

LA INCIDENCIA DE LOS USUARIOS EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VERANO DE UNA VIVIENDA EN EL NOROESTE ARGENTINO

Silvana Flores Larsen - seflores@unsa.edu.ar

INENCO – Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – Universidad Nacional de Salta – CONICET –
Avda. Bolivia 5150, (4400) Salta, Argentina

Celina Filippín - cfilippin@cpenet.com.ar

CONICET – CC302, Santa Rosa, 6300 (La Pampa) Argentina

Graciela Lesino – lesino@gmail.com

INENCO – Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – Universidad Nacional de Salta – CONICET –
Avda. Bolivia 5150, (4400) Salta, Argentina

Tema 5. Energía solar y ambiente construido

Resumen. *En este trabajo se analiza el efecto del comportamiento de los usuarios en la temperatura interior de una vivienda en la ciudad de Salta, en el noroeste de Argentina, mediante monitoreo experimental y simulación computacional, realizada mediante el software Energy Plus. En primer lugar se valida el modelo térmico de la vivienda con datos experimentales para luego analizar el comportamiento térmico de la misma bajo condiciones de uso y compararlo con el comportamiento térmico que hubiera presentado en caso de estar desocupada. Se encontraron diferencias significativas, de alrededor de 2.5°C en las temperaturas interiores de la vivienda, debidas principalmente al efecto de la ventilación nocturna.*

Palabras-clave: *Simulación térmica, Energy Plus, Eficiencia Energética.*

1. INTRODUCCIÓN

Es conocido que el comportamiento de los usuarios influye fuertemente en las condiciones térmicas interiores de los edificios y en el consumo de energía para acondicionamiento de los ambientes. En algunos casos esta influencia es positiva, como cuando se modifican las condiciones térmicas interiores para alcanzar el confort y al mismo tiempo se consigue disminuir el consumo energético, lo cual se logra a través de la utilización de técnicas pasivas de calefacción y enfriamiento. En otros casos, el patrón de uso y costumbres de los usuarios involucra un uso intensivo de dispositivos convencionales de calefacción y enfriamiento, con el consiguiente incremento de consumo de energía.

Los patrones de ocupación y consumo y el nivel de adaptabilidad de los usuarios al clima dependen de la localización geográfica, de patrones culturales, de posibilidad de acceso a los recursos energéticos, costo de la energía, y nivel de conciencia ambiental, entre otros muchos factores. Debido a que estos factores influyen fuertemente el consumo energético de una vivienda, en los últimos años se ha puesto mucho esfuerzo en determinar los patrones de consumo y ocupación “típicos” en varios países desarrollados (Nicol, 2001) y en vías de desarrollo (Bae y Chun, 2009; Filippín et al., 2005). Papakostas y Sotiropoulos (1997) estudiaron los patrones de ocupación y consumos energéticos de viviendas en Grecia, obteniendo un comportamiento “promedio” para familias griegas que pueden ser utilizados en modelos de consumo energético de edificios; Al-Mumin et al. (2003) estudiaron los patrones de ocupación y operación de equipos de aire acondicionado en Kuwait, encontrando que los ocupantes mantienen encendidos los equipos eléctricos (aire acondicionado, luces y ventiladores) la mayor parte del día, aunque los locales estén desocupados. Por otra parte, estudios similares realizados en viviendas tradicionales de Japón (Iwashita y Akasaka, 1997) encontraron que los ocupantes de estas viviendas consideran en su mayoría que el uso de aire acondicionado es perjudicial para la salud, por lo que prefieren la ventilación natural y restringen el uso de equipos mecánicos a momentos determinados del día. Schweiker y Shukuya (2009) desarrollaron tres modelos estadísticos basados en encuestas y mediciones, que permiten predecir el uso de aire acondicionado durante la noche para Japón. Kubota et al. (2009) estudiaron los patrones diurnos de ventilación utilizados en Malasia, sugiriendo que patrones nocturnos o en su defecto, diarios, serían más eficientes en el clima cálido húmedo de este país.

Es sabido que en los edificios sin acondicionamiento mecánico las condiciones ambientales interiores pueden variar más ampliamente sin afectar el confort térmico que en los edificios que utilizan acondicionamiento de aire (Baker y Standeven, 1996), debido a que sus ocupantes presentan comportamientos adaptativos importantes. En verano de climas calurosos, el uso de aire acondicionado para refrigeración es una de las causas de mayor incidencia en el consumo energético. La elección de la temperatura del termostato puede incidir notablemente en la disminución de dicho consumo. En el trabajo de Al-Mumin et al. (2003) sobre los patrones de ocupación y operación de equipos de aire

acondicionado en Kuwait, se concluye que pueden obtenerse disminuciones de hasta un 39% en el consumo eléctrico anual si los usuarios utilizaran simplemente aumentando la temperatura del termostato de 22 a 24°C.

La apertura de ventanas es uno de los medios de mayor uso para el control del ambiente interior de las viviendas en países en vías de desarrollo. Indraganti (2010) estudió el uso adaptativo de la ventilación natural para alcanzar el confort térmico en departamentos en India. Rijal et al. (2007) desarrollaron un método para simular, en edificios de oficinas, el efecto de la apertura de ventanas en el confort y uso de energía. Estudiaron un algoritmo adaptativo dependiente de las temperaturas exterior e interior para predecir cuándo es más probable que un usuario abra las ventanas. Sin embargo, Haldi y Robinson (2008) argumentan que este modelo puede causar más errores que beneficios debido a la estrecha relación entre las temperaturas interiores y exteriores especialmente en edificios con ventilación natural. Young et al. (2009) estudiaron el rol del comportamiento en relación a la ventilación natural y sus efectos en la performance térmica de edificios ventilados naturalmente, utilizando un algoritmo de comportamiento y los métodos probabilísticos de MonteCarlo y Markov. Herkel et al. (2008) estudiaron un modelo para predecir el comportamiento respecto de la apertura manual de ventanas en edificios de oficinas en Alemania.

La influencia del comportamiento de los ocupantes en la ventilación de verano ha sido estudiada también por Iwashita y Akasaka (1997) mediante el método de trazas de gas en 8 viviendas, encontrando que existen grandes diferencias, de hasta un 87%, en la ventilación de una vivienda, causadas por el comportamiento de sus ocupantes.

