

## **EDIFICIO SOLAR PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA: MONITOREO DE INVIERNO Y VERANO**

**Silvana Flores Larsen<sup>\*,1</sup> y Celina Filippín<sup>\*,2</sup>**

<sup>1</sup>INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa. - CONICET  
Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta Capital - Argentina  
Tel. 54-387-4255424, Fax 54-387-4255489, E-mail: seflores@unsa.edu.ar

<sup>2</sup>Universidad Nacional de La Pampa - CONICET - Spinetto 785 – (6300) Santa Rosa, La Pampa, Argentina  
Tel-Fax (54) 2954 434222 – E-mail:cfilippin@cpenet.com.ar

**RESUMEN:** El presente trabajo muestra los resultados del monitoreo de invierno y verano de un Auditorio en General Pico, La Pampa, de clima templado cálido. Para dicho diseño se utilizaron los resultados del monitoreo y simulación térmica de otro auditorio, de igual capacidad, emplazado en Santa Rosa en un clima templado frío. Esta experiencia permitió integrar los resultados de una experiencia anterior en el proceso de diseño de un nuevo edificio. Del monitoreo realizado se seleccionaron dos semanas de invierno, una en pleno uso y con el equipo de calefacción funcionando y otra sin alumnos y con el sistema de calefacción apagado (receso de invierno). Para el análisis de verano se seleccionó una semana en noviembre de 2005, con el Auditorio en pleno funcionamiento. Se describen los resultados del monitoreo y se analiza el comportamiento térmico de invierno y verano del edificio. Los resultados evidenciaron ahorros de energía del 50% en invierno y un comportamiento térmico satisfactorio en verano.

**Palabras claves:** Diseño bioclimático – Edificio no-residencial - Auditorio – Confort térmico - Ahorro de energía

### **INTRODUCCION**

Una experiencia previa descrita en trabajos anteriores (Beascochea y Filippín, 1998; Filippín et al., 2000), referidos a un Auditorio bioclimático para 200 personas construido entre 1998 y 2000 en la ciudad de Santa Rosa (La Pampa), sirvió de antecedente para la construcción de un nuevo edificio en General Pico, cuyo comportamiento térmico se estudia en el presente trabajo. Si bien el comportamiento térmico del edificio de Santa Rosa fue satisfactorio en invierno, en los trabajos mencionados se concluye que es posible disminuir aún más la carga de calefacción con la ayuda de sistemas solares de calentamiento, como colectores solares de aire. En el periodo de verano el comportamiento fue menos satