



ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 14, 2010. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

COMPORTAMIENTO TERMICO DE VERANO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES COMPACTAS EN CONDICIONES REALES DE USO EN CLIMA TEMPLADO EN ARGENTINA

Filippín C.¹ y Flores Larsen S.^{1,2}

¹CONICET – CC302, Santa Rosa, 6300 (La Pampa) Argentina, Tel./Fax: 54-952-434222, Email: cfilippin@cpenet.com.ar

²INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa. – CONICET
Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta Capital - Argentina
Tel. 0387-4255424 – Fax 0387-4255489 - E-mail: seflores@unsa.edu.ar

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento térmico de verano de 4 viviendas másicas y compactas ubicadas en zonas urbanas de baja densidad en la ciudad de Santa Rosa, La Pampa (latitud: 36°27' y longitud: 64°27'). Se muestran los resultados del período de monitoreo comprendido entre el 5 y el 17 de febrero de 2010 con una temperatura media exterior de 23.3°C, temperaturas máximas exteriores superiores a los 30°C e irradiancia solar cercana a los 900 W/m². La temperatura interior promedio de la vivienda con acondicionamiento mecánico fue de 25.0°C y un consumo diario de energía eléctrica de 11.8 kWh. La temperatura interior promedio de las viviendas sin acondicionamiento mecánico fue de 27.1°C y 5.2 kWh de energía eléctrica consumidos diariamente. El mejoramiento térmico de la cubierta, sumada a las estrategias de climatización natural que ya tienen los usuarios incorporadas a su rutina de vida, permitiría mejorar las condiciones de confort con ahorro de energía.

Palabras claves: vivienda unifamiliar compacta, monitoreo térmico, confort

INTRODUCCION

Los edificios proporcionan un entorno de vida y de trabajo a los seres humanos. La gente pasa más del 80% de su vida en el interior de los edificios, por eso se le debe prestar atención a la calidad del ambiente interior durante su etapa de diseño y la evaluación de su performance energético-ambiental (Liu *et al.*, 2010). La visión premonitoria del arquitecto Buckminster Fuller, sobre la finitud de los recursos mundiales se remonta a sus notas de finales de 1920 (Behling, 2002). Fue recién en 1973, con altos precios del petróleo, cuando las estrategias de conservación de energía irrumpieron en la agenda ambiental. El sector edilicio está particularmente bajo presión: aproximadamente la mitad de los recursos mundiales son empleados para acondicionar el ambiente interior. El sector de la construcción es uno de los principales protagonistas de los problemas ambientales debido a la explotación de los recursos no renovables, el uso del suelo y el consumo de energía durante el ciclo de vida completo de un edificio. Urge-Vorsatz y Novikova (2006) afirman que durante el año 2004 sólo los edificios agotaron casi el 37% de la energía del mundo y esta cifra se prevé que alcance el 42 % en 2030. En Europa, y en el año 2000, el 45% de la energía producida se usó en el sector edilicio y el 50% de la polución fue causada por el mismo sector (Ballarini y Corrado, 2009).

De acuerdo al Inventario de gases de efecto invernadero de la República Argentina – Año 2000, el 91% de las emisiones de CO₂ del sector energía correspondieron a la quema de combustibles, el 9% restante de las emisiones fugitivas. Las industrias de la energía fueron responsables del 30% de las emisiones, seguidas por el transporte de cargas con el 18,2% y el residencial con el 14,4%, entre otros. Hubo un incremento de las emisiones del 28% entre 1990 y 2000 con una tasa anual acumulada del 2,5%. Los dos sectores que más aumentaron su participación en el 'Consumo Neto Total' de energía fueron: el residencial (que pasa del 13,6% de participación en el CFT en 1970 al 19,4% en el 2003) y el comercial y público (2,6% en 1970 y 6,7% en el 2003). Estos consumos, están directamente vinculados al nivel de satisfacción de las necesidades energéticas de los hogares y los servicios, y se han incrementado, en gran medida, por la penetración del gas distribuido que no sólo ha sustituido otras fuentes sino que ha aumentado los consumos específicos en los usos calóricos (cocción, calentamiento de agua y calefacción). En cuanto a la participación de los combustibles en las emisiones en términos de CO₂, y en el sector residencial, el gas natural absorbe un 81.1% (Fundación Bariloche, 2005).

En una visión general de los principios de eficiencia energética, el Proyecto Final del IPCC (2007) considera que las estrategias de diseño para los edificios energéticamente eficientes deben incluir la reducción de las cargas de calefacción y enfriamiento, la selección de sistemas que permitan un uso más efectivo de los recursos energéticos, un uso eficiente de los equipamientos y el control efectivo de las estrategias. Ratti *et al.*, 2003; 2005, sostiene que el edificio es una entidad integrada estructural, tanto desde el punto de vista funcional como ambiental. El mejoramiento de su performance energética requiere de un estudio detallado y una simulación de su comportamiento, sin dejar de considerar los fenómenos que ocurren, entre otros, a escala urbana. Para ellos la performance energética depende de la geometría urbana, del diseño del propio edificio, de la eficiencia de los sistemas y, fundamentalmente del comportamiento del ocupante. Peeters *et al.* (2009) consideran que, en los edificios residenciales las condiciones internas están lejos de tener el estado de equilibrio: tanto el nivel de actividad y el tipo de ropa pueden variar dentro de plazos de tiempo pequeños, pueden fluctuar las ganancias

internas y los aportes de energía afectando rápidamente a la temperatura interior. La variación en la ocupación influirá, entre otros, en la tasa de ventilación requerida. Dixst *et al.* (2010) afirman que es urgente la revisión y la modificación de las prácticas actuales de la construcción en cuanto al diseño, técnicas y tecnologías de fabricación para optimizar el consumo de energía. Liu *et al.*, 2010 concluyen que, para crear un edificio de bajo consumo de energía se necesitan nuevos conocimientos y el desarrollo de nuevos materiales, tecnologías y sistemas. La eficiencia energética, sin embargo, depende tanto de estas tecnologías como también de las opciones del usuario y de las políticas que también afectan a la toma de decisiones (Allcot *et al.*, 2010).

