefacción de la vivienda, con incrementos en la curva de temperaturas interiores cuando la temperatura exterior esta descendiendo y como cae la misma curva interior cuando se interrumpe la calefacción hasta igualar la temperatura exterior.

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 $1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$, valor que no cumple con la Norma 11.605 (1996).

En la tabla 3 vemos las distintas alternativas constructivas de los módulos construidos y los valores de transmitancia térmica de las mismas y su cumplimiento con el Nivel C para Buenos Aires de la Norma IRAM 11.605 (1996)

Tabla 3 – Indica las alternativas constructivas de los módulos a comparar.

Construcción	Espesor (mm)	Capas constructivas	Transmitancia térmica $\text{W/m}^2\text{K}$
Tapial	200	Tierra estabilizada compactada.	1,9 (No cumple)
Bloque de Hormigón	220	Bloque hueco de hormigón 180 mm y revoque en ambos lados.	2,33 (No Cumple)
Industrializada	160	Poliestireno expandido de 80 mm revoque cementicio en ambos lados.	0.37 (Cumple)
Liviana	90	Chapa galvanizada exterior, cámara de aire, de 75 mm, cartón prensado interior.	2.71 (No Cumple)

El próximo paso es comparar las simulaciones obtenidas de los dormitorios de los módulos con el promedio de las temperaturas máximas exteriores y mínimas exteriores registradas en cada módulo incorporándolas como temperaturas máxima y mínima exterior en la planilla Excel e-día-1 (variación horaria de temperaturas exteriores) (Evans 2000) (figura 6).

La figura 6, nos muestra el comportamiento que tendría cada modulo en un día posible, en el cual estos tuviesen las mismas condiciones térmicas exteriores. Se observa que el módulo con mejor comportamiento es el de la vivienda industrializada, con una ampliación térmica de $0,6^\circ\text{C}$ y una máxima de $14,6^\circ\text{C}$, quedando a 1°C , por debajo de la máxima exterior, vale aclarar que es la única vivienda que cumple con el Nivel C de la Norma IRAM 11.605 (1996) para Buenos Aires y que al tomarse las mediciones térmicas, la casa estaba habitada por un sereno, quien calefaccionaba otros ambientes de la misma aumentando la temperatura del dormitorio indirectamente. Continúa en orden decreciente el módulo de Florencio Varela con una máxima de $13,8^\circ\text{C}$, una amplitud de $1,7^\circ\text{C}$ y a $1,8^\circ\text{C}$ bajo la máxima exterior. Considerando que la vivienda de tapial, la única posibilidad de incrementar la temperatura interior es la radiación solar, ya que está realmente deshabitada, refleja un muy buen comportamiento térmico.

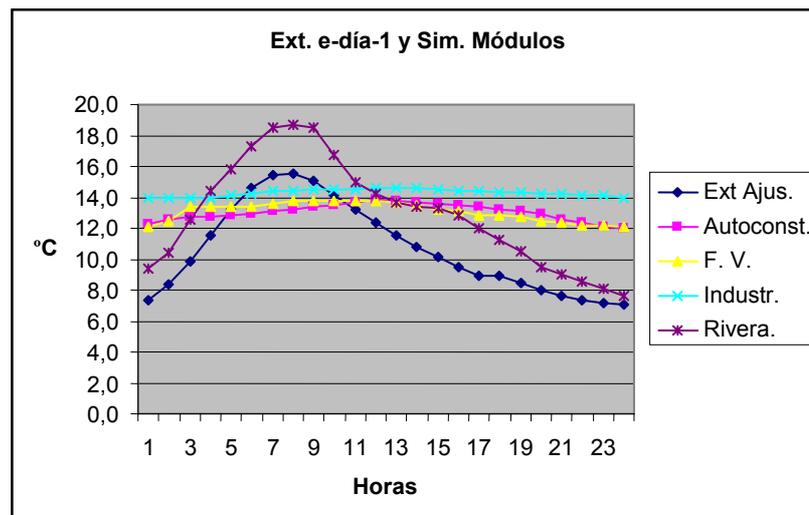


Figura 6 – Simulación - Temperaturas exteriores obtenidas con planilla Excel e-día-1 con simulaciones resultantes de cada módulo

Muy similar es el comportamiento del módulo de la vivienda autoconstruida con una amplitud térmica de 1,9°C, una temperatura máxima de 13,9°C, y a 1,7°C por debajo de la máxima exterior, también aquí influye el calentamiento indirecto que recibe del resto de la casa. Por último con notoria diferencia se ubica el módulo de la ribera de Quilmes con una máxima de 18,7°C, una amplitud de 11,1°C y a 3,1°C por encima de la máxima exterior, si bien es la única que alcanza la zona de confort en un corto período de dos horas, es notoria la deficiencia térmica de esta vivienda de construcción liviana y careciente de aislamiento térmico.

