

## COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS BIOCLIMÁTICOS DE USO INTERMITENTE Y DE ALTA CARGA INTERNA EN LA PAMPA\*

Filippín, C.<sup>1</sup>, Beascochea, A<sup>2</sup> y Rubio, M.<sup>3</sup>

CONICET - Universidad Nacional de La Pampa - Spinetto 785 – (6300) Santa Rosa, La Pampa, Argentina  
Tel-Fax (54) 2954 434222 – E-mail: cfilippin@cpenet.com.ar

**RESUMEN** El trabajo muestra el diseño y los resultados del comportamiento energético de edificios bioclimáticos de uso no residencial e intermitente y de altas cargas internas: *auditorio, sala de informática y sala de lectura*, localizados en General Pico (La Pampa). La envolvente horizontal y vertical tiene un valor  $R = 2$  y  $2.13 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ , respectivamente. Temperatura promedio del auditorio para invierno:  $21.2^\circ\text{C}$  (temperatura promedio exterior =  $10^\circ\text{C}$ ) con un consumo de gas para calefacción durante 2005 de  $1800 \text{ m}^3$  ( $17.3 \text{ m}^3$  de gas natural por día, menor a los  $26.4 \text{ m}^3$  estimados durante el pre-diseño). Temperatura promedio interior de verano:  $25.5^\circ\text{C}$  ( $0.5^\circ\text{C}$  por encima de la temperatura promedio exterior) sin acondicionamiento artificial. Hacia el final del verano 2006, y bajo condiciones reales de uso, la temperatura promedio de la sala de lectura y la sala de informática fue de  $25.5$  y  $23.0^\circ\text{C}$ , respectivamente (temperatura promedio exterior =  $20.6^\circ\text{C}$ ). En el otoño y sin usuarios (temperatura promedio exterior =  $13.0^\circ\text{C}$ ) la sala de lectura e informática mostraron valores de  $23.7$  y  $20.1^\circ\text{C}$ , respectivamente.

**Palabras claves:** Arquitectura bioclimática, Uso intermitente, Alta carga interna.

### INTRODUCCION

Los edificios son manifestaciones de las innovaciones técnicas. Dan cobijo, se adaptan a nuestras necesidades y expresan deseos, representan cultura. Las estrategias empleadas para proyectarlos y ejecutarlos tienen consecuencias inmediatas respecto al consumo de energía, que depende en gran medida de la tecnología usada durante el proyecto, ejecución, operación y mantenimiento. Los edificios consumen la mitad de la energía que los seres humanos utilizan (Behling y Behling, 2002) y lo hacen de diversas formas según Jones (2002): incorporada (materiales), gris (transporte), inducida (construcción) y operativa (funcionamiento). En general el hombre pasa el 80% de su vida en el interior de los edificios. En consecuencia la disponibilidad de un ambiente saludable y confortable no sólo se refiere al standard de vida sino que se acopla al consumo de energía y polución del ambiente (Zhao, Sun y Ding, 2004). Los edificios son devoradores de energía (una porción significativa proviene de combustibles fósiles). En Estados Unidos el 38% del consumo de energía en el año 2000 corresponde al sector edilicio; los combustibles fósiles representan entre el 70 y el 85% del total de energía consumida. El sector es un contribuidor significativo de la polución, en 1999 el 48.5% de dióxido de sulfuro fueron atribuidas a los servicios de los edificios. En el mismo año el 35% de la emisión de  $\text{CO}_2$  correspondió al sector edilicio (Vine, 2003).