En este trabajo se analiza el efecto del comportamiento de los usuarios en la temperatura interior de verano de una vivienda ubicada en la ciudad de Salta, en la región noroeste de Argentina, en un clima cálido-seco. En esta vivienda, sus ocupantes utilizaron ventilación cruzada y, en menor medida, acondicionamiento mediante equipos de refrigeración convencionales. En el estudio se realizaron tanto mediciones experimentales como simulación computacional, para un mes de verano de 2010. En primer lugar se analizan los resultados del monitoreo de la vivienda en un periodo desocupado, a fin de comprender su comportamiento térmico. A continuación se realiza un ajuste de los datos monitoreados mediante simulación computacional. Una vez validado el modelo térmico de la vivienda, se simula el comportamiento de la misma para un nuevo periodo, suponiendo que la misma sigue desocupada, a fin de compararla con los datos reales bajo condiciones de uso y obtener conclusiones acerca del efecto de los ocupantes en la temperatura interior del edificio durante los meses más calurosos del verano. Para la simulación computacional en estrado transitorio se utilizó el software Energy Plus (apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/). Dicho software es gratuito ha sido desarrollado en el LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory) y es actualmente el programa oficial utilizado por el Departamento de Energía de USA para simulación de edificios.

2. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA, EMPLAZAMIENTO Y CLIMA

La ciudad de Salta está localizada a 24.8° latitud Sur, 65.5° longitud Oeste y 1182m snm, en la zona noroeste de Argentina. El clima es subtropical con estación seca, correspondiente a la zona bioambiental IIIa (Norma IRAM 11603), con temperaturas máxima media, media y mínima media en verano de 17°C, 21°C y 28°C e irradiación solar sobre superficie horizontal de 22MJ/m². Las temperaturas máximas en verano suelen superar los 30°C, con máximas absolutas de 37°C. La residencia a estudiar está ubicada en un barrio elevado aproximadamente 100m respecto de la ciudad de Salta, en una zona residencial. Es una vivienda para cuatro personas de clase media, construida con materiales standard de buena calidad. Cuenta con una superficie cubierta de 180m² distribuida en dos plantas: en planta baja una cocina-comedor, living, playroom, sanitario y galería. En la planta alta cuenta con dos dormitorios (este y oeste), escritorio, dos baños y un vestidor. El dormitorio Este y el escritorio están ubicados hacia la calle, mientras que el dormitorio oeste está ubicado hacia el jardín trasero. Ambos laterales de la vivienda están sombreados por casas linderas, también de dos plantas. Las Figuras 1 y 2 muestran planta y corte de la vivienda y vistas de la fachada y contrafachada. En la Tabla 1 se volcaron algunos datos dimensionales de la vivienda.

La envolvente de la residencia es de ladrillo visto macizo de 30cm de espesor, con revoque interior. El living es un espacio a doble altura, con techo de madera, 2.5cm de aislación y teja francesa. Los dormitorios poseen techos de madera con 5cm de aislación y teja francesa. El techo del resto de los locales es una losa plana con carpeta de hormigón y membrana aluminizada, sin aislación térmica. La carpintería es de madera de doble contacto, con burletes autoadhesivos, excepto las aberturas de la galería que son de aluminio. Las ventanas y aberturas tienen vidrio simple de 3mm de espesor, excepto las ventanas del escritorio y del dormitorio oeste que tienen doble vidriado hermético (4mm + 6mm + 4mm). Los dormitorios Este y Oeste cuentan con puertas-ventanas con vidrio simple y postigón de madera. Todas las ventanas cuentan con cortinas interiores de tela para oscurecimiento. La vivienda cuenta con un garage semicubierto que proporciona sombra y abrigo del viento a los muros Norte y Este del living.

En cuanto a equipos mecánicos de acondicionamiento, la vivienda cuenta con tres aires acondicionados frío/calor tipo splits, todos ubicados en la planta alta (dormitorio Este: 3300 frigorías; dormitorio Oeste: 2250 frigorías; escritorio: 3500 frigorías). Para verano se utilizan los termostatos en 24°C. El uso de los equipos es intermitente, normalmente una a dos horas de acuerdo a la ocupación (de 14 a 16 en el dormitorio Oeste, de 16 a 18 en el escritorio y prácticamente nulo en el dormitorio Este en donde duermen niños pequeños). Durante el periodo estudiado se realizaron relevamientos detallados del horario de encendido y apagado de los equipos.

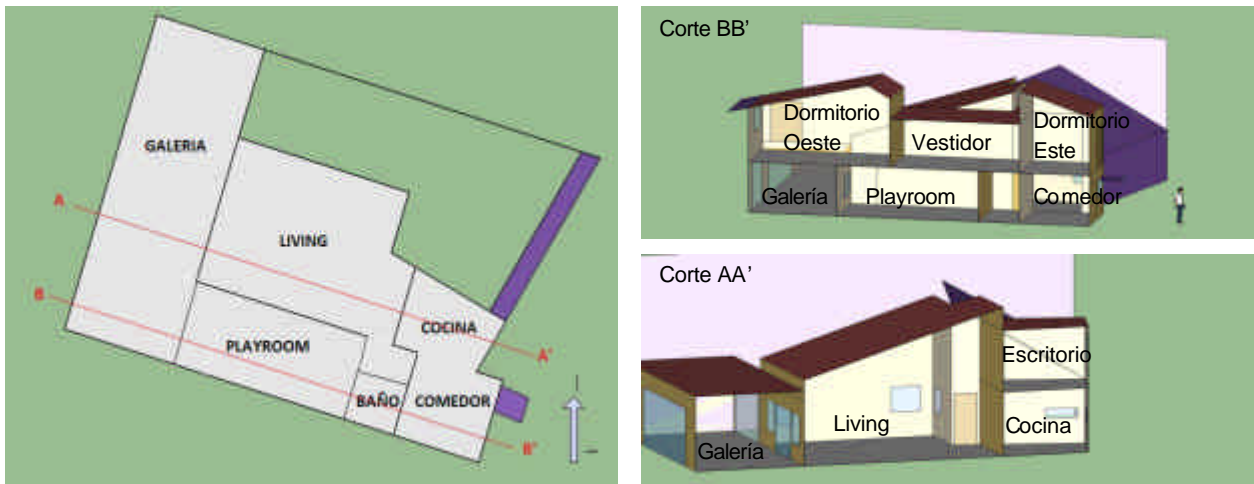


Figura 1 - Planta y cortes AA' y BB' de la vivienda.



Figura 2 - Fachada y contrafachada de la vivienda.

Tabla 1. Área de piso, envolvente y volumen de las zonas térmicas de la vivienda.