5. CONCLUSIONES

- Los resultados de las mediciones y simulaciones indican que las construcciones con buen aislamiento y gran inercia térmica ofrecen las mejores condiciones de confort en la región del Gran Buenos Aires durante los meses de invierno.
- Que la construcción con tapial aunque teniendo una transmitancia térmica alta, para la región del Gran Buenos Aires, los resultados en invierno son favorables, pero 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.
- El uso de la simulación numérica y la medición del comportamiento térmico con instrumental moderno en viviendas de interés social, puede demostrar y verificar aptitudes para un racional ahorro energético.
- La tecnología de construcción en tierra tiene el potencial de ofrecer soluciones bioambientales superadoras a la problemática actual del hábitat social.

BIBLIOGRAFÍA

- BLASCO LUCAS, I. A. (2006). Mediciones higrotérmicas y Lumínicas en Construcciones con Tierra. In: V Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra. Mendoza: INCHIUSA –CRYCYT.
- EVANS, J. M. (2000) e-día-1 Variación horaria de temperaturas exteriores - planilla Excel. Buenos Aires: CIHE-FADU-UBA.
- EVANS, J. M. (2004). Construcción en tierra, aporte a la habitabilidad, 1 Seminario Taller, Construcción en Tierra, Buenos Aires: FADU UBA.
- MATHEWS, E. H. Programa Quick, Centre for experimental and numerical thermo flow – University of Pretoria, Pretoria, Republic of South Africa
- MINKE, G. (2001). Manual de construcción en tierra. Montevideo: Nordan Comunidad.
- NORMA IRAM 11.601 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios: métodos de cálculo. Buenos Aires: Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- NORMA IRAM 11.603 (1998). Zonificación bioambiental de la República Argentina. Buenos Aires: Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- NORMA IRAM 11.605 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios: condiciones de habitabilidad en viviendas, valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Buenos Aires: Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- PATRONE J. C. (2005) Arquitectura en la Ribera de Quilmas. CIHE-FADU-UBA (En prensa)
- PATRONE J. C. (2005a) Gestión y desarrollo en la construcción de la vivienda de interés social con empleo de suelo estabilizado, Construcción con Tierra 1. Buenos Aires: FADU UBA.
- PATRONE, J. C.; CABEZÓN (2004). Tierra estabilizada apisonada en el gran Buenos Aires, 1er. Seminario Taller Construcción con Tierra. Buenos Aires: FADU UBA
- PATRONE, J. C.; COMPAGNONI; DONZELLI (2007). Mejoramiento ambiental y energético de viviendas cadenciadas - barrio Puente Marques, Partido de Moreno, In: II Seminario Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Hábitat Popular, Córdoba.

PATRONE, J. C.; EVANS, J. M. (2005). Evaluación térmica de una vivienda de suelo cemento comparada con simulaciones digitales. In: V Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra. Mendoza: INCHIUSA –CRYCYT.

SOTTA BENAPRÉS, F. (2008). El espesor del muro de adobe, optimización de sus facultades térmicas, Construcción con Tierra 3, Buenos Aires: FADU UBA.

RECONOCIMIENTOS

A las familias del barrio Puente Márquez por su colaboración

A la familia Lopardo de la ribera Quilmeña por su colaboración.

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

Este trabajo se inscribe en el proyecto Eficiencia Energética en el Hábitat Construido PAE N° 22559/BIT1728/OC-AR, dirigido por la Dr. Arq. Silvia de Schiller

Secciones de este trabajo fueron desarrolladas en el marco del proyecto de Investigación UBACyT A-020 "Certificación de edificios sustentables", Programación Académica 2004-2007, SECyT-UBA.

El equipamiento de medición fue adquirido con subsidios para investigación, de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires

AUTORES

Juan Carlos Patrone, Arquitecto, Investigador del Centro de Investigación Hábitat y Energía e Investigador del Programa ARCONTI de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, abocado a la construcción con tierra, Ha publicado artículos científicos y de divulgación en revistas con arbitraje y presentado numerosos trabajos en reuniones y eventos científicos Codirector de "terrabaires" y miembro de la Red PROTERRA.

John Martin Evans, Profesor Doctor Arquitecto, Profesor Titular de Arquitectura FADU-UBA desde 1984, e Investigador Senior sobre la problemática energético-ambiental en el hábitat construido, dirige el Centro de Investigación Hábitat y Energía, y el Laboratorio de Estudios Bioambientales, que estableció en la FADU-UBA en 1987, dicta cursos de grado y postgrado en universidades del país y el exterior, asesor en energías renovables y eficiencia energética en arquitectura.