Desde el año 1994 en la Universidad Nacional de La Pampa se han diseñado y construido edificios energéticamente eficientes, de tipo residencial y no residencial, en distintas localizaciones geográficas de la provincia (clima templado cálido y frío). Todos ellos fueron monitoreados energéticamente con resultados altamente satisfactorios en invierno pero con algún problema de sobre - calentamiento en verano y estaciones intermedias - por razones de diseño y por mal uso del espacio interior - (Filippín y Beascochea, 2004). Una síntesis energética y ambiental de los resultados de este conjunto de edificios permitió, en una integración metodológica, diseñar un conjunto de edificios, de uso no residencial e intermitente y con altas cargas internas en un clima templado cálido (Filippín, 2005). El conjunto está integrado por un *auditorio, una sala de lectura y una sala de informática*. Se ubican en General Pico (latitud:  $36^\circ 52'$ ; longitud:  $63^\circ 45'$ ) que pertenece a la zona bioclimática IIIa de la Clasificación Bioambiental de la República Argentina (Norma IRAM, 11603, 1996). Según el bioclimograma de Givoni (1969) para valores de temperatura media máxima y humedad relativa media mínima se recomienda para verano el uso de ventilación selectiva e inercia térmica. Los valores de temperatura media mínima y humedad relativa media máxima determinan el uso de calentamiento solar para ingresar a la zona de bienestar. En invierno (Fig.2). Los objetivos del presente trabajo son: describir el diseño y la tecnología de los edificios y mostrar los resultados del comportamiento térmico y energético.