El uso de las energías no convencionales, el panorama energético de Argentina, la posibilidad de revisar Normativas y Códigos de Edificación, el incremento en la compra de equipos de aire acondicionado (según el INDEC el 12.6% en el año 2008), la tendencia del crecimiento de la construcción de viviendas (INDEC, 2006), entre otros aspectos, motivaron a distintos autores a evaluar edificios residenciales para analizar el comportamiento térmico-energético, las condiciones de confort, el consumo de energía, el comportamiento del usuario (Re y Blasco Lucas, 2008; Salvetti *et al.*, 2009; Molas *et al.*, 2008; Filippín y Flores Larsen, 2009; Sulaiman *et al.*, 2009). En la región en estudio, las localidades de la provincia de La Pampa son importadoras de energía eléctrica, y están conectadas al Sistema Interconectado Nacional. En la ciudad de Santa Rosa, capital de la provincia, el consumo residencial de energía eléctrica representa el 87.2% del total facturado y la energía consumida por usuario, se incrementó en un 5.6% en el período 2008-2009 (CPE, 2009). Los distintos barrios de la ciudad se caracterizan aún por construcciones de una y dos plantas. Hay predominancia de la vivienda tipo cajón y tipo chalet (Rosenfeld y Czajkowski, 1992). De acuerdo con Ratti *et al.*, 2003 y 2005 en cuanto a que, la performance energética depende de la geometría urbana, el diseño del propio edificio, la eficiencia de los sistemas y el comportamiento del ocupante, en este trabajo el objetivo general es conocer el comportamiento térmico-energético durante el verano de 2010 de cuatro viviendas compactas, tipo cajón, místicas y construidas entre medianeras en la ciudad de Santa Rosa. El estudio tiene como objetivos específicos:

- a- monitorear viviendas de igual tipología y tecnología con distinta orientación y usuarios con hábitos de uso diferentes
- b- evaluar el comportamiento de la temperatura interior de las viviendas durante el mismo período de medición
- c- analizar la temperatura horaria interior, las condiciones de confort y el consumo de energía

EMPLAZAMIENTO Y CLIMA

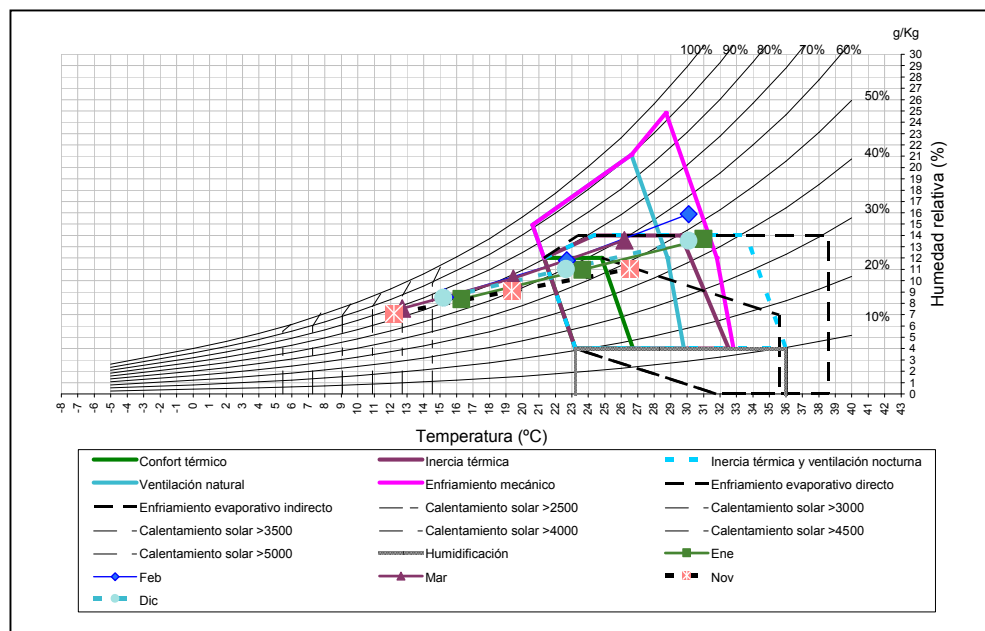


Figura. 1: Diagrama psicrométrico de verano.

La ciudad de Santa Rosa, capital de la provincia de La Pampa pertenece a la región bioambiental III a de la Norma IRAM 11603 (1996). Las coordenadas geográficas son: latitud: 36°27' y longitud: 64°27'. La altura sobre el nivel del mar es de 182 metros. El clima es templado frío con una temperatura mínima absoluta que puede llegar a -10°C. En enero se registran las mayores temperaturas máximas absolutas (alrededor de 41°C). La figura 1 muestra el diagrama psicrométrico para los valores promedio temperatura y humedad relativa de diciembre, enero, febrero y marzo. También se pueden observar los valores de temperatura media mínima y humedad relativa máxima y temperatura media máxima y humedad relativa mínima. Sólo los valores medios de los valores de ambas variables de diciembre, enero y febrero caen en la zona de confort. Para los valores mínimos medios de temperatura el diseño debe tener en cuenta ciertas recomendaciones. Para los valores máximos de temperatura de diciembre y enero es suficiente la inercia térmica y la ventilación nocturna. Durante febrero se necesitan medios mecánicos. En la figura 2 se observan los requerimientos de sombra para las distintas horas del día y para cada uno de los meses. Casi el 27% del tiempo las áreas expuestas a la radiación solar deberían estar protegidas.

