



MONITOREO, SIMULACIÓN Y CALIBRACION DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DE UN EDIFICIO BIOCLIMATICO EN ARGENTINA

C. Filippín (1), S. Flores Larsen(2) y V. Mercado(3)

(1) CONICET – Avda. Spineto 785 – CP 6300 – Santa Rosa, La Pampa – Argentina Tel. 02954 434222 –
Fax 02954 434222 e-mail: cfilippin@cpent.com.ar

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

(3) LAHV, INCIHUSA - Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, Centro de Ciencia y Técnica (CCT-
CONICET) Avda. Ruiz Leal s/n Parque General San Martín (5500), Mendoza, Argentina e-mail:
mvmercado@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados del monitoreo y simulación del comportamiento térmico del edificio de la unidad de extensión de INTA Guatraché, La Pampa, Argentina. La simulación de los datos experimentales se realizó mediante el programa SIMEDIF para Windows, a partir de parámetros geométricos y constructivos del edificio, de las propiedades termofísicas de los materiales, de las condiciones meteorológicas medidas y del lugar de emplazamiento. El monitoreo y simulación del edificio permitió evaluar el efecto de las áreas vidriadas, de la orientación de los locales y de calor auxiliar. El 12% de área de ganancia solar directa para la región en estudio es adecuada. El aporte de calor por ganancias internas y calor auxiliar fue de 2.6°C.

Palabras claves: edificio bioclimático, monitoreo experimental, simulación térmica.

ABSTRACT: This paper presents the results of monitoring and simulation of the thermal behavior of the building of the Extension Unit of INTA Guatraché, La Pampa, Argentina. The simulation of the experimental data was performed by Simedif program for Windows, from geometric parameters and construction of the building, the thermophysical properties of materials, weather conditions and geographical coordinates of the localitation. Monitoring and building simulation allowed to assess the effect of glazed areas, the funtional area's orientation and the auxiliary heating. For the region under study the 12% of direct solar gain respect the useful area of the building is adequate. The heat input for internal gains and auxiliary heat was 2.6 °C.

Keywords: bioclimatic building, experimental monitorein, thermal simulation and calibration.

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2011 finalizó la construcción de un edificio bioclimático para albergar las actividades de la Unidad de Extensión y Desarrollo Territorial del INTA en Guatraché, provincia de La Pampa, Argentina. En este trabajo se presentan los resultados de la simulación térmica de los datos obtenidos en el monitoreo experimental del edificio. La localidad de Guatraché se ubica en el extremo SE de la provincia de La Pampa a 175m de altura sobre el nivel del mar (Figura 1). Pertenecce a una región sub-húmeda seca caracterizada por mesetas, valles, colinas y planicies con cultivos, pastizales bajos y bosques abiertos. La Tabla 1 muestra

algunos datos climáticos. Pertenece a la zona bioambiental IVc, templada fría de transición de la Norma IRAM 11602 que recomienda muy buena aislación térmica en toda la envolvente del edificio.



Figura 1: Ubicación de la localidad de Guatraché en la provincia de La Pampa e imagen del entorno

La urbanización de localidad responde a una distribución en damero. El predio se encuentra en un entorno de casas bajas y de escasa densidad de edificación. El diseño del edificio realizado en 2006 priorizó además de la climatización natural de los espacios y una zonificación clara de las distintas áreas funcionales, la flexibilidad de uso de éstas y el bajo costo de operación y mantenimiento del edificio.