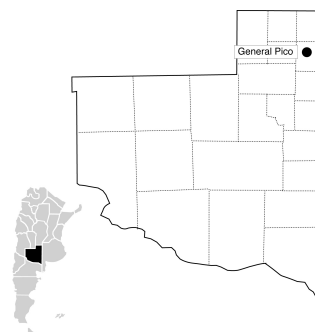


Figura. 1: Localización de General Pico

\* Proyecto financiado por CONICET PIP 6543

<sup>1</sup> Investigadora de CONICET

<sup>2</sup> Directora de Arquitectura de la Universidad Nacional de La Pampa

<sup>3</sup> Técnica

## DISEÑO Y TECNOLOGIA

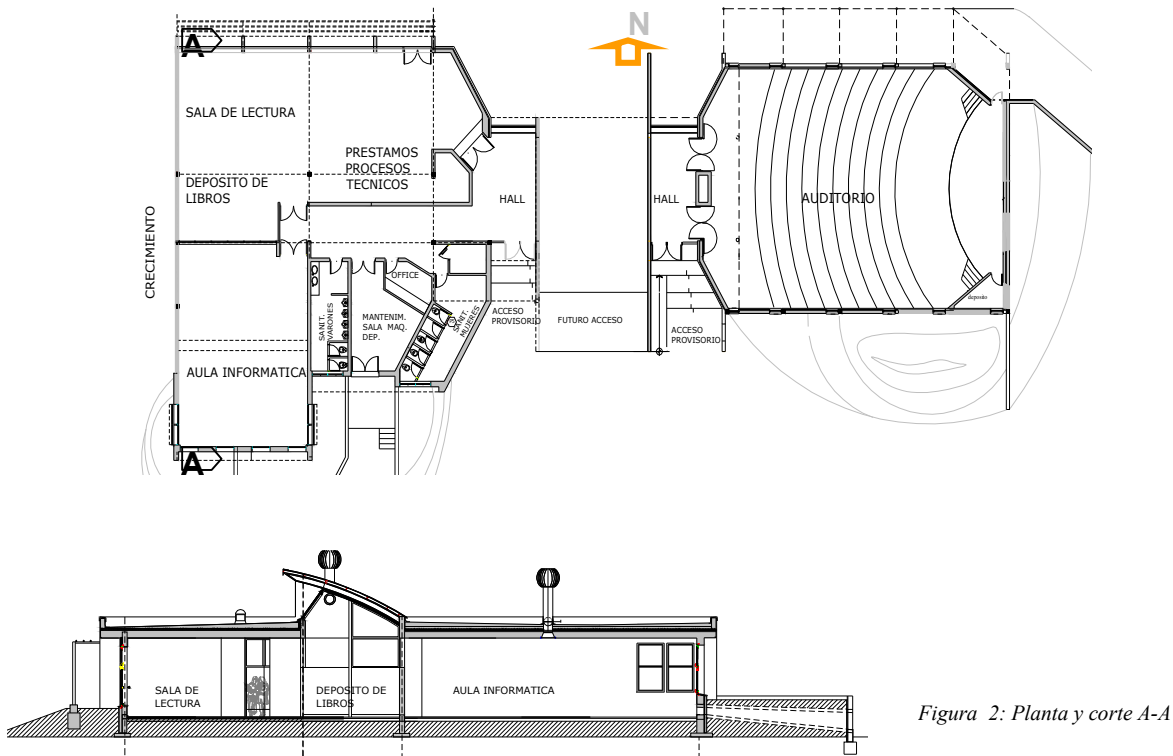


Figura 2: Planta y corte A-A

En este conjunto de áreas funcionales diferentes hay una superposición horaria entre el período de uso más intensivo de los espacios y las horas de mayor insolación, situación que beneficia el comportamiento térmico de invierno pero no el de verano. El diseño del sistema de climatización natural tuvo dos objetivos fundamentales: alcanzar el confort térmico con una reducción de la demanda energética durante todo el año. El auditorio en particular se describió en trabajos anteriores (Filippin, Beascochea y Flores Larsen, 2004; Filippin y Beascochea 2005 [a-b]).

Para la sala de informática, y en función de los antecedentes descriptos y como se trata de un aula con altas cargas internas el pre - diseño térmico se realizó previamente para verano (período de uso: 8 a 12h y de 14 a 18h). Se consideró una carga de 500 W por alumno (carga interna durante 8 horas: 15 kW = 432MJ/día). Como opción determinante de diseño se prescindió de ventanas al Norte para evitar sobre - calentamiento y deslumbramiento. Las áreas transparentes se ubican al Sur, permiten, además de expansión visual, ventilación natural (estrategia de diseño que surge como medida correctora para alcanzar el bienestar de verano - Givoni, 1969). Se adoptaron superficies exteriores claras con baja absorción para disminuir la temperatura sol-aire sobre el paramento y evitar su sobre - calentamiento, situación ya observada en el muro Oeste con alta absorción de las Residencias Universitarias en General Pico (Filippin, 2000). Respecto a las renovaciones mínimas, se adoptó lo establecido por ASHRAE STANDARD 62 (2002) que recomienda 15 cfm/persona para este tipo de edificios (30 personas = 2 renovaciones/hora). Otros autores recomiendan 4 renovaciones/hora para salas con alta densidad de ocupación (Yañez Parareda, 1982). Se adoptaron 3 renovaciones horarias. Para alcanzar el bienestar en verano se recomienda además de ventilación, el uso de masa térmica (Givoni, 1969) con un diseño que debería permitir una amplitud térmica de no más de 5°C (Balcomb, 1992) - +2.5 y -2.5°C respecto a la temperatura media adoptada -, es por ello que para el área que se describe se recomendó la envolvente vertical de ladrillo macizo de 0.30m de espesor (el área disponible de piso-contrapiso, ocupada por máquinas, escritorios, etc., resultaba poca como acumulación). Para estas recomendaciones la sala de informática alcanzaría en verano una temperatura media de 22°C (Filippin, 2005). Las estrategias de diseño para la sala de lectura fueron: climatización natural (ganancia solar directa para invierno), ventilación e iluminación natural y, expansión visual. A partir de un análisis detallado de la envolvente, y en función de aspectos higrotérmicos, complejidad constructiva (observada en los diferentes edificios construidos) y el costo por metro cuadrado, se adoptó un muro tri - capa: una pared interior de ladrillo macizo de 0.18m de espesor, aislación de poliestireno expandido y una protección mecánica de la capa anterior, de ladrillo cerámico hueco (espesor: 0.08m). La aislación térmica es de 5 y 7 cm para la envolvente vertical y horizontal, respectivamente. Hacia los 5 metros de la fachada norte se colocó una línea de lumiductos para optimizar la iluminación natural interior.

La tecnología de los cerramientos en el diseño cumple con la Normativa IRAM (11601 -11605 y 11625) respecto a transmitancia térmica y condensación superficial e intersticial.