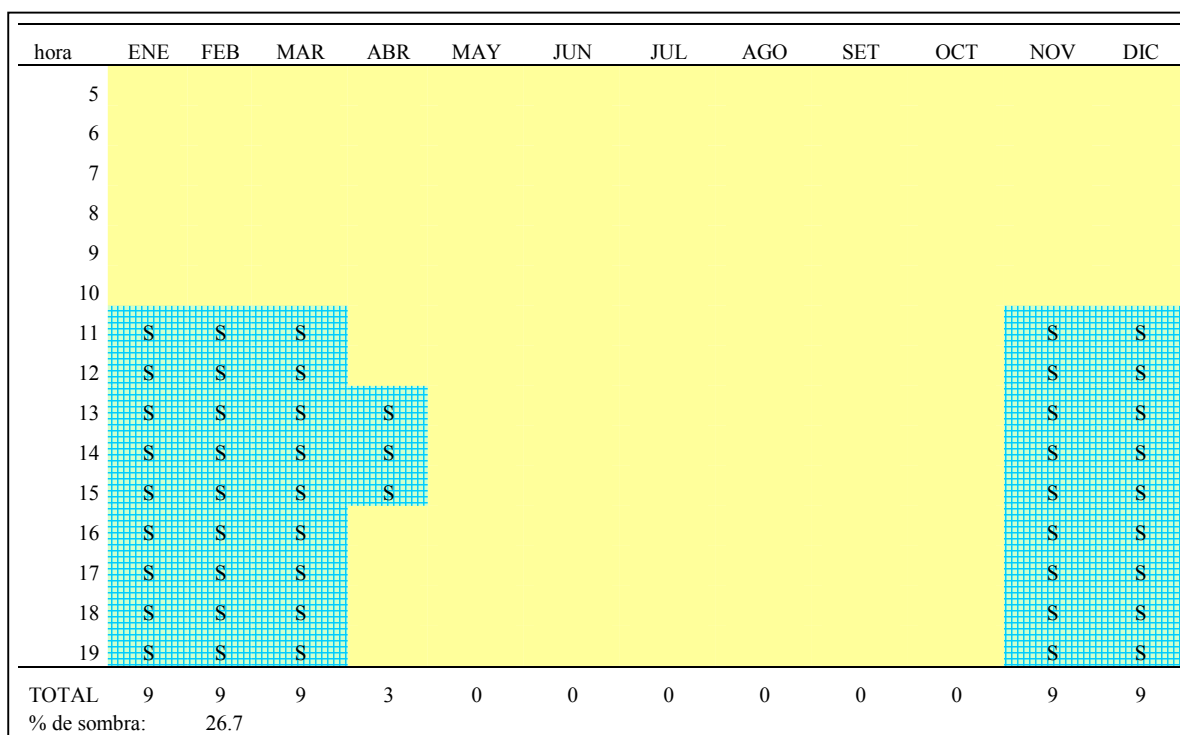


Figura. 2: Requerimiento de sombra para la región en estudio (Gonzalo, G., 2003)

DESCRIPCIÓN DE LAS VIVIENDAS

Las cuatro viviendas están emplazadas en un barrio de baja densidad con predominancia de la tipología cajón (Figura 3). Las cuatro viviendas son másicas y sin aislamiento térmico en su envolvente. Las paredes exteriores son de ladrillo común de 0.30m de espesor ($K = 1.88 \text{ W/m}^2\text{°C}$). La estructura resistente es de bovedilla con perfilaría de hierro en las viviendas C3 y C4 y losa cerámica en las viviendas C1 y C2, ésta última tiene techo inclinado con tejas francesas. En el resto, la cubierta plana está terminada con membrana de aluminio ($K = 1.79 \text{ W/m}^2\text{°C}$). Las ventanas en las cuatro viviendas tienen cortina de enrollar y vidrio simple. En C1, C3 y C4 las ventanas son de madera maciza, en C2 son de aluminio pre-pintado.

	C1: Norte	C2: Sur-oeste	C3: Oeste	C4: Sur
Area (m ²)	142.0	89.7	79.8	81.0
Indice compacidad (%)	57	73	71	70
Volumen (m ³)	370	172	224	219
Número de ocupantes	4	1	2	2

Figura. 3: Viviendas estudiadas

COMPORTAMIENTO TERMICO

Período desde el 5 al 17 de febrero de 2010.

El monitoreo se inició el 28 de enero hasta el 22 de febrero de 2010. Se utilizaron dataloggers HOBO U8 y U12 de temperatura y humedad relativa y se ubicaron en cada una de las áreas funcionales: estar, cocina-comedor y dormitorios de cada vivienda. Las variables meteorológicas fueron registradas a nivel del techo de una de las vivienda mediante una micro-estación meteorológica autónoma HOBO modelo H21 cuyo sensor de irradiancia solar es del tipo fotovoltaico. De todo el período se toma para el presente trabajo el comprendido entre el 5 y el 17 de febrero caracterizado por una secuencia de días con cielo claro con una irradiancia solar de alrededor de los 900 W/m^2 .

La temperatura máxima superó siempre los 25°C alcanzando los 35°C el 10 de febrero, 2°C por debajo de la temperatura máxima absoluta promedio de la última década. La figura 4 muestra el comportamiento de la temperatura promedio en el interior de cada una de las viviendas.

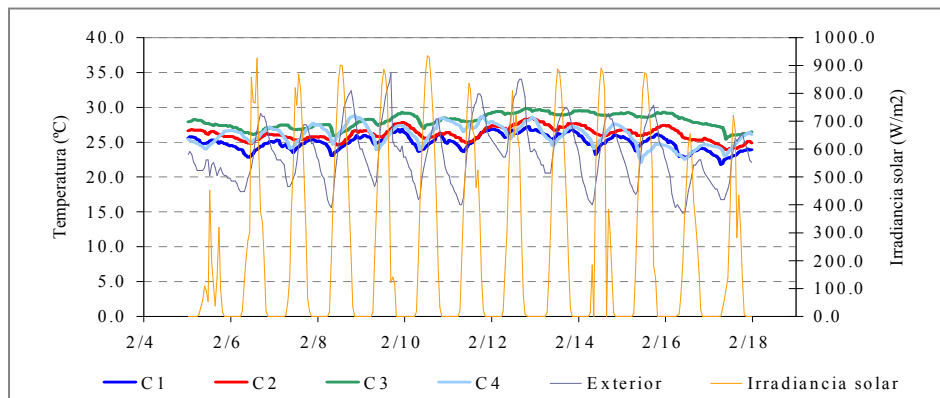


Figura. 4: Temperatura interior promedio en cada vivienda, irradiación solar sobre superficie horizontal y temperatura exterior entre el 5 y el 17 de febrero de 2010