Tabla 1: Datos Climáticos

		máxima	22.1
	Temperatura media (°C)	media	7.6
Valores anuales		mínima	14.6
	Radiación solar media anual sobre superficie horizontal (MJ/m2)		18.8
	Humedad relativa (%)		64
	Temperatura media de invierno (°C)	mínima	1.1
		media	6.9
		máxima	13.1
	Amplitud térmica de invierno (°C)		12.0
	Temperatura mínima absoluta de julio (°C)		-11.0
	Velocidad media del viento en invierno (km/h)		11
	Radiación solar media julio sobre superficie horizontal (MJ/m2)		8.1
	Grados-día de calefacción base 18°C		1505

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

A partir del ingreso se distribuyen las áreas funcionales según un eje E-O. Un elemento determinante del diseño arquitectónico y energético es un plenum técnico-térmico, con ventanas al ecuador, que se ubica entre la zona norte y sur y a 2.40m de altura sobre la circulación (ver imagen). El área se pensó como un sector captador-almacenador-compensador de energía solar, un ‘volante térmico’, que permitiría operar el edificio de acuerdo a las estaciones del año reforzando el calentamiento del sector sur del edificio a través de la apertura de las ventanas que se ubican entre ambos sectores y permitiendo optimizar la ventilación natural y cruzada en el verano. Esta situación se repite en el área de administración en la cuál las ventanas altas pueden ser abiertas desde una pasarela (continuación del plenum). El sector oficinas está orientado al norte con áreas transparentes como ganancia solar directa para su climatización en invierno. En el extremo N-O y orientada

al Norte se ubica el área de capacitación-esparcimiento-socialización que se conecta al resto del edificio (administración-extensión-investigación) a través de la circulación este-oeste. El área se usa como cocheras. La dirección se ubica en el sector sur con ganancia solar indirecta desde el plenum. Las ventanas al sur permiten la expansión visual, iluminación y ventilación natural. Hacia el oeste de la dirección, se ubica el sector de servicios. La solarización del edificio queda definida por la ganancia solar directa (área efectiva de vidrio) cuyo total corresponde al 12% de la superficie útil del edificio. La conservación de la energía y su acumulación se logra a través de la tecnología de la envolvente. Las paredes son tri-capa: ladrillo macizo como masa térmica en el interior (espesor = 0.17m, aislación térmica de poliestireno expandido de 0.05m de espesor) y la protección mecánica externa de ½ bloque de hormigón ($R = 1.923 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$). Los techos inclinados son de chapa pre-pintada blanca con una membrana de espuma de polietileno de 5mm con film de aluminio y aislamiento de lana de vidrio de 0.100m de espesor con cielorraso de chapa metálica ($R=0.34 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$). La carpintería es de aluminio pre-pintada con ruptura de puente térmico y premarco de madera. Las ventanas tienen un solo vidrio y cortina de enrollar motorizada con lamas regulables en el sector norte. El valor de G (Coeficiente Volumétrico de Pérdidas) satisface los requerimientos de la Norma IRAM 11604. Como resultado de la pared de ladrillo macizo en el interior de la envolvente vertical y el uso también de paredes interiores macizas, el edificio es de alta inercia (400 kg/m², (Goulding, Owen Lewis y Steemers, 1994)). Para mayor información ver Marek y Filippín (2007). La Figura 2 muestra imágenes del edificio terminado, el uso de los espacios y la participación de los usuarios en diferentes actividades.