Figura 3: Vista norte (imagen superior: hacia la izquierda auditorio, hacia la derecha sala de lectura); Vista sur (imagen inferior: hacia la derecha auditorio; hacia la izquierda sala de informática)



Figura 4: Vistas de las distintas áreas funcionales (1: sala de lectura, 2: lumiductos hacia el fondo de la sala de lectura, 3: sala de informática- ventanas hacia sala de lectura, 4: ventanas en la fachada sur-oeste de la sala de informática, 5: ganancia solar directa en zona de archivo e indirecta hacia pasillo y sala de informática)

## RESULTADOS Y ANALISIS

El monitoreo térmico y energético del auditorio inició el 22 de junio de 2005, el de la sala de informática y sala de lectura el 31 de marzo de 2006. En el auditorio se colocaron sensores tipo Hobo para medir temperatura y humedad. En la biblioteca se midió temperatura, humedad y nivel de iluminación sobre mesa de lectura y en zona de mostrador (bajo área de lumiductos). Se midió temperatura en la zona de archivos, en el pasillo y la sala de informática. También se colocó un sensor Hobo tipo Cámara sobre la cubierta del auditorio para medir condiciones climáticas en el lugar del emplazamiento del edificio. La radiación solar se obtuvo de una estación meteorológica de la Estación Experimental de INTA ubicada a 30 km de General Pico.

### Auditorio

La Tabla 1 muestra la ubicación de los sensores en el auditorio. En el invierno el edificio alcanzó una temperatura promedio de 21.2°C, 11.2°C por encima de la temperatura exterior (10°C), en el verano y sin acondicionamiento artificial estuvo 0.5°C por encima de la temperatura promedio del ambiente exterior (25.0 °C) (Figura 5).

1	2	3	17	4	6	7	8	9	10	11	14
Norte	Norte	Hall acceso	Nivel -0.80m		Oeste	Sur	Sur	Escenario	Butacas		
			Norte	Sur							

Tabla 1: Ubicación de los sensores

La variabilidad de la temperatura diaria promedio en el invierno respecto al valor promedio estacional fue de casi el 6%, 3.35% por encima de la variabilidad en el verano (Tabla 2). En un análisis de frecuencia de la temperatura diaria se observa que en el invierno, y en condiciones reales de uso, el 70% de los valores máximos estuvieron comprendidos entre los 22 y 24°C, sólo el 21% de los días alcanzó los 25°C. Para la temperatura mínima diaria el análisis de los resultados muestra que el 67% de los días osciló entre los 20 y 22°C, y el 22% estuvo por debajo de los 18°C. Si bien durante el verano la temperatura promedio interior fue de 25.5°C, el 47.5% de los días la temperatura máxima estuvo por sobre los 28°C y el 42% entre 24 y 28°C; sólo el 31.6% de la temperatura mínima diaria estuvo por debajo de los 22°C y el 55% entre 22 y 26°C. Más información respecto al comportamiento térmico del auditorio se puede ver en el trabajo de Flores Larsen y Filippín (2006) que se presenta en ASADES 2006.