La vivienda con su fachada principal y de ingreso mirando al norte (C1) mostró una temperatura promedio interior de 25°C (1.7°C por encima de la media exterior). Durante el monitoreo estuvo ocupada por un matrimonio y una hija estudiante universitaria. La cocción de alimentos se realizó en un quincho cerrado que se encuentra unido al resto de la vivienda por medio de una circulación con una puerta balcón vidriada orientada al SO con un toldo vertical que permanece cerrado durante las horas de la tarde según muestra la figura 5. En la misma figura se observa hacia la izquierda la puerta de ingreso al quincho. Durante las horas de mayor insolación se bajan las cortinas de enrollar de las dos ventanas de los locales que se orientan al norte (estar y dormitorio) y de los dos dormitorios orientados al sur. El descenso de la temperatura en el interior se inició el día 12 de febrero en coincidencia con el aumento de la velocidad de viento (4.5 m/s) llegando a los 22.6°C el día 17 de febrero con una velocidad de viento que alcanzó los 5 m/s y una temperatura mínima exterior de 15°C (Figura 6). La vivienda tiene dos acondicionadores de aire, uno ubicado en la cocina – comedor (encendido entre las 10 y 17h) y otro en el dormitorio sur sobre medianera (encendido entre 13 y 18h). El consumo diario de energía eléctrica promedio fue de 11.8 kWh (0.08 kWh/m²), un 80 % superior al valor promedio histórico del barrio durante febrero (6.6 kWh).



Fig. 5: Vista interior de la cocina-comedor

En la vivienda sur-oeste (C2) la temperatura promedio interior fue de 26.2°C, sin acondicionamiento mecánico. Esta vivienda tiene mayor exposición al exterior y una pared que mira al oeste pintada de blanco. La propietaria es jubilada y permanece en el hogar durante la mayor parte del día. Durante el verano aprovecha la muy buena ventilación cruzada entre los dos dormitorios (uno hacia el norte, otro hacia el sur) y entre el comedor y el lavadero, con ventanas orientadas al norte y al sur. Como en el caso anterior, el descenso de la temperatura exterior, una menor irradiación solar y un aumento de la velocidad del viento, permitieron mejorar las condiciones térmicas interiores. La energía eléctrica diaria promedio consumida y medida diariamente fue de 6.5 kWh (0.07 kWh/m²). Por un lado el valor es similar al consumo histórico diario promedio de la vivienda para el período 1999-2009 (6.2 kWh), por otro se aproxima al promedio histórico del barrio para el mismo mes. El consumo correspondió al uso de artefactos de iluminación, heladera, lavarropa automático y TV.

La situación más desfavorable corresponde a la vivienda cuya fachada principal mira hacia el oeste (C3). La fachada exterior, sin obstrucciones vegetales suficientes y con cielo claro, recibe 13.5 MJ/m² de radiación solar (radiación diaria sobre superficie horizontal = 20.8 MJ/m²). La vivienda está ocupada por dos personas adultas activas que permanecen fuera del hogar entre 8 y 10 horas. Luego del sexto día con alta temperatura y alta radiación solar, la temperatura interior trepó hasta los 30°C e inició su descenso el día 16 de febrero ante una disminución de la radiación (400 W/m²) y una velocidad de viento cercana a los 5 m/s (Figura 6). La temperatura interior alcanzó un valor mínimo de 15°C. La temperatura interior promedio fue de 28.1°C, 4.8 °C por encima de la temperatura promedio exterior (23.3°C). La vivienda tiene un ventilador de techo en el comedor que se enciende sólo cuando se usa el espacio. Según la descripción que hicieron los ocupantes, las ventanas permanecieron cerradas durante la noche, se abrieron a primera hora de la mañana, solamente si las condiciones en el exterior eran adecuadas. Los días con viento fuerte y con polvo en suspensión, se mantuvieron cerradas. El consumo diario de energía eléctrica fue de 3.9 kWh (0.056 kWh/m²) que se aproxima al promedio de energía consumida por los usuarios entre el 2005 y el 2009 (3.6 kWh), y corresponde a un 59% de la energía promedio diaria consumida en el barrio (6.6 kWh). El consumo correspondió al uso de artefactos de iluminación, heladera, lavarropa automático, TV y ventilador de techo.

La última vivienda estudiada tiene su fachada principal y su acceso hacia el sur (C4). Es habitada por dos mujeres adultas mayores, una de ellas jubilada, la otra en actividad. La temperatura interior promedio fue de 26.0°C, 2.7°C por encima de la temperatura promedio exterior. Los dos dormitorios, con sus ventanas orientadas al norte, están protegidos por una pérgola

con cobertura vegetal de hojas caducas, motivo por el cual los dos dormitorios estuvieron sombreados en el verano. También en esta vivienda el descenso de la temperatura promedio interior se observa hacia el final del período, por lo tanto son válidos los argumentos de los casos anteriores. La vivienda tiene un split de 2300 frigorías que está en el dormitorio cuya pared exterior da al este (alrededor de 1.3h de uso promedio diario). El consumo diario de energía eléctrica promedio fue de 5.6 kWh (0.07 kWh/m²) que correspondió a: iluminación, heladera, lavadora automática, TV y split. El valor es un 15% inferior al valor promedio histórico del barrio.