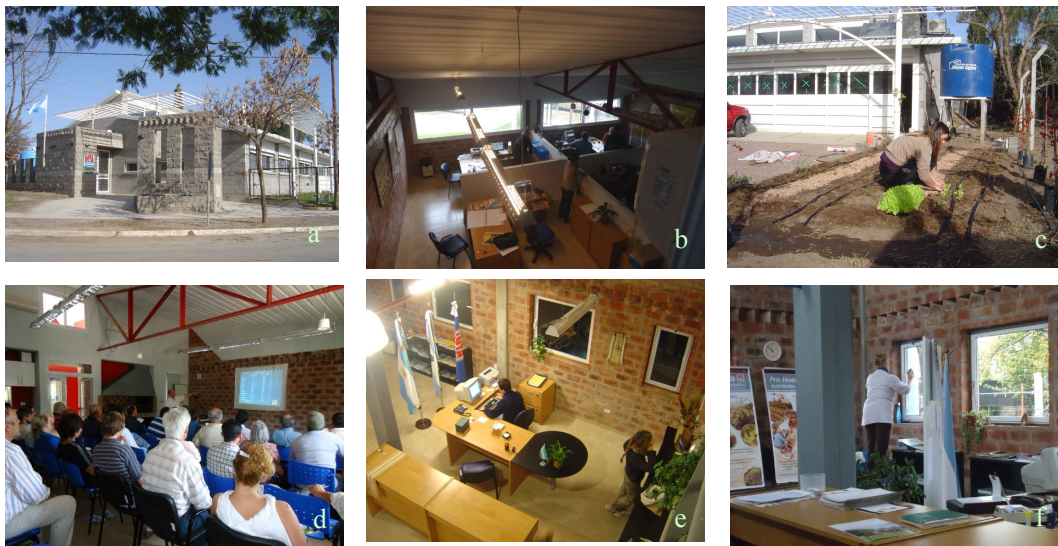


Figura 2: Vistas exteriores e interiores del edificio: a-vista norte, b-vista interior desde plenum a oficinas, c- actividades de huerta, d- vista del SUM, e- vista desde plenum hacia administración y f-participación activa del personal de maestranza

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es obtener datos que validen el uso de la tecnología solar en los edificios. A partir de estos datos, que describen el comportamiento energético real del edificio, estudiarlos y analizarlos para poder replicar el diseño en otros sitios con condiciones climáticas semejantes o no, maximizando la confiabilidad del diseño bioclimático.

3. METODOLOGÍA

La metodología está formada por cuatro etapas.

- 1- Una vez construido el edificio bioclimático, se procede a diseñar el esquema de monitoreo, teniendo en cuenta los sistemas y los espacios que se quieren analizar para evaluar su comportamiento térmico.

- 2- Posteriormente se comienza con el monitoreo de las condiciones climáticas del ambiente exterior (radiación solar, temperatura del aire exterior, velocidad y dirección de vientos) y la temperatura del aire, la temperatura radiante media y la humedad relativa en las distintas áreas funcionales.
- 3- A partir de los datos obtenidos en la etapa de monitoreo se procede a ajustar el modelo de simulación que representa al edificio a través del modelo de simulación *Simedif bajo Windows*.
- 4- Por último, una vez ajustado el modelo se simula el comportamiento del edificio exclusivamente con el aporte del calor del sol y la tecnología usada en la envolvente y sin el aporte de las ganancias internas.

3.1. MONITOREO EXPERIMENTAL

El monitoreo se inició el 8 de agosto de 2011. Los datos analizados en este trabajo corresponden al periodo comprendido entre el 10 y el 25 de agosto. Las mediciones se realizaron cada 30 minutos mediante almacenadores de datos Hobo Modelo Serie U12 ubicados en las diferentes áreas funcionales y un HOB0 externo para intemperie Modelo Pro Series. En el techo del edificio se ubicó una estación meteorológica inalámbrica HOB0 con sensor Licor y veleta. En la Figura 3 se pueden observar los círculos correspondientes a la ubicación de los almacenadores de temperatura y humedad relativa.