Zona	Área de piso (m ²)	Volumen (m ³)	Área de envolvente (m ²)	Área de ganancia solar directa (m ²)
Cocina-comedor	18	45	33	1.3
Living	37	155	94	2.6
Playroom	20	49	16	0
Sanitario	6	14	10	0
Galería	47	132	100	21.7
PLANTA BAJA	122	382	242	25.6
Dormitorio Oeste	20	67	73	2.6
Vestidor	18	43	33	0
Dormitorio Este	10	34	41	0.8
Escritorio	8	20	22	0.8
PLANTA ALTA	56	164	170	4.2

3. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VERANO EN PERIODO DESOCUPADO

3.1. Monitoreo experimental

La vivienda se monitoreó durante el verano, en el periodo comprendido entre el 7 de enero y el 16 de febrero de 2010. Se utilizaron dataloggers HOBO U8 y U12 (001 y 011) de temperatura y humedad relativa que se ubicaron en cada una de las habitaciones de la vivienda y en el exterior. En el living se colocaron dos sensores a distinta altura (a 1.50m y a 2.65m sobre el suelo) y luego se promediaron para obtener la temperatura representativa de este ambiente. El monitoreo se realizó a intervalos de 15 minutos. Además se realizó un relevamiento de las horas de encendido y

apagado de los equipos de aire acondicionado durante el periodo de monitoreo, como así también el horario de apertura de puertas y ventanas para ventilación.

La residencia se cerró durante dos semanas, del 16 al 29 de enero de 2010, debido a que los ocupantes viajaron por las vacaciones de verano. Todas las puertas, ventanas, postigones y cortinas estuvieron cerrados y los equipos de aire acondicionado apagados. El único local con ganancia solar directa sin protección fue la galería, que no cuenta con elementos de sombreado. Para el análisis se seleccionó el periodo comprendido entre el 20 y el 26 de enero, de forma que existen cinco días previos para asegurar que las temperaturas interiores en la vivienda evolucionan debido exclusivamente a las condiciones climáticas y que se eliminó cualquier variación de temperatura interior producida por el accionar de los habitantes.

Los resultados del monitoreo se pueden analizar en las Figuras 3 y 4. El periodo de monitoreo presenta temperaturas ambiente exteriores entre 18 y 35°C, con una media de 25.2°C. Es un periodo de cielos claros con alguna nubosidad durante las horas de la tarde. La irradiación solar sobre superficie horizontal al mediodía solar es del orden de 1000 W/m². La velocidad media de viento en el periodo fue de 2.7m/s con dirección predominante N-NE. Durante la noche los vientos fueron calmados, con una media de 1.1m/s, excepto la noche del 24 de enero y madrugada del 25, en que la velocidad media alcanzó los 5.4m/s. Durante las horas diurnas la velocidad media de viento fue del orden de 3.5m/s.

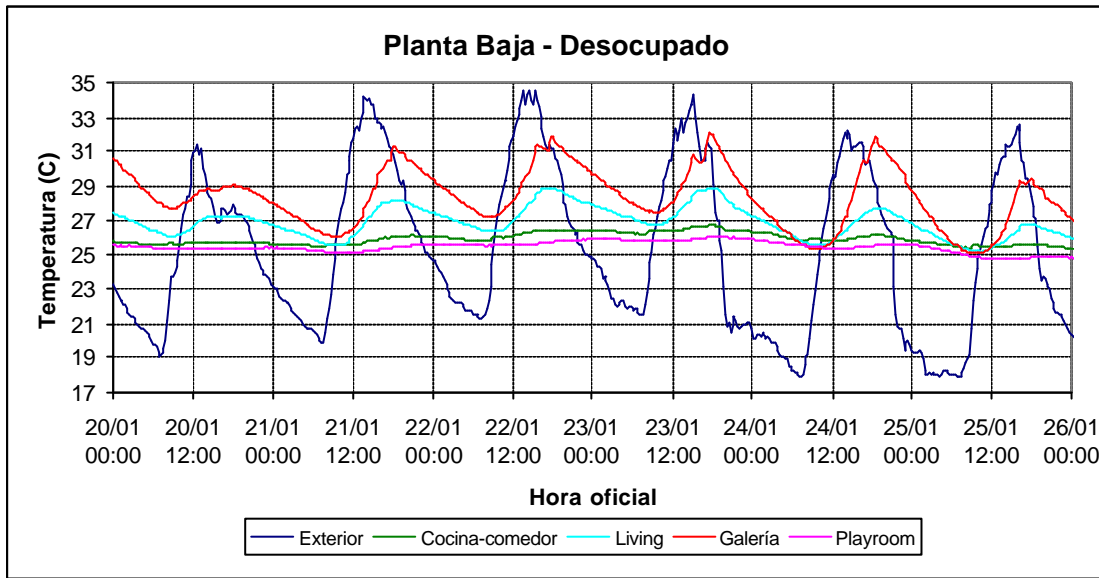


Figura 3 - Temperatura ambiente exterior y temperaturas interiores de la planta baja, monitoreadas entre el 20 y 26 de enero de 2010 con la vivienda desocupada.

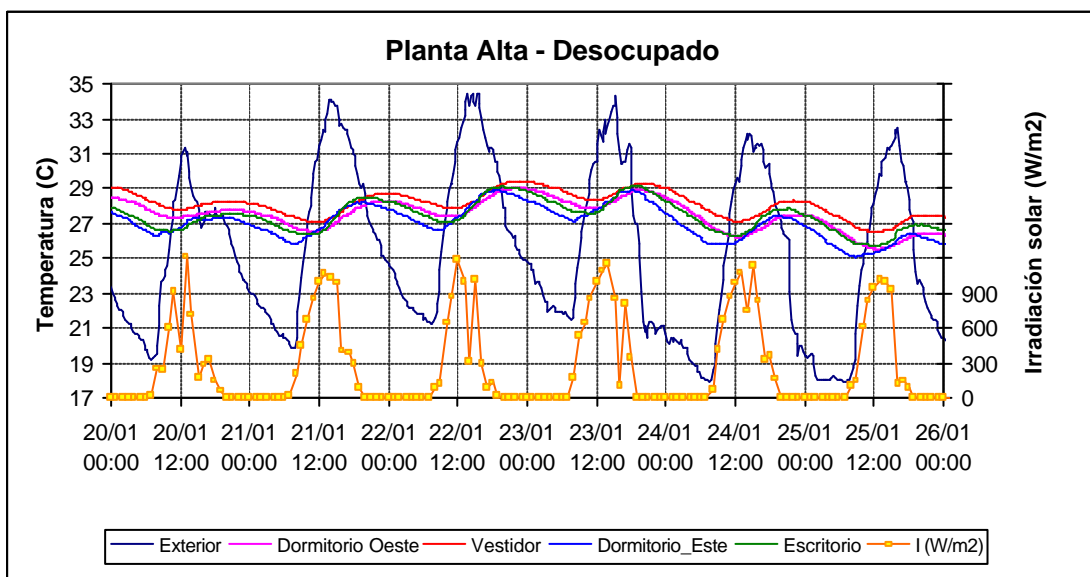


Figura 4 - Temperatura ambiente exterior, irradiación solar sobre superficie horizontal y temperaturas interiores de la planta alta, monitoreadas entre el 20 y 26 de enero de 2010 con la vivienda desocupada.