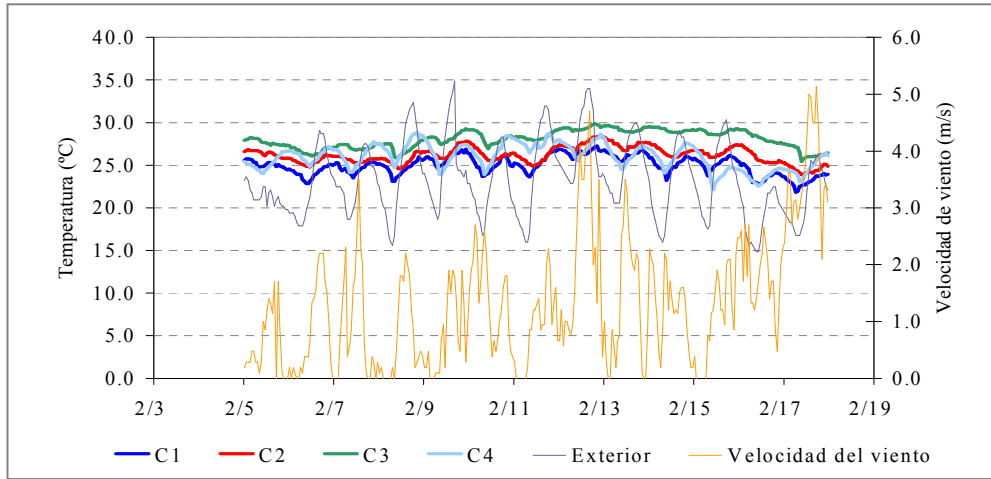


Figura 6: Temperatura interior promedio en cada vivienda, velocidad de viento y temperatura exterior

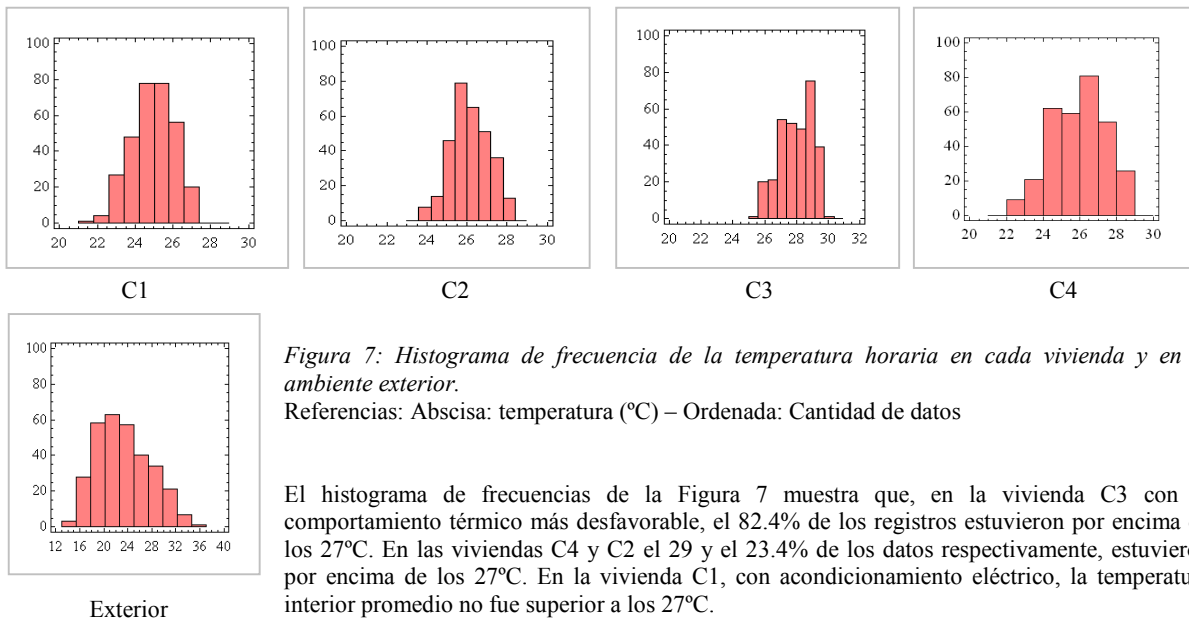


Figura 7: Histograma de frecuencia de la temperatura horaria en cada vivienda y en el ambiente exterior.

Referencias: Abscisa: temperatura (°C) – Ordenada: Cantidad de datos

El histograma de frecuencias de la Figura 7 muestra que, en la vivienda C3 con el comportamiento térmico más desfavorable, el 82.4% de los registros estuvieron por encima de los 27°C. En las viviendas C4 y C2 el 29 y el 23.4% de los datos respectivamente, estuvieron por encima de los 27°C. En la vivienda C1, con acondicionamiento eléctrico, la temperatura interior promedio no fue superior a los 27°C.

Período desde el 8 al 10 de febrero de 2010.

De todo el período se toman los días 8, 9 y 10 de febrero con elevada insolación al mediodía solar (900 W/m²), altas temperaturas y viento con una velocidad de casi 3 m/s (10 km/h) (Figura 8). La Figura 9 muestra la evolución de la temperatura en cada área funcional de la vivienda tipo C1 (fachada principal al norte). Los locales más cálidos son la cocina-comedor y el quincho, que posee una ventana al norte hacia un patio interior. La cocina-comedor tienen una puerta balcón hacia el SO con un toldo exterior que se baja a las 10:00 h y se levanta a las 19:00 h. El quincho alcanzó una temperatura máxima de 30°C y la temperatura promedio fue de 28.2°C. Durante el día 9 de febrero se observa el ascenso de la temperatura en el momento del almuerzo y de la cena en la cocina - comedor. Los dos dormitorios orientados al sur tuvieron una temperatura media de 25.2 y 25.4°C. Los dos locales orientados al norte (estar y dormitorio) están protegidos por un alero de 1.50m. La temperatura media en el estar y en el dormitorio fue de 25.5 y 21.7 °C. La cortina de enrollar del dormitorio, local que muestra las mejores condiciones térmicas, permanece totalmente baja desde las 9:30h. En la figura 10 se observa el comportamiento térmico de la vivienda tipo C2 con sus paredes expuestas al oeste, sur y norte (la pared este es medianera). Tiene un quincho, separado de la casa, con un área vidriada muy importante, sin protección solar, que permite el ingreso de sol desde el sur-oeste sin obstrucción alguna. Esta situación provoca el ascenso de la temperatura interior del

quincho que alcanzó los 33.6°C a las 16:00h momento en que la temperatura exterior alcanzó su valor máximo. Este sector de la vivienda no fue usado en el período de monitoreo. El refrescamiento pasivo a través de ventilación cruzada, el riego de los espacios verdes en horas adecuadas y la condición tecnológica de vivienda másica, permiten mantener sus condiciones de confort casi el 80% del tiempo de monitoreo.