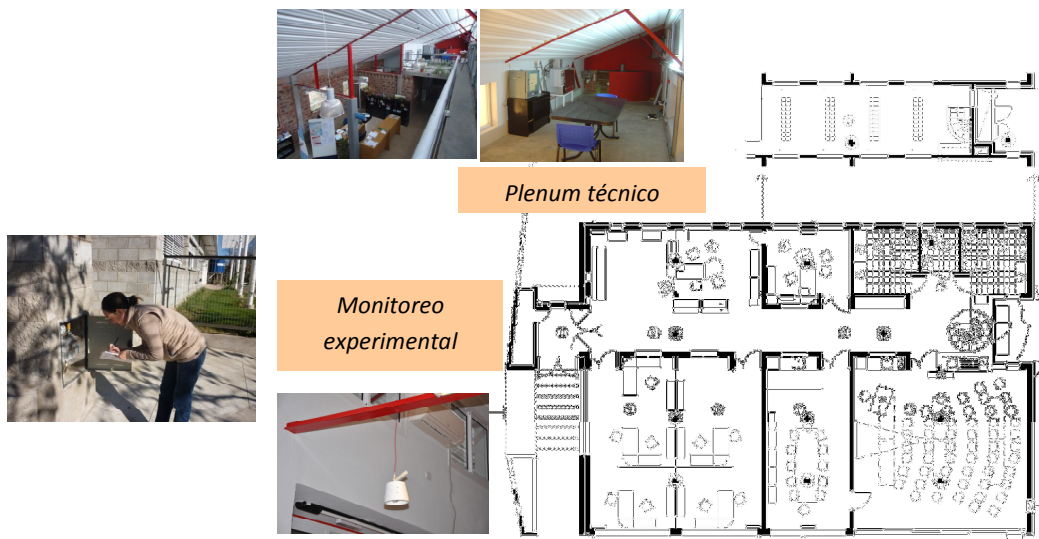


Figura 3: Ubicación de los sensores e imágenes del plenum y su extensión en pasarela sobre administración

El primer período fue frío y muy ventoso, condiciones climáticas características de la región en estudio. La temperatura estuvo algo por debajo de los 0°C con predominancia de viento del sur-oeste durante casi todo el día con velocidades que llegaron a los 4.5m/s (16.2 km/h). En la figura 4 se observa la situación la radiación solar y de la velocidad del viento. La figura 5 muestra la evolución de la temperatura en las distintas áreas funcionales. Se observa un acople entre las curvas de la oficina y sala de reuniones al norte y de la dirección y administración, áreas que tienen su envolvente vertical al sur pero cuentan con ingreso de sol directo desde el norte a través de ventanas altas (ver figura 2).

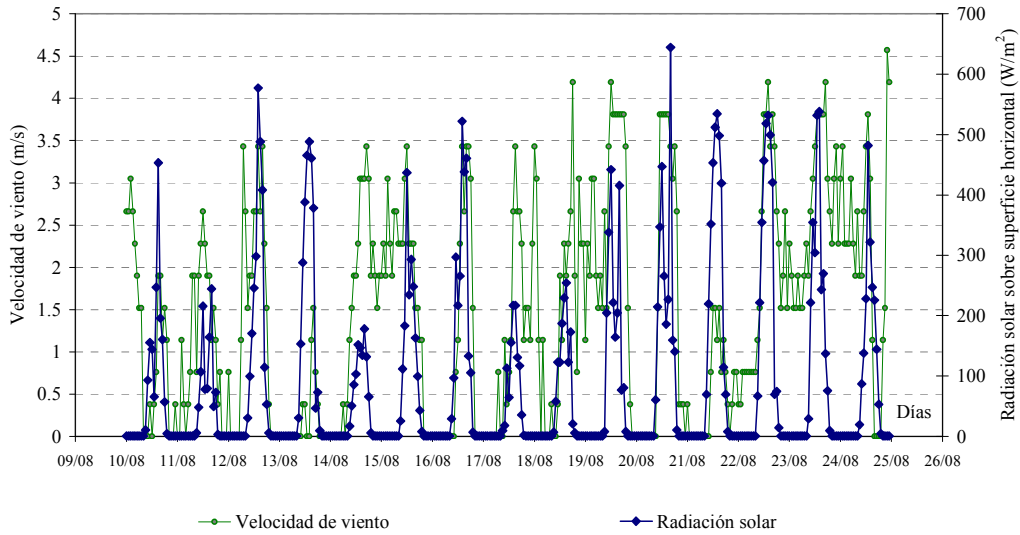


Figura 4: Radiación solar sobre superficie horizontal y velocidad de viento en el período de simulación