En el interior de la vivienda, las temperaturas interiores y las amplitudes térmicas fueron más altas en la galería y el living. La galería oscila entre 25°C y 31°C, mientras que el living oscila entre 25°C y 29°C. En la galería, las altas temperaturas se deben principalmente a la ganancia solar directa proveniente de la gran área vidriada hacia el oeste (sin protección solar) y a que el techo de losa no tiene aislación térmica. En el living, se debe a la gran área de envolvente del living expuesta hacia el exterior con un coeficiente de absorción medio-alto (0.65 del ladrillo visto) y a la transferencia de calor por conducción desde la galería hacia el living a través del vidrio simple de las aberturas. La galería alcanza su temperatura máxima alrededor de las 19:00, que coincide con la hora a la que la temperatura exterior es similar a la de la galería. Esto significa que la galería debiera ventilarse recién a partir de las 19:00 y a lo sumo hasta las 10:00 de la mañana siguiente. El local con menor temperatura es el playroom, sin ganancia directa y sin área expuesta al exterior, debido a que linda con la residencia vecina. El resto de los locales de planta baja presentan muy bajas amplitudes térmicas y temperaturas entre 25 y 27°C, mientras que los locales de planta alta se ubican 2°C por encima, oscilando entre 27 y 29°C en los días de mayor temperatura exterior. La temperatura interior promedio de la vivienda fue de 27°C y nunca descendió de 25°C en ninguno de los locales monitoreados.

3.2. Simulación computacional mediante Energy Plus

Se utilizó este periodo para simular la vivienda, ajustando los datos medidos con los resultados de la simulación a fin de obtener un modelo térmico validado del edificio que sirviera para simulaciones posteriores bajo diferentes condiciones climáticas y de uso. La simulación térmica se realizó mediante el software EnergyPlus (versión 5.0 de abril de 2010), con las siguientes consideraciones:

- la vivienda se dividió en 9 zonas térmicas: Cocina (que incluye la cocina y el comedor), Living, Playroom, Sanitario y Galería; en la planta alta: Escritorio, Dormitorio Este, Vestidor (que incluye ambos baños y el pasillo central) y Dormitorio Oeste (ver Figura 1)
- se utilizaron datos meteorológicos monitoreados: temperatura exterior, velocidad y dirección de viento, humedad relativa, radiación global sobre superficie horizontal.
- la radiación normal al haz y la radiación difusa horaria sobre superficie horizontal (datos de ingreso obligatorio en Energy Plus) se calcularon separadamente, a partir de la radiación global horaria mediante el método de Liu Jordan y el modelo de Pérez (Duffie y Beckman, 1991).
- se consideró el sombreado de viviendas circundantes, árboles y aleros, los cuales fueron modelizados mediante la inclusión en EnergyPlus de superficies de sombreado.
- todos los locales se simularon mediante un nodo aire que representa la temperatura del volumen.

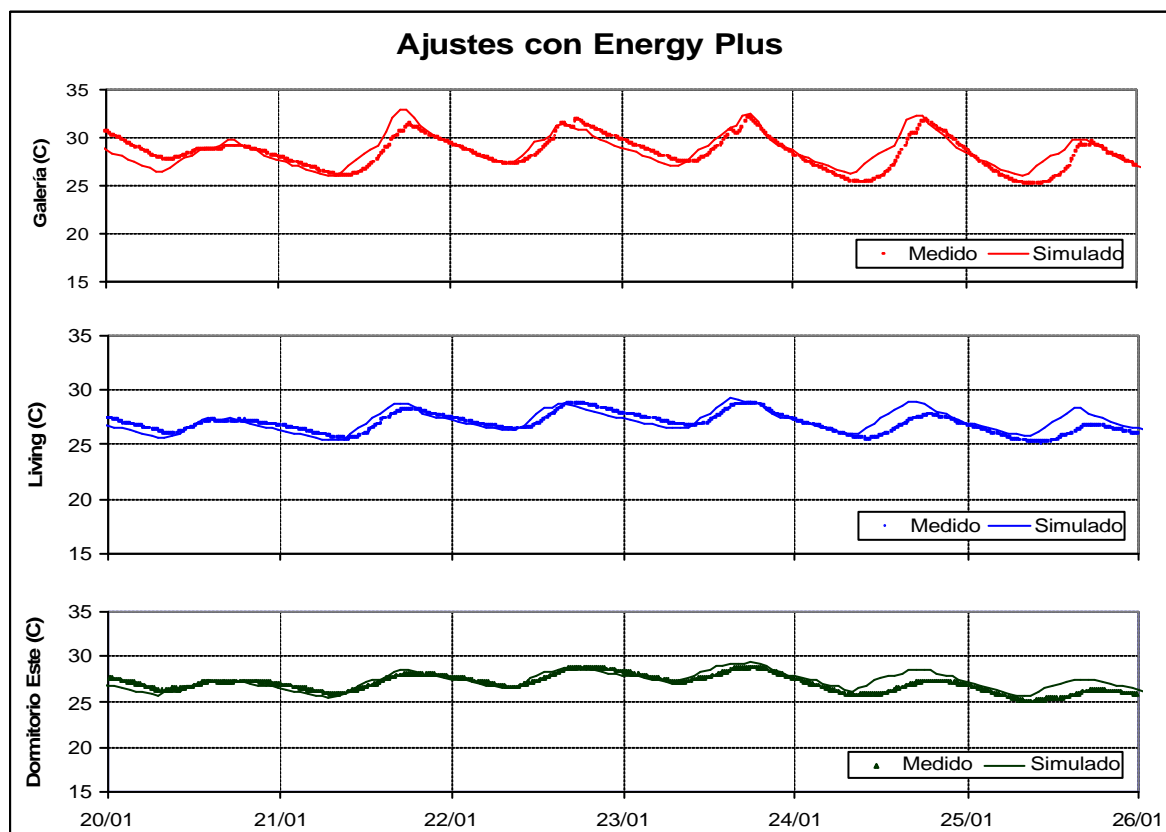


Figura 5 - Datos medidos y simulados para tres zonas de la vivienda, para el periodo comprendido entre el 20 y el 26 de enero de 2010.