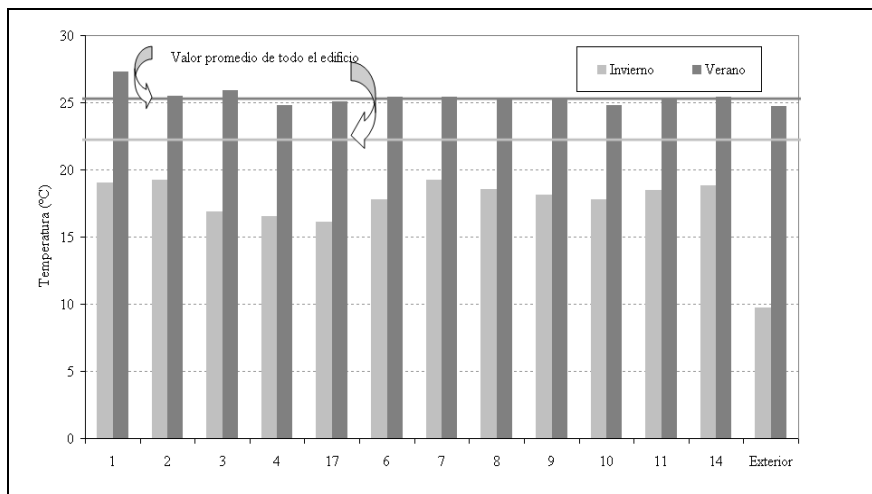


Figura 5: Temperatura media estacional en las distintas áreas del edificio en °C. Periodo invierno y verano completo: 21-06-2005 al 21-09-2005 y 21-12-2005 al 21-03-2006

Indicadores estadísticos	Temperatura promedio		Amplitud térmica	
	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO
Promedio	21.2	25.5	2.95	4.125
Desvío Estándar	1.07	0.65	1.17	0.87
Coefficiente de variación	5.91	2.56	39.5	21.1

Tabla 2: Indicadores estadísticos del comportamiento térmico estacional (Invierno: 21-06-2005 al 21-09-2005, excepto el receso; Verano: 21-12-2005 al 21-03-2006)

#### Auditorio, sala de informática y biblioteca

Para el análisis de los resultados se toman diferentes períodos: a- fin del verano e inicio del otoño en condiciones reales de uso; b- período comprendido entre el 13 y el 16 de abril (Semana Santa). En la Figura 6 se observa el comportamiento térmico de las tres áreas funcionales para el período comprendido entre el 31 de marzo y el 7 de abril en condiciones reales de uso. En el ambiente exterior hubo una predominancia de días con cielo claro (irradiación entre 600 y 700 W/m<sup>2</sup>) y una temperatura máxima de 35°C y sólo un día con cielo cubierto y descenso de la temperatura con una máxima de 25°C. La temperatura promedio del auditorio fue de 23°C (2.4°C por encima de la temperatura promedio exterior). Los resultados muestran para la biblioteca (hacia el norte) una temperatura promedio de 25.3°C, 2.3°C por encima de la temperatura promedio de la sala de informática, hacia el sur (23.0°C). Entre ambas áreas, y de norte a sur, se ubica la zona de mostrador con una temperatura promedio de 25.4°C y la zona de archivos con 24.9°C. (Ver Tabla 4).

Area	31 de marzo al 7 de abril de 2006-04-01 (con usuarios)	13 al 16 de abril de 2006 (sin usuarios)
Sala de lectura	25.5	23.7
Mostrador	25.4	23.5
Archivos	24.9	23.3
Sala de informática	23.0	20.1
Auditorio	23.0	19.0
Exterior	20.6	13.0

Tabla 4 Temperatura promedio de cada área funcional (°C)

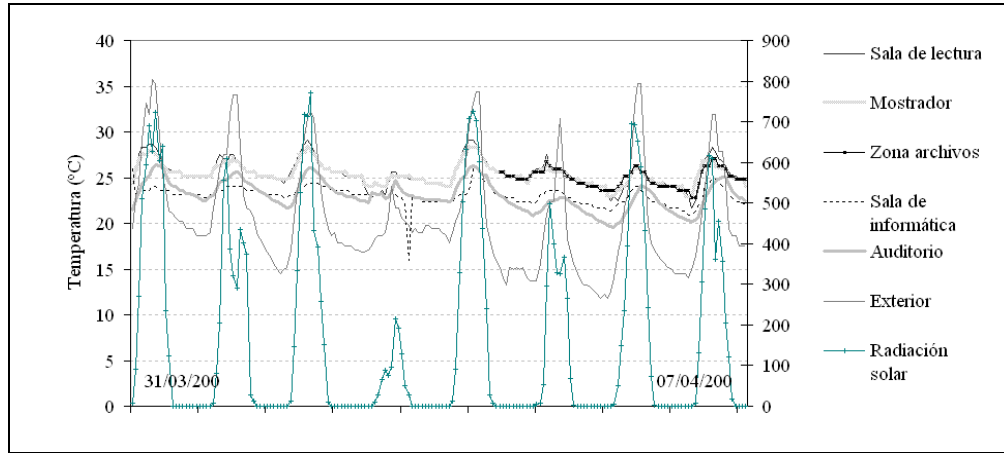


Figura 6 : Comportamiento térmico de las distintas áreas funcionales entre el 31 de marzo y el 7 de abril de 2006 (con usuarios)