La curva que corresponde a la evolución de la temperatura en el SUM se encuentra por debajo de las anteriores, y por encima, la que corresponde al plenum técnico-térmico. Como era de esperar el comportamiento térmico del SUM está muy acoplado por un lado, a las características tecnológicas y funcionales del área, por otro a la evolución de la temperatura externa. El área tiene un portón de chapa metálica que cubre todo el vano con poca hermeticidad y provoca excesivas renovaciones con fuga de calor. La parte superior tiene áreas de vidrio que permiten ganancia solar directa, sin despreciar un calentamiento indirecto a través de la misma chapa, ambos aportes de calor provocan el ascenso de la temperatura que está asociado a la disponibilidad de recurso solar. No se observa zonificación térmica entre las áreas de uso cotidiano.

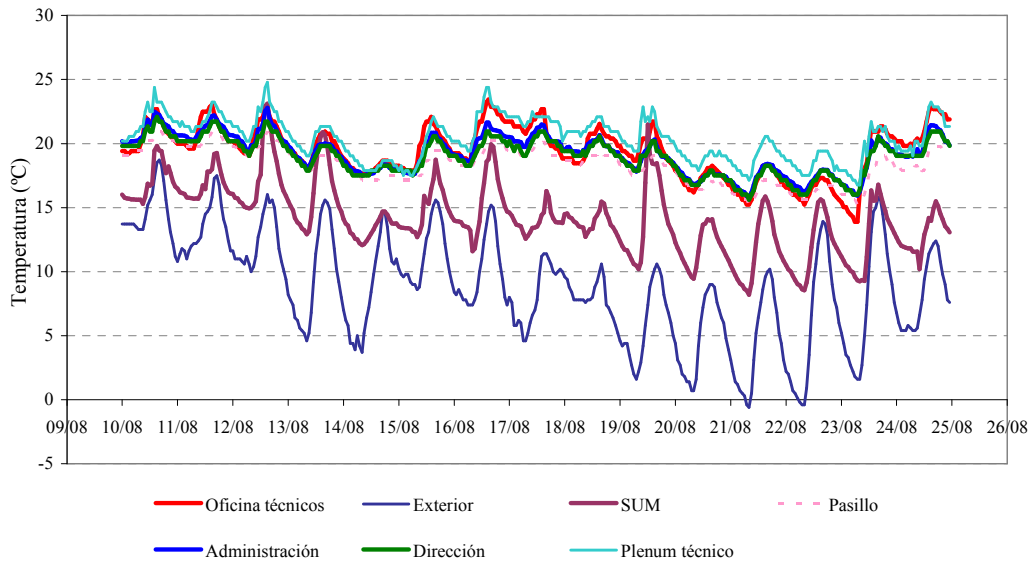


Figura 5: Comportamiento térmico de las áreas funcionales entre el 10 y el 25 de agosto de 2010.

3.2. SIMULACIÓN Y CALIBRACION

A partir de los resultados del monitoreo del edificio se considera necesario evaluar al mismo sin el aporte de la ganancia interna producida por las personas. Con la ayuda del programa de simulación SIMEDIF para Windows (Flores Larsen y Lesino, 2001), se calibra el edificio y las situaciones particulares.