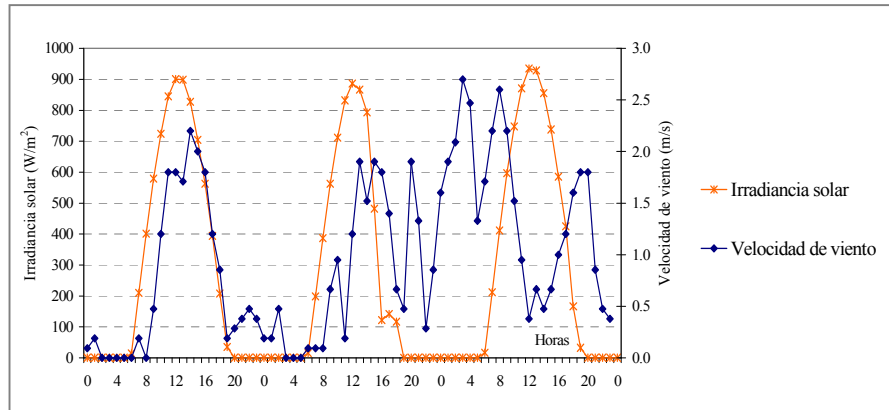


Figura 8: Irradiación solar sobre superficie horizontal y velocidad del viento

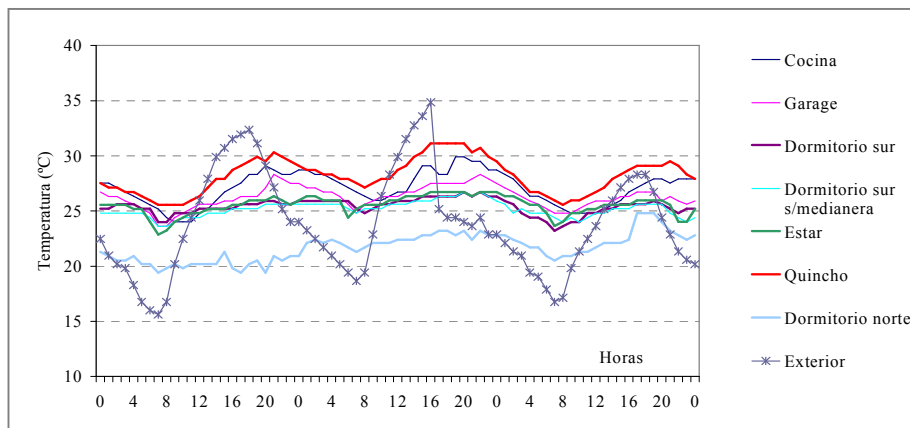


Figura 9: Comportamiento de la vivienda norte (C1) entre el 8 y el 10 de febrero de 2010 y vista de la protección solar hacia el SO en la cocina-comedor

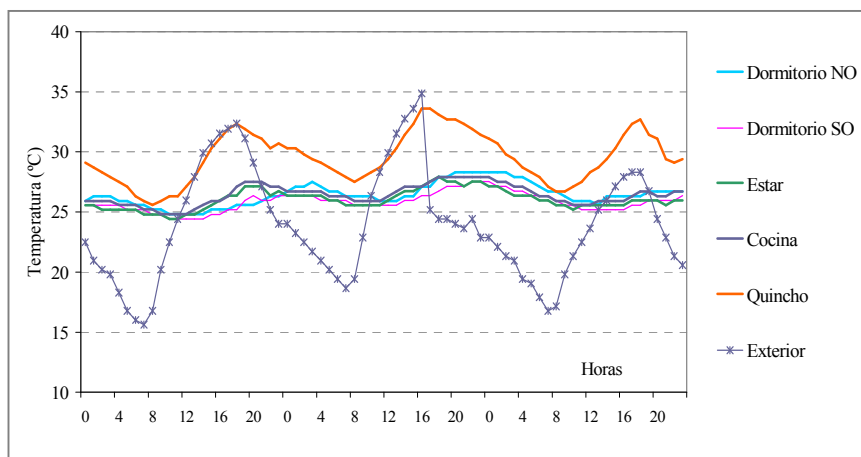


Figura 10: Comportamiento de la vivienda sur-oeste (C2) entre el 8 y el 10 de febrero de 2010 e imagen del quincho separado de la vivienda

La Figura 11 muestra el comportamiento térmico de la vivienda C3 (fachada principal al oeste). En párrafos anteriores se decía que esta vivienda mostró la situación térmica más desfavorable, sólo el 17.6% de la temperatura promedio interior estuvo por debajo de los 27°C. El dormitorio oeste fue el local más cálido, entre otras causas, por efecto de la insolación sobre su envolvente exterior. El 9 de febrero tanto este dormitorio como el estar, que tienen sus ventanas al oeste, alcanzaron una temperatura de casi 30°C, 5° por debajo de la máxima exterior y con un valor de radiación solar sobre superficie horizontal de 900 W/m². La figura muestra el defasaje de casi 8 horas entre el momento en que se produce la máxima temperatura exterior (16:00 h) y la máxima temperatura interior (2:00 h). Se observa que el viento con una velocidad de 2.5