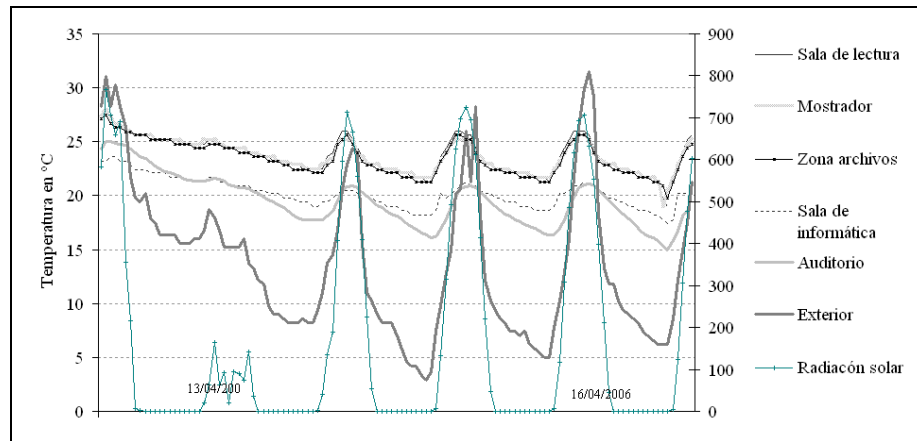


Figura 7: Comportamiento térmico de las distintas áreas funcionales entre el 13 y el 16 de abril de 2006 (sin usuarios)

En el segundo período (13-16 de abril de 2006), sin usuarios (Semana Santa), la temperatura exterior alcanzó un valor máximo de casi 25°C con una temperatura promedio de 13°C y valores de irradiancia cercanos a los 700 W/m<sup>2</sup>. Para esta situación el auditorio alcanzó una temperatura promedio sin calor auxiliar de 19°C, en el resto del edificio fue de 22.6°C. El auditorio y la sala de informática alcanzaron la misma temperatura máxima (20°C). La temperatura del auditorio desciende hasta casi los 16°C (2°C por encima de la sala de informática) por efecto de los aspiradores eólicos que no habían sido cerrados. Aún así el delta de temperatura se mantiene en el nivel previsto en el pre-diseño. Hay un acoplamiento en las curvas de la sala de lectura, el mostrador y la zona de archivos con una diferencia entre sus valores promedio de 2 décimas de grado, se satisface el delta de temperatura establecido. (Ver Figura 7). En la Figura 8 se observa el comportamiento lumínico de la sala de lectura. La iluminancia interior sobre plano horizontal a casi 2.65m de distancia de la ventana norte alcanza al mediodía solar los 1600 lux para una iluminancia exterior de 108416 lux estimado según el programa de computadora ILUM (Mermet, 1994), corresponde un DF(daylight factor) o coeficiente de luz diurna (CLD) de 1.5, contribución justa según Goulding, Lewis and Steemers (1994). Para la misma hora el valor desciende hasta los 900 lux a 5.26m de la misma ventana pero debajo del área de los lumiductos, corresponde un DF de 0.80, contribución pobre para los mismos autores.