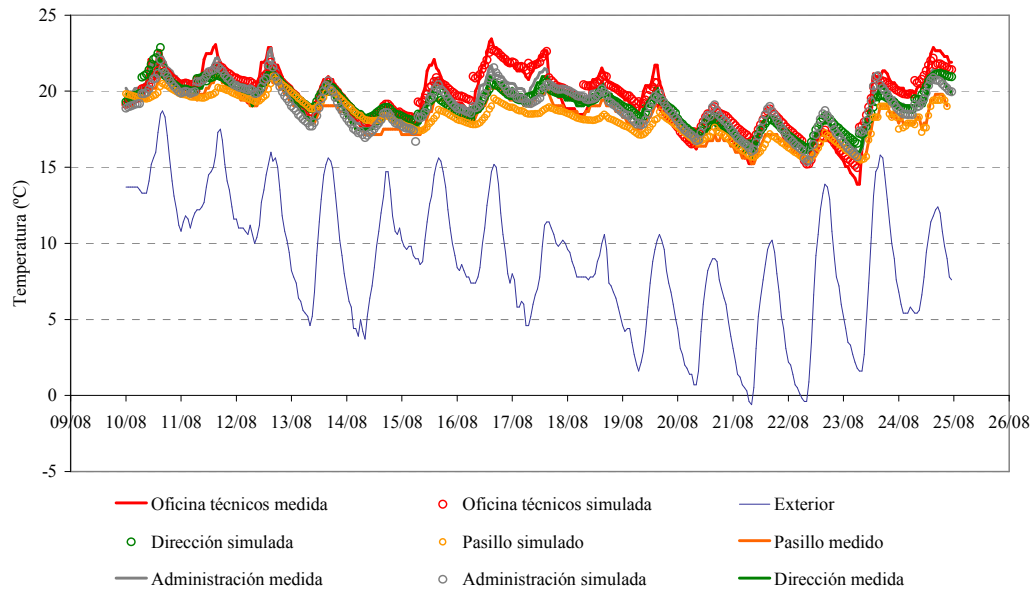


Figura 6: Simulación y calibración del comportamiento térmico en áreas de uso permanente.

Se utilizaron los datos geométricos y constructivos del edificio y las condiciones climáticas monitoreadas durante el periodo. Los valores de los coeficientes de transferencia por convección-radiación fueron de 6 y $8\text{W/m}^2\text{°C}$ para las superficies internas no asoleadas y asoleadas, respectivamente. Teniendo en cuenta la velocidad de viento medida de 1.4 m/s se estima el coeficiente convectivo sobre superficie externa de la envolvente, valor que resulta de $11\text{ W/m}^2\text{°C}$ de acuerdo a: $5.7 + 3.8\text{ vv}$ (Duffie y Beckman, 1991). Se incorporaron al análisis las ganancias internas durante el período de uso diario y se consideró el aporte de calor auxiliar según la información suministrada por los usuarios.

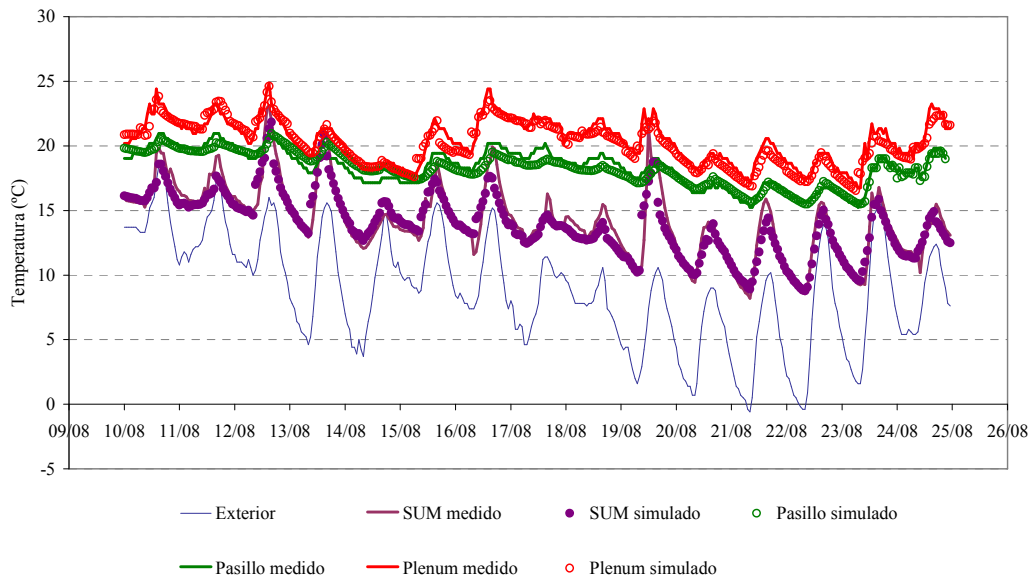


Figura 7: Simulación y calibración del comportamiento térmico en áreas de uso no-permanente.