- se supuso una tasa de infiltración constante de 1 renovación de aire por hora para todas las zonas en contacto con el exterior.
- los coeficientes convectivos se fijaron en $6W/m^2K$ para muros interiores. Los coeficientes convectivos restantes se autocalcularon mediante un modelo detallado incorporado en el software, que tiene en cuenta la velocidad y dirección del viento.
- los pisos se ingresaron como elementos con tres capas (cerámico, contrapiso de hormigón y 1m de tierra), por lo que se seleccionó diferencias finitas como algoritmo para el cálculo de balance de calor.
- se consideró la vivienda cerrada y desocupada, sin ganancias internas.
- la simulación se realizó para el periodo completo (7 de enero al 16 de febrero de 2010).

La Figura 5 muestra el ajuste obtenido para tres zonas representativas de la vivienda (20 al 26 de enero). Las temperaturas horarias medidas y simuladas para el periodo en que la vivienda estuvo desocupada ajustan, en promedio, en el orden de $1^{\circ}C$. Se considera que el ajuste es suficiente para tener validado el modelo térmico de la vivienda.

3.3. Estudio de la vivienda en periodo ocupado

A continuación, se seleccionaron los datos comprendidos entre el 2 y el 12 de febrero de 2010 para compararlos con los datos reales del monitoreo. Debido a que en este periodo la vivienda estuvo ocupada, la diferencia entre la simulación y los resultados del monitoreo se deberán exclusivamente al hábito de uso de la vivienda por parte de sus ocupantes. El periodo se seleccionó de forma que el edificio llevara al menos 5 días siendo habitado, a fin de que no contabilizar posibles sobrecalentamientos remanentes de cuando la vivienda estuvo desocupada.

Las estrategias de principales de enfriamiento utilizadas por los usuarios fueron: ventilación cruzada en la galería (durante la noche, todos los días), ventilación de la cocina-comedor y el living (esporádica, de 22:00 a 8:00), ventilación nocturna en el dormitorio este (de 21:00 a 24:00, debido a que es un dormitorio con niños pequeños) y aire acondicionado en intervalos cortos antes de la siesta, aire acondicionado en el escritorio durante las horas de la tarde (esporádico) y aire acondicionado y apertura de ventana en el dormitorio oeste. La Tabla 2 muestra los horarios de encendido y apagado del aire acondicionado y la apertura y cierre de ventanas durante el periodo estudiado.

Tabla 2. Horario de uso de los equipos de aire acondicionado y hora de apertura y cierre de ventanas para ventilación.

Fecha	Escritorio		Galería	Dormitorio Oeste		Dormitorio Este	
	A/C	Ventana	Puertas	A/C	Ventana	A/C	Ventana
02-feb	16:00 a 17:00	20:30 a 00:00	19:00 a 9:00	13:30 a 15:30	--	--	22:00 a 23:00
03-feb	--	20:00 a 22:00	20:00 a 9:00	--	20:00 a 04:30	13:50 a 14:20	--
04-feb	15:00 a 19:00	20:00 a 23:00	16:30 a 9:00	13:30 a 15:30; 20:30 a 00:00	--	14:00 a 15:00	20:00 a 23:30
05-feb	--	20:30 a 22:00	19:00 a 9:00	14:30 a 15:30; 23:30 a 02:30	--	--	22:00 a 23:30
06-feb	--	--	19:00 a 9:00	--	--	13:30 a 14:30	22:30 a 00:00
07-feb	--	19:30 a 21:30	22:00 a 9:00	20:00 a 23:00	19:30 a 23:00	--	19:30 a 23:00
08-feb	13:00 a 18:00	--	16:00 a 9:00	13:30 a 15:30	21:30 a 06:30	13:50 a 14:20	19:30 a 00:00
09-feb	15:00 a 16:00	20:55 a 23:10	18:00 a 9:00	--	20:00 a 08:00	--	22:00 a 00:00
10-feb	17:00 a 18:30	20:25 a 23:10	16:30 a 9:00	14:00 a 15:30	--	14:00 a 17:30	20:00 a 23:00
11-feb	--	--	19:00 a 9:00	--	--	--	21:00 a 23:30
12-feb	--	--	20:00 a 9:00	--	--	--	20:00 a 00:00

Las condiciones meteorológicas del nuevo periodo fueron más extremas, con temperaturas exteriores que superaron los $36^{\circ}C$ y no bajaron de $20^{\circ}C$, como se muestra en la Figura 6. La irradiación solar fue alta (ligeramente mayor a $1000W/m^2$) con cielos despejados, excepto para los días 9 y 10 de febrero en que hubo mayor nubosidad. La velocidad de viento fue, como es usual, mayor durante las horas diurnas, con velocidades medias de 4m/s.

Las Figuras 7 y 8 muestran las temperaturas interiores monitoreadas en planta alta y planta baja y cómo hubiera sido la evolución de la temperatura si la vivienda se hubiera encontrado desocupada. Las temperaturas promedio interiores para la vivienda desocupada y ocupada se volcaron en la Figura 9. Se concluye que la ocupación por parte de los usuarios contribuyó a descender la temperatura interior de la vivienda ($2.5^{\circ}C$ en promedio en la planta baja y $2.3^{\circ}C$ en la planta alta). El efecto es más notorio en la galería, en donde se obtuvo un descenso de la temperatura media de $3^{\circ}C$, seguida por el living, en estrecho contacto con ésta, con $2.6^{\circ}C$. En la Figura 7 se observa el efecto de la ventilación

en la galería: el único día en que no se abrió la galería (7 de febrero) la temperatura alcanzó los 35°C y durante la noche no descendió de 27°C. El mismo efecto se observa en el living debido al fuerte acople existente entre ambas zonas.