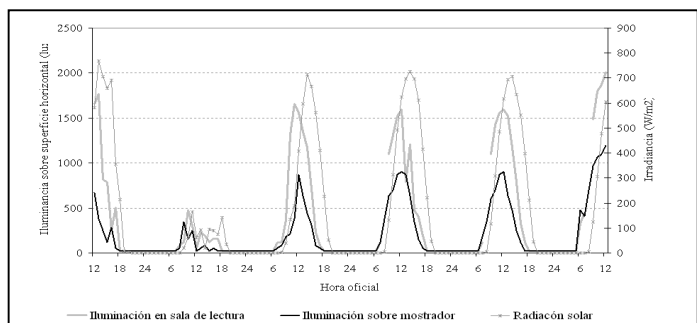


Figura 8: Iluminación natural sobre distintos planos de trabajo (período: 13 al 16 de abril de 2006)

## CONCLUSIONES

El comportamiento térmico y energético del auditorio durante el invierno de 2005 fue muy satisfactorio. El consumo de gas natural para su calefacción durante fue de  $1800\text{m}^3$  ( $18675\text{ kWh}$ ) que corresponde a  $75\text{ kWh/m}^2$  para mantener su temperatura promedio en  $21.2^\circ\text{C}$ , valor que está un 36% por encima del que se estima que deberá cumplir el parque inmobiliario en Suiza en un futuro cercano según el concepto Minergie ( $55\text{ kWh/m}^2$ ). En verano, si bien la temperatura promedio fue de  $25.5^\circ\text{C}$  (sin acondicionamiento artificial) hubo un 47.5% de los días en que la temperatura máxima estuvo por encima de los  $28^\circ\text{C}$ . Un gran período del verano (2005-2006) el auditorio estuvo cerrado con sólo los aspiradores eólicos en funcionamiento y sin protección solar sobre los colectores solares de aire. El comportamiento térmico de la sala de informática hacia el fin del verano del 2006 es satisfactorio, la decisión de pensar su diseño para verano fue correcto, la opción arquitectónica y tecnología es adecuada. Fue correcta la decisión de no incorporar ganancia solar directa al Norte (sólo hay áreas transparentes móviles altas entre la biblioteca solarizada y la sala de informática) al ser un edificio no-residencial y densamente ocupado, por lo tanto con altas cargas internas (son beneficiosas para el invierno pero no para el período caluroso). Los resultados térmicos de otoño son auspiciosos considerando que es una estación peligrosa (temperaturas exteriores aún elevadas por efecto de la inercia de la tierra y buena disponibilidad de irradiancia) y en la que el uso apropiado del edificio es determinante. La sala de lectura presenta un comportamiento térmico adecuado y un buen nivel de iluminación natural. Si bien el DF es pobre hacia la zona del mostrador la iluminancia es suficiente para esta área de trabajo.

**AGRADECIMIENTOS** Las autoras agradecen a las autoridades de la Universidad Nacional de La Pampa, en especial al Sr. Decano de la Facultad de Ciencias Veterinarias, Dr. Hugo Alvarez. Nuestro especial reconocimiento a la Dra. Graciela Lesino quién dirigió metodológicamente el pre – diseño de la Sala de Informática a través de la Tesis Doctoral de Celina Filippin. Nuestro agradecimiento también al Profesor MSc. Jorge Follari.

## ENERGY PERFORMANCE OF HIGH INTERNAL LOAD BIOCLIMATIC BUILDINGS FOR INTERMITTENT USE IN LA PAMPA

**ABSTRACT** In this paper the thermal and energy results of high internal load bioclimatic buildings for intermittent use-auditorium, computer room and library-, located in General Pico, La Pampa (warm temperate climate; latitude:  $35^\circ 62'$ ; longitude:  $63^\circ 45'$ ) are presented. The environmental and architectural design guidelines were: low energy consumption and environmental comfort. The strategies were: passive solar heating, natural cooling and daylighting. The horizontal and vertical envelope thermal resistance is 2 and  $2.13\text{ m}^2\text{C/W}$ , respectively. The buildings have aluminium carpentry and hermetic double glazing. During winter 2005, the mean temperature in the auditorium was  $21.2^\circ\text{C}$  (external mean temperature =  $10^\circ\text{C}$ ) and the heating energy consumption was  $1800\text{m}^3$  ( $17.3\text{m}^3/\text{day}$ , lower record than  $26.4\text{m}^3$  estimated during the pre-design stage). During summer the mean temperature was  $25.5^\circ$  ( $0.5^\circ\text{C}$  above the external mean temperature). The records showed that the 47.5% of daily temperature were higher than  $28^\circ\text{C}$ . Under real conditions of use the mean temperature in the computer room and in the library were 23 and  $25.5^\circ\text{C}$ , respectively (mean external temperature =  $20.6^\circ\text{C}$ ). During the autumn 2006 and without attendance those rooms show a mean temperature around  $23.7$  and  $20.1^\circ\text{C}$ , respectively.