Tabla 2: Comportamiento térmico del edificio durante el período de monitoreo y simulación con y sin ganancias internas y calor auxiliar.

Temperatura promedio (°C) con y sin ganancias internas y calor auxiliar					
Ganancias internas y calor auxiliar	Exterior	Edificio	Area de uso permanente	Area de uso no-permanente	Plenum
Si	8.9	18.0	19.1	16.1	20.1
No	8.9	15.4	14.9	14.4	20.9
Fin de semana extendido con calor auxiliar y sin ganancias internas	5.2	16.0	16.9	15.1	18.5

Las figuras 6 y 7 muestran los resultados de la calibración. El ajuste entre datos experimentales y simulados entre el 10 y el 25 de agosto permitió eliminar las ganancias internas y el uso de calefactores de acuerdo al registro tomado por los usuarios para poder estimar el aporte de calor por solarización y conservación. La Tabla 2 muestra los resultados. En condiciones reales de uso la temperatura interior del edificio estaría 9.1°C por encima de la temperatura promedio exterior durante el período de monitoreo. Dicho incremento podría haber sido aún mayor de no ser por la alternancia de días de cielo claro con semi-cubiertos y alta velocidad de viento con frecuencia del sur. El valor desciende a 6.5°C sin aportes internos de calor. La disipación metabólica y el calor auxiliar estarían provocando un incremento de la temperatura promedio interior de 2.6°C.

Si se considera el fin de semana extendido con una irradiancia solar promedio diaria de 11 MJ/m² y una temperatura promedio del aire exterior de 5.2°C (valor más cercano a la temperatura promedio de julio según Tabla 1), con las cortinas de enrollar bajas y sólo con calor auxiliar (20, 21 y 22 de agosto) el edificio estaría 10.8°C por encima de la temperatura promedio exterior. El consumo de gas natural medido para estos tres días con una irradiancia solar diaria promedio de 11 MJ/m² fue de 0.92m³/h, aproximadamente 22.3 m³/d considerando la culminación de las actividades a las 15h del día 19 e inicio a las 8h del día 23. El valor es superior al estimado en la simulación térmica realizada en la etapa de pre-diseño del edificio que fue de 9.4 m³/d, para una temperatura base de 18°C, una temperatura exterior de 6.9 °C (11.1°C de delta T) y una irradiancia solar de 8.1 MJ/m². Las condiciones de simulación fueron: 1- no se consideran las ganancias internas 2- no se toma en consideración la eficiencia de los equipos y 3- se tomó el área efectiva de vidrio como ganancia solar directa sin cortina de enrollar. Los valores de delta T en el pre-diseño y en la calibración son similares. Si se consideran como hipótesis que 1- las pérdidas energéticas están definidas por el diseño de conservación de energía y han sido calibradas en el modelo 2- una eficiencia de los equipos del 70% que daría un consumo diario de 16m³ la diferencia entre el consumo real y el estimado en el pre-diseño estaría definido por la ausencia de ganancia solar directa por el cierre de las cortinas de enrollar el fin de semana extendido.