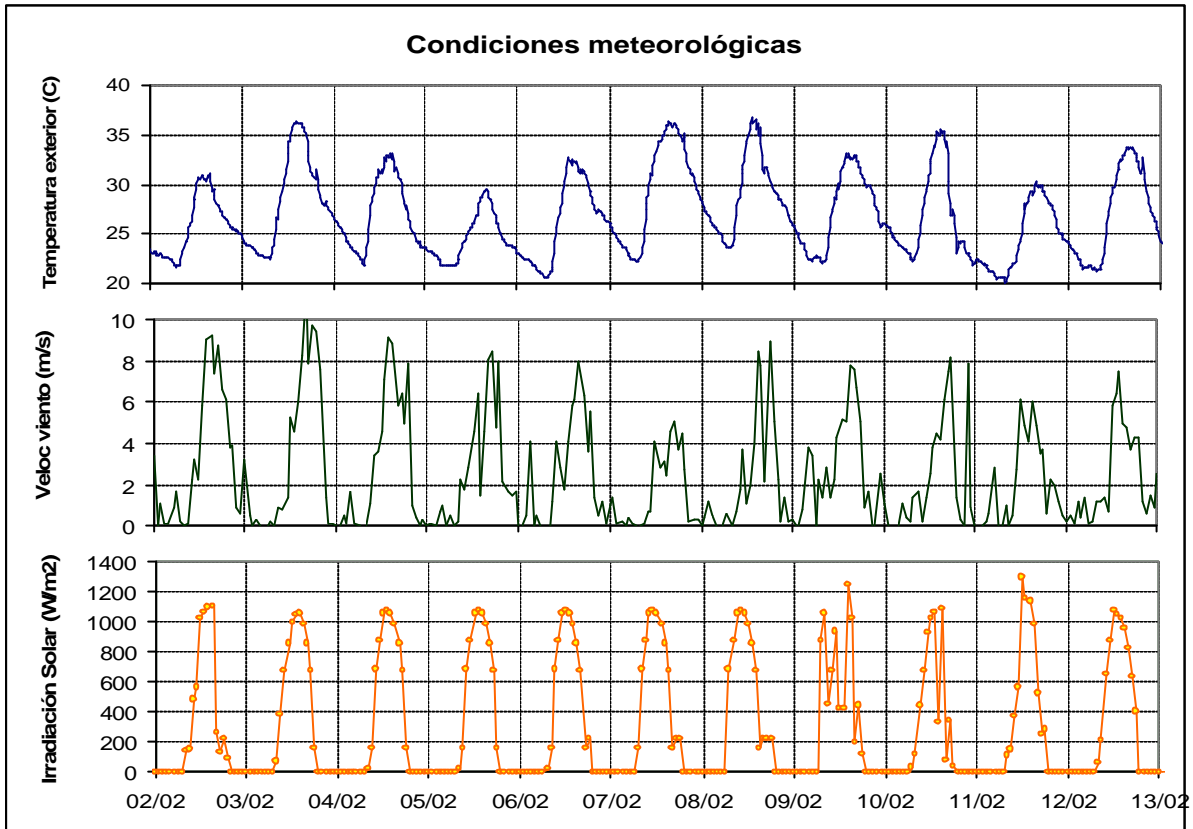


Figura 6 - Temperatura ambiente exterior, velocidad de viento e irradiación solar sobre superficie horizontal para el periodo de estudio (2 al 12 de febrero de 2010).

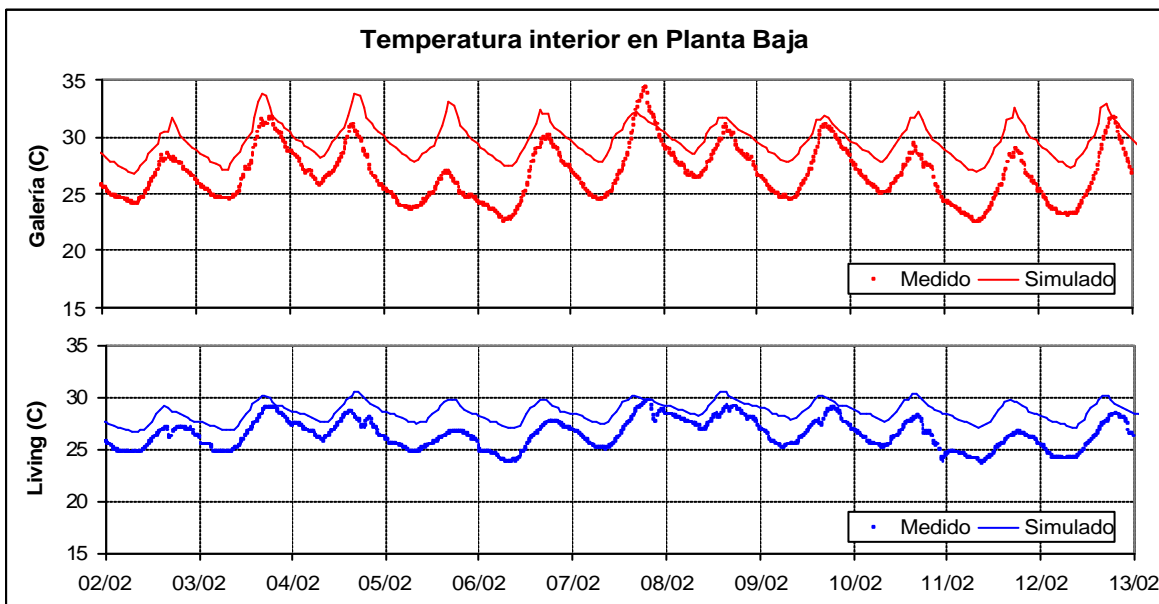


Figura 7 - Temperaturas interiores de la planta baja, monitoreadas con la vivienda desocupada y simulada con la vivienda desocupada, entre el 2 y 12 de febrero de 2010.

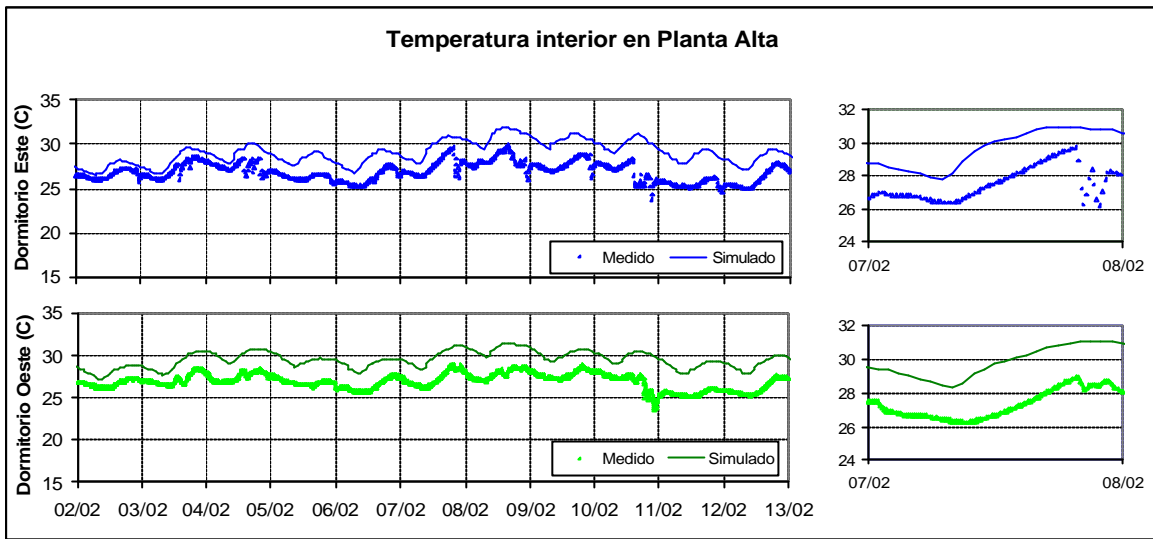


Figura 8 - Temperaturas interiores de la planta baja, monitoreada (con la vivienda ocupada) y simulada (con la vivienda desocupada), entre el 2 y 12 de febrero de 2010.