**Keywords:** Bioclimatic architecture, Intermittent use, High internal loads

## REFERENCIAS

- ASHRAE STANDARD 62 (2002), Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Analysis and Recommendations.
- Balcomb, D.J. (1992), Passive Solar buildings, Solar Heat Technologies: Fundamentals and Applications, p.14-
- Behling, S y Behling, S. (2002), Sol Power. La evolución de la arquitectura sostenible, Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona.
- Filippin, C., Beascochea, A. y Flores Larsen, S. (2005), Auditorio bioclimático en la región central de Argentina, Art. N° AB04, Memorias COTEDI 2005 México, p.p.27
- Filippin, C. y Beascochea, A. (2005) [a], Edificios bioclimáticos de uso intermitente y de alta carga interna en La Pampa. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.8, N°1, 05.151-05.156.
- Filippin, C. y Beascochea, A. (2005) [b], 10 años de arquitectura bioclimática en la provincia de La Pampa, Argentina. Uso de Energías Renovables y diseño bioclimático en viviendas y edificios de interés social. CYTED, Red Iberoamericana para el uso de energías renovables y diseño bioclimático en viviendas y edificios de interés social. San Martín de los Andes, 31 de octubre y 1 de noviembre de 2005.
- Flores Larsen, S. y Lesino G. (2000), SIMEDIF 2000: nueva versión del programa de diseño y cálculo de edificios. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 4, 2, pp. 8.53-8.58.
- Flores Larsen, S. y Filippin, C. (2006), Edificio solar para la Universidad Nacional de La Pampa: monitoreo de invierno y verano. A presentarse en ASADES 2006.
- Filippin, C. (2000), Residencias bioclimáticas en General Pico. Su comportamiento térmico y energético, Tesis de Maestría
- Filippin, C. (2005), Edificios de bajo consumo energético en La Pampa. Una síntesis cuali – cuantitativa de su comportamiento térmico, energético y ambiental, Tesis Doctoral
- Givoni, B., (1969), Man, Climate and Architecture. Elsevier Publishing Company Limited, England.
- Goulding, J., Lewis, O. and Steemers, T. (1994). Energy in architecture, The European Passive Solar Handbook.
- INENCO (1984), Pautas de diseño, Acondicionamiento térmico de edificios mediante sistemas pasivos e híbridos
- Mermet, A. (1994). ILUM.5, Software para el cálculo de la iluminancia exterior en condiciones de cielo claro. Actas XVII Reunión de Trabajo de ASADES. Tomo II, pp.617-619, Rosario, Santa Fé.
- Norma IRAM 11603 (1996), Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- Norma IRAM 11601 (1996), Acondicionamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.
- Norma IRAM 11605 (1996, mod.2002), Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos.

- Norma IRAM 11625 (2000), Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general.
- Vine, E. (2003), Opportunitites for promoting energy efficiency in buildings as an air quality compliance approach, *Energy* 28, 319-341.
- Yañez Parareda, G. (1982), *Energía Solar, Edificación y Clima*, Tomo I, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Servicio de Publicaciones, Madrid, España.
- Jones, L.D. (2002), *Arquitectura y entorno. El diseño de la construcción bioclimática*. Editorial Blume, Barcelona
- Zhao, R., Sun, S. and Ding, R. (2004), Conditioning strategies of indoor thermal environment in warm climates, *Energy and Buidings* 36, 1281-1286.