4. CONCLUSIONES

El monitoreo y simulación del edificio en el periodo invernal permitieron evaluar el efecto de las áreas vidriadas, de la orientación de los locales y del encendido de la calefacción en el comportamiento térmico del edificio. El periodo de estudio incluyó días en que el edificio estuvo en pleno funcionamiento, con el aporte de calor de los usuarios y de la calefacción. Es importante destacar que cuando los edificios se encuentran en pleno funcionamiento aparecen parámetros de los que es muy difícil llevar un registro horario, como la apertura y cierre de puertas y ventanas, el oscurecimiento de las áreas vidriadas para evitar deslumbramiento, etc.. En el caso bajo estudio se contó con una información importante suministrada por los usuarios que permitieron una simplificación de la información al momento de realizar la simulación del comportamiento térmico global del edificio. SIMEDIF para Windows permitió obtener resultados satisfactorios con un ajuste de 0.5°C. La calibración facilitó estimar el aporte de calor en °C del edificio en distintas condiciones de uso. Durante el fin de semana extendido (20, 21 y 22 de agosto) la temperatura del aire interior del edificio alcanzó los 16°C (temperatura promedio exterior = 5.2°C) con calor auxiliar y sin usuarios.

El monitoreo y la simulación permitió un análisis detallado del comportamiento térmico del edificio. Los resultados mostraron un buen ajuste entre datos medidos y simulados para un período en el cuál se observó alternancia de días con cielo claro y semi-cubierto y con fuertes de vientos de SW. La simulación predijo correctamente la amplitud térmica. Este ajuste permite ratificar con muy buena aproximación la validez de los coeficientes convectivos y de las características termofísicas de los materiales empleados. La auditoría realizada por los propios usuarios en cuanto a lectura de los medidores de gas natural y electricidad permitió incorporar al modelo de simulación hora a hora las cargas internas de calor por disipación metabólica, calor auxiliar y equipamiento.

El ajuste obtenido permitirá replicar el edificio en otra localidad de la provincia con las intervenciones necesarias para satisfacer los requerimientos climáticos de una nueva localización. Los resultados son de buena confiabilidad para disminuir la impredecibilidad de un pre-diseño arquitectónico-térmico

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Duffie A. y Beckman W. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, Inc.
- Filippín C., Beascochea A. y Gorozurreta J. (2001). Residencias universitarias bioclimáticas en La Pampa. Resultados de su comportamiento térmico y energético. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, N° 5, pp.05.01-05.06.
- Filippín C., Beascochea A., Flores Larsen S. y Lesino G. (2002a). Monitoreo y simulación del comportamiento térmico de un conjunto de viviendas bioclimáticas para estudiantes de escasos recursos de la Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. En: *Actas del XI Congreso Ibérico E Vi Ibero-Americano De Energía Solar*, setiembre de 2002, Vilamoura, Portugal.
- Filippín C., Beascochea A., Flores Larsen, S. y Lesino, G. (2002b). Diseño y tecnología de un conjunto de viviendas bioclimáticas de la Universidad Nacional de La Pampa. Monitoreo térmico y energético. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, N° 11, pp.1-10.
- Filippín C., Flores Larsen S. y Lesino G. (2002c). Simulación térmica de verano de un sector del bloque de residencias estudiantiles bioclimáticas en Santa Rosa, La Pampa. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 6, pp. 05.19-05.24.
- Flores Larsen, S. y Lesino, G. (2001a). Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, N° 9, pp.15-24.
- Flores Larsen, S. y Lesino, G. (2001b). A new code for the hour-by-hour thermal behavior simulation of buildings. Lesino. Seventh International IBPSA Conference On Building Simulation, agosto de 2001, Río de Janeiro, Brasil, pp. 75-82.
- Flores Larsen, S. y Lesino, G. (2002). Programa de diseño y simulación de edificios. En: *Actas del XI Congreso Ibérico E Vi Ibero-Americano De Energía Solar*, setiembre de 2002, Vilamoura, Portugal.
- J. R. Gouldings, J Owen Lewis Theo O. Steemers. (1994). *Energy in Architecture The European passive Solar Handbook*.
- Marek, I. y Filippin, C. (2007), Edificio bioclimático para la Unidad de Extensión y Desarrollo Territorial del INTA en Guatraché (La Pampa). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol.11, 05. 01 - 05. 08.
- IRAM 11603 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.