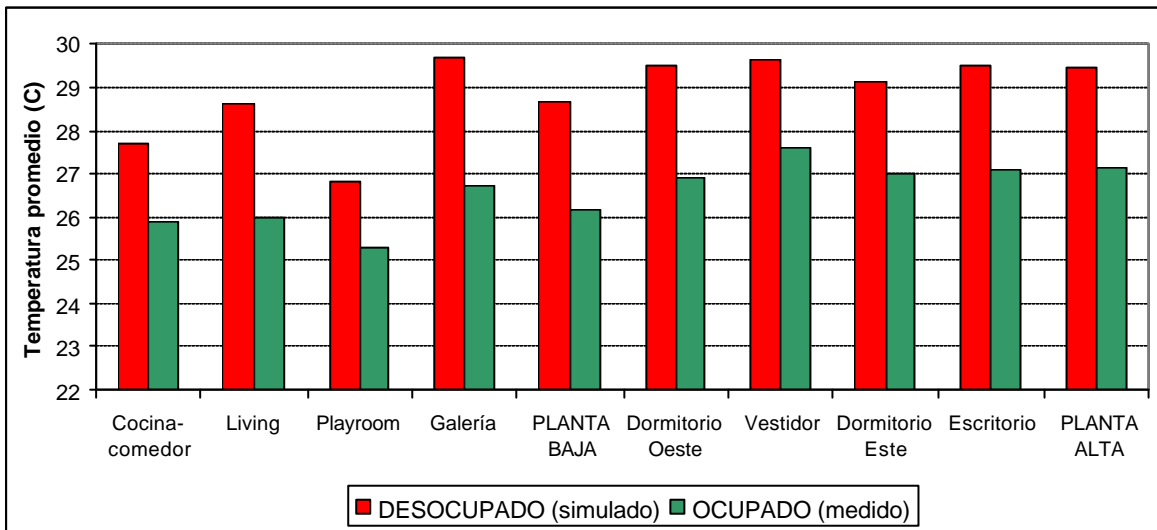


Figura 9 - Temperaturas promedio interiores para el periodo comprendido entre el 2 y el 12 de febrero de 2010, sin ocupación (simulado) y bajo condiciones reales de uso (medido). Temperatura media exterior: 26.9°C.

En la planta alta (Figura 8), el dormitorio Este acusa disminuciones de temperatura de casi 4°C debido a la ventilación nocturna, pero debido al corto periodo de tiempo (21:00 a 24:00), no se alcanza a ventilar la masa térmica y al momento de cerrar la puerta-ventana la temperatura sube inmediatamente. Este efecto se observa en el detalle de la Figura 8 para el día 7 de febrero. Los ocupantes cierran la puerta por dos motivos: porque en el dormitorio duermen niños pequeños que se despiertan con los ruidos de la calle y la luminosidad de los artefactos de iluminación, y para prevenir el ingreso de tierra proveniente de la calle sin pavimento. En el caso del dormitorio oeste, ese mismo día, se abrieron las ventanas para estudiar si la corriente de aire que entra por el dormitorio Este y sale por la ventana oeste alcanza para refrescar el dormitorio, encontrándose que la disminución es de apenas 1°C, subiendo inmediatamente en el momento en que se cierra la puerta. Por esta razón, la única manera de refrescar el dormitorio Oeste es mediante acondicionamiento mecánico.

Finalmente, en la Figura 10 se puede analizar el porcentaje de horas en que la temperatura interior en cada zona supera los 27°C (límite de confort propuesto por ASHRAE para clima seco). Si la vivienda estuviera desocupada, sin ventilación natural, la temperatura de todos los locales superaría los 27°C durante más del 80% del día, excepto el playroom. Si se analiza el caso de la vivienda ocupada, nuevamente es notorio el efecto de la ventilación en la planta baja (donde no existe acondicionamiento mecánico), en donde la galería pasa a tener temperaturas altas solamente un 40% del día, el living un 27%, la cocina-comedor un 17% y el playroom pasa a estar en confort térmico todo el periodo. En la planta alta, de prácticamente un 100% de las horas con temperaturas altas se pasó a valores que oscilan entre el 50% y el 70%.

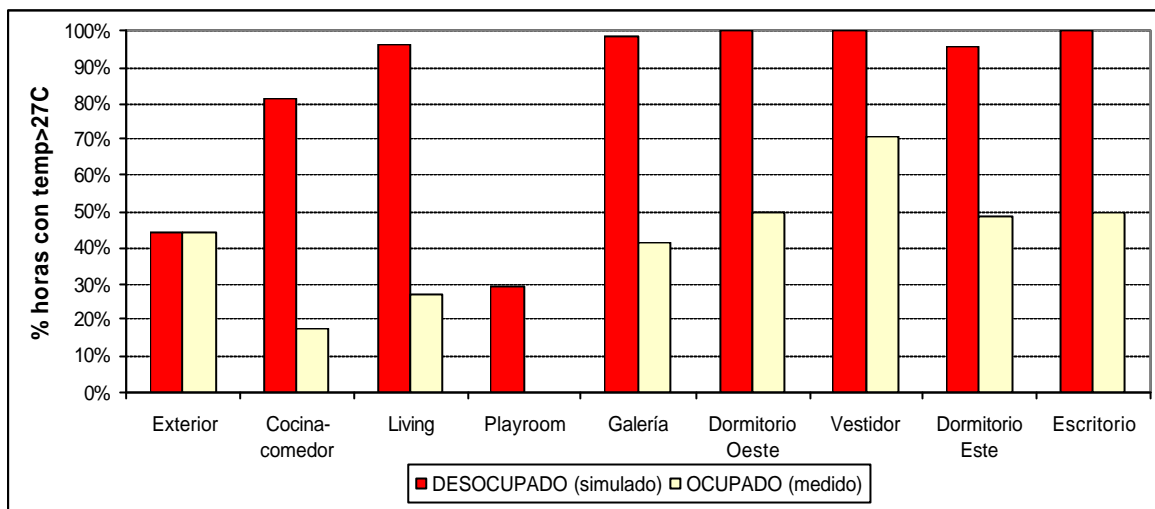


Figura 10- Porcentaje de horas en que la temperatura interior supera los 27°C, para el periodo comprendido entre el 2 y el 12 de febrero de 2010, sin ocupación (simulado) y bajo condiciones reales de uso (medido).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se analiza el efecto del comportamiento de los usuarios en la temperatura interior de una vivienda en la ciudad de Salta, en el noroeste de Argentina, mediante monitoreo experimental y simulación computacional, realizada mediante el software Energy Plus. El software resultó adecuado para estudiar el comportamiento térmico de la vivienda en estado transitorio, cuando ésta se encuentra desocupada. Del análisis realizado, se concluye que la ocupación por parte de los usuarios contribuyó a descender la temperatura interior de la vivienda en aproximadamente 2.5°C en la planta baja y 2.3°C en la planta alta. El efecto es más notorio en la galería, en donde se obtuvo un descenso de la temperatura media de 3°C, seguida por el living, en estrecho contacto con ésta, con 2.6°C.