m/s que se inicia a las 21:00 h del día 9 y que se mantuvo durante más de 12 horas provocó el descenso de la temperatura interior en aproximadamente 3°C, situación que muestra con claridad el efecto de la inercia térmica combinada con la ventilación en las primeras horas de la mañana (6:00 a 9:00 h). En la vivienda C4 los dos dormitorios tienen sus ventanas al norte con sus correspondientes cortinas de enrollar. Casi toda la envolvente norte (hasta los 2.60m) está protegida por una pérgola con cobertura vegetal de hoja caduca, situación que favorece el acondicionamiento natural del entorno de la vivienda. En la Figura 12 se observa el desfase entre el momento de la temperatura máxima exterior (18:00h) y máxima interior (23:00h). El dormitorio con su ventana al norte, y la otra pared externa hacia el este, posee un split de 2300 frigorías que se encendió el día 8:00 a las 21:00 h (la curva acusa un descenso de 1°C). Esta vivienda tiene una amplitud térmica de su temperatura interior de casi 5°C, 2°C por encima de la que mostró la vivienda C3 cuya temperatura interior nunca descendió por debajo de los 25°C.

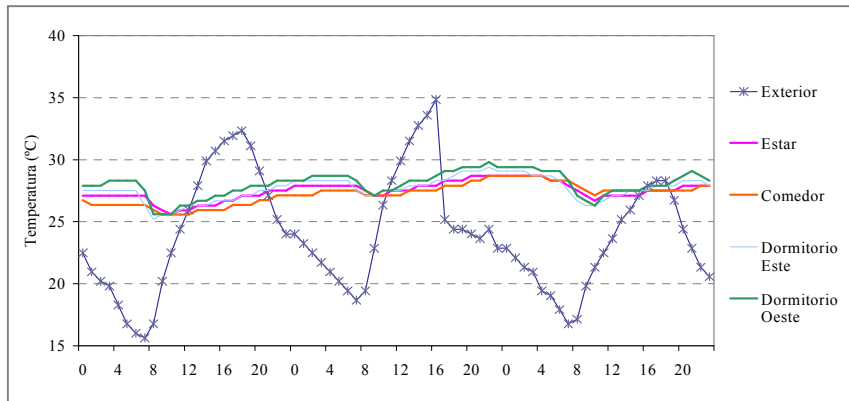


Figura 11: Comportamiento de la vivienda oeste (C3) entre el 8 y el 10 de febrero de 2010

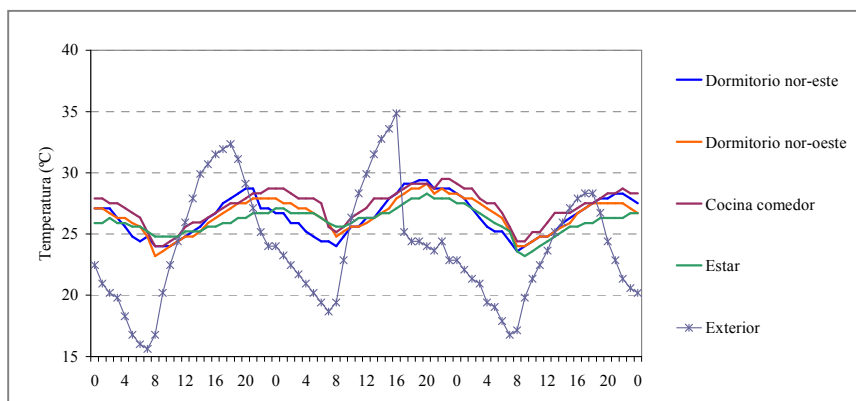


Figura 12: Comportamiento de la vivienda sur (C4) entre el 8 y el 10 de febrero de 2010

CONCLUSIONES

El trabajo permitió analizar el comportamiento térmico de cuatro viviendas compactas ubicadas en barrios de baja densidad, con predominancia de edificación de una sola planta con una tipología igual a las estudiadas. Las viviendas son másicas, entre medianeras, con distinta orientación y usuarios con diferentes hábitos de uso y distintos periodos de permanencia en la vivienda. Fueron medidas simultáneamente. Las condiciones climáticas del período de medición fueron muy rigurosas. Se analizó el comportamiento de la temperatura interior, el consumo de energía durante el mismo período de medición y las condiciones de confort. La vivienda térmicamente más desfavorable fue la C3 con su fachada al oeste con una importante insolación sobre ella. La pared no alcanza a estar sombreada por los árboles de la vereda, por lo tanto no cumpliría con los requerimientos de la figura 2 cuál indica que, desde las 11:00h hasta las 19:00h las superficies deben sombrarse durante enero-febrero y marzo, noviembre y diciembre. La vivienda tiene un ventilador de techo que se enciende sólo cuando se usa el comedor. La ventilación natural está limitada a los días en que no hay polvo en suspensión, característica típica del clima en épocas de sequía. La vivienda C1, con su fachada al norte, con acondicionamiento eléctrico, mostró que el 100% del tiempo de monitoreo la temperatura interior promedio no superó los 27°C. Las cortinas de enrollar de las dos ventanas orientadas al norte prácticamente permanecen bajas y además, la parte superior queda protegida por un alero de 1.80m. Alrededor del 77% del tiempo la usuaria de la vivienda C2, con climatización natural, vivió en condiciones de confort durante el periodo de monitoreo. La muy buena disponibilidad de ventilación nocturna cruzada y la masa térmica favorecieron la climatización natural de la vivienda. La vivienda C4, con un acondicionador tipo split que se usó 1.3 hora por día, mostró que el 71% del tiempo de monitoreo los usuarios vivieron en confort. Es una vivienda cuya fachada norte hacia el patio trasero está muy protegida por una cobertura vegetal cumpliendo con las recomendaciones de diseño de la figura 2. Se destaca que los usuarios de las viviendas medidas han adoptado estrategias de climatización natural: ventilación cruzada, protección solar sobre áreas más afectadas en el verano por la radiación solar, sombreado con coberturas vegetales, riego en horas adecuadas etc. El consumo de energía eléctrica diario por metro cuadrado de superficie útil estuvo entre 0.05

y 0.08 kWh/m² con el máximo consumo diario en la vivienda C1 con acondicionamiento eléctrico (11.8 kWh) valor que es de un 80 % superior al promedio histórico registrado en el barrio en donde están localizadas las viviendas (6.6 kWh). La vivienda C3, sin acondicionamiento mecánico, con menor período de permanencia de los usuarios, y un 87% del tiempo con temperaturas por sobre los 27°C, consumió un 50% menos de energía que el promedio histórico del barrio.