Las bajas velocidades de viento durante la noche dificultaron la ventilación del dormitorio Oeste, pero fueron suficientes para la ventilación del dormitorio Este, el living y la galería. La presencia de los usuarios y el adecuado comportamiento referido a la ventilación natural produjo que, el 86% de horas en discomfort (total de la vivienda sin ocupación) se redujera a un 33%, valor que significa una importante reducción si se tiene en mente que se debe principalmente al correcto uso de la ventilación, puesto que los equipos convencionales de refrigeración no se utilizaron en forma permanente sino discontinua. Es notorio el efecto de la ventilación en la planta baja (donde no existe acondicionamiento mecánico), en donde la galería pasa a tener temperaturas altas solamente un 40% del día, el living un 27%, la cocina-comedor un 17% y el playroom pasa a estar en confort térmico todo el periodo. En la planta alta, de prácticamente un 100% de las horas con temperaturas altas se pasó a valores que oscilan entre el 50% y el 70%.

Debido a la fuerte conexión existente entre la galería y el living, cualquier medida tendiente a reducir la temperatura en la galería repercutirá favorablemente en el living. Por ello se sugirió a los ocupantes la utilización de elementos de sombreado en la galería (parasoles) y la construcción de una pérgola con material vegetal en la terraza ubicada sobre la losa de la galería, la cual beneficiaría no sólo a la galería sino al dormitorio Oeste, al producir sombreado sobre el muro norte de dicho dormitorio. Además, se sugirió la posibilidad de utilizar ventilación cruzada en este dormitorio, mediante la apertura de un ventiluz en la parte superior de la pared contraria al aventanamiento del dormitorio. En el caso del dormitorio Este, se sugirió a los ocupantes buscar la manera de ventilar durante toda la noche, lo cual favorecería en gran medida el confort térmico de esta habitación.

Si bien los resultados no son extrapolables a todas las viviendas del mismo tipo, las conclusiones obtenidas constituyen una buena aproximación para comprender la importancia del comportamiento de los ocupantes respecto del manejo del ambiente interior de una vivienda y su incidencia en el consumo energético.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Sr. Ricardo Echazú y al Dr. Germán Salazar por los datos meteorológicos. Este trabajo fue parcialmente financiado por CIUNSA N°1699 y ANPCYT PICTO 2005 N°32140.

REFERENCIAS

Al-Mumin A., Khattab O., Sridhar G. 2003. Occupants' behavior and activity patterns influencing the energy consumption in the Kuwaiti residences. *Energy and Buildings*, vol. 35, n. 6, pp. 549-559.

Bae C., Chun C. 2009. Research on seasonal indoor thermal environment and residents' control behavior of cooling and heating systems in Korea. *Building and Environment*, vol. 44, n. 11., pp. 2300-2307.

Baker N., Standeven M. 1996. Thermal comfort for free-running buildings. *Energy and Buildings*, vol. 23, pp.175-182.

- Filippín C., Flores Larsen S., Beascochea A., Lesino G. 2005. Response of convencional and energy-saving buildings to design and human dependent factors. *Solar Energy*, vol. 78, n. 3, pp. 455-470.
- Geun Young Yun, Tuohy P., Steemers K. 2009. Thermal performance of a naturally ventilated buildins using a combined algorithm of probabilistic occupant behaviour and deterministic heat and mass balance models. *Energy and Buildings* vol. 41, n. 5, pp. 489-499.
- Go Iwashita, Hiroshi Akasaka. 1997. The effects of human behaviour on natural ventilation rate and Indro air environment in summer – a field study in southern Japan. *Energy and Buildings*, vol. 25, pp. 195-205.
- Haldi F., Robinson D. 2008. On the behaviour and adaptation of office occupants. *Building and Environment*, vol. 43, pp. 2163-2177.
- Herkel S., Knapp U., Pfaffero J. 2008. Towards a model of user behaviour regarding the manual control of windows in office buildings. *Buildings and Environment*, vol. 43, pp. 588-600.
- Indraganti, M. 2010. Adaptive use of natural ventilation for thermal comfort in Indian apartments. *Building and environment*, vol. 45, n. 6, pp. 1490-1507.
- Kubota T., Chyee D.T.H., Ahmad S. 2009. The effects of night ventilation technique on indoor thermal environment for residential buildings in hot-humid climate of Malaysia. *Energy and Buildings*, vol. 41, pp. 829-839.
- Nicol J.F. 2001. Characterising occupant behavior in buildings: towards a stochastic model of occupant use of windows, lights, blinds, heaters and fans. En: *Proceedings of the Seventh International IBPSA Conference 2001*, Río de Janeiro, Brasil, pp. 1073-1078.
- Norma IRAM 11603, 1993. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- Papakostas K.T., Sotiropoulos B.A. 1997. Occupational and energy behaviour patterns in Greek residences. *Energy and Buildings*, vol. 26, pp. 207-213.
- Rijal H.B., Tuohy P., Humphreys M.A., Nicol J.F., Samuel A., Clarke J. 2007. Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings. *Energy and Buildings* vol. 39, n. 7, pp. 823-836.
- Schweiker M. y Shukuya M. 2009. Comparison of theoretical and statistical models of air-conditioning-unit usage behaviour in a residential setting under Japanese climatic conditions. *Building and Environment*, vol. 44, n. 10, pp. 2137-2149.

OCCUPANTS INCIDENCE IN THE SUMMER THERMAL BEHAVIOUR OF A RESIDENTIAL BUILDING IN THE ARGENTINEAN NORTHWEST

Abstract *This paper analyses the influence of the occupants' behaviour in the indoor temperature of a family house placed in Salta city, at the Argentinean Northwest. Experimental monitoring and computer simulation through Energy Plus software were used. Firstly the thermal model of the building is validated with experimental data, then the thermal behaviour of the house under occupancy is analysed and compared with the thermal response the house should have if it was unoccupied. Significant differences around 2.5°C in indoor temperatures were found.*

Key words: *Thermal Simulation, Energy Plus, Energy Efficiency*