El mejoramiento de las condiciones de confort y el ahorro de energía se alcanzaría con la incorporación de aislamiento térmico a la envolvente según cada caso para reducir la carga de enfriamiento y de calefacción. Acordando con Verbeeck and Hens (2005) consideramos que aislar la cubierta en una primera etapa es la medida de mejoramiento más simple y económica, opción que sumada a las estrategias de climatización natural que ya tienen los usuarios incorporadas a su rutina de vida, sin ninguna duda, permitiría reducir el consumo de energía, mejorando las condiciones de confort. En un próximo trabajo se evaluará el costo del mejoramiento de la resistencia térmica de la envolvente superior y la posibilidad de extrapolar los resultados del presente trabajo a otras viviendas de igual tipología dentro de áreas de baja densidad de edificación para estimar el ahorro de energía a nivel urbano teniendo en cuenta la potencialidad del aprovechamiento de la energía solar para la climatización natural de los espacios.

REFERENCIAS

- Allcot Hunt and Mullainathan, Sendhil (2010). Behaviour and Energy Policy. Science Vol. 327, 1204-1205.
- Ballarini, Ilaria y Corrado Vincenzo (2009). Application of energy rating methods to the existing building stock: Analysis of some residential building in Turin. Energy and Buildings 41, 790-800.
- Behling, Stefan y Sophia (2002). Sol Power. La evolución de la arquitectura sostenible. Ediciones G.Gili.
- CPE (Cooperativa Popular de Electricidad) (2009). Memoria y Balance. Ejercicio Económico y Social, 2008-2009.
- Diana Üрге-Vorsatz, Novikova, A. (2006) *Opportunities and costs of carbon dioxide mitigation in the world's domestic sector*. Energy-Efficient Domestic Appliances and Lighting (EEDAL). <http://energyefficiency.jec.cec.eu.int/events/eedal>
- Dixit, Manis Kumar; Fernández-Solis José L., Lavy Sarel, Culp Charles (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. Energy and Buildings. Article in Press
- Filippín C. y Flores Larsen, S. (2009). Analysis of energy consumption patterns in multi-family housing in a moderate cold climate. ENERGY POLICY 37: 3489-3501.
- Fundación Bariloche (2005). Inventario nacional de la Republica Argentina, de fuentes de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero, no controlados por el protocolo de Montreal. http://aplicaciones.medioambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/Inventario_gases.pdf
- Gonzalo, G. (2003). Manual de Arquitectura Bioclimática, 2ª edición. Librería Técnica CP67, Buenos Aires. ISBN N° 987-43-2618-2, 489p.
- INDEC (2006 – 2008). www.indec.gov.ar
- IPCC (2007). Fourth Assessment Report, Working Group III. Chapter 6: Residential and commercial buildings.
- IRAM 11603 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto de Normalización y Certificación. Argentina
- Liu Junjie, Zhang Tengfei, Zhai Zhiqiang (2010). Considering building energy from environmental perspective Energy and Buildings 42.
- Molas L., García V., Iriarte A., Correa E. (2008). Auditoría térmica y variables de confort. Caso de una vivienda del Instituto Provincial de la Vivienda, Ciudad de Catamarca. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol.12, 05.121-05.128.
- Peeters L., de Dear R., Hensen J., D'haeseleer W. (2009). Thermal comfort in residential building: Comfort values and scales for building energy simulation. Applied Energy 86, 772-780.
- Ratti C., Raydan D., Steemers K. (2003). Building form and environment performance: archetypes, analysis and an arid climate. Energy and Buildings 35, 49-59.
- Ratti C., Raydan D., Steemers K. (2005). Energy consumption and urban texture. Energy and Buildings 37, 762-776.
- Re G., Blasco Lucas I. (2008). Monitoreo higrotérmico-energético-luminico de invierno en departamentos ubicados en las ciudades de San Juan y La Plata. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol.12, 05.121-05.128.
- Rosenfeld, E. y Czajkowski, J. (1992). Catálogo de tipologías de viviendas urbanas en el área metropolitana de Bs.As.
- Salvetti B., Czajkowski J., Gómez A. (2009). Análisis del comportamiento energético-ambiental en torre de viviendas en La Plata. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol.13, 05.127-05.134.
- Sulaiman H., Blasco Lucas I., Filippín C. (2009). Incidencia del usuario en el comportamiento higrotérmico estival de una vivienda convencional en San Juan. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 13, 05.53-05.60.
- Verbeeck G., Hens H. (2005). Energy saving retrofitted dwellings: economically viable?. Energy and Buildings 37, 747-754.

ABSTRACT The aim of this study was to evaluate the summer thermal performance of four compact and high - inertia houses located in low-density urban areas of Santa Rosa city, La Pampa (36 ° 27 ' South latitude and 64° 27' West longitude). The monitored data sets for the period between February 5 and 17, 2010 are presented, when an outdoor average temperature of 23.3°C, maximum temperature above 30°C and solar irradiance close to 900 W/m² at solar midday were registered. The average indoor temperature of the house that uses mechanical cooling was 25.0°C and its daily electricity consumption reached 11.8 kWh. In the houses without mechanical cooling the average indoor temperature was 27.1°C with a daily electricity consumption of 5.2 kWh. The thermal insulation of the roof and the use of natural cooling strategies that users have already incorporated into their routine of life, will help improve the indoor comfort conditions with increased energy savings.

Key words: one-family compact housing, thermal monitoring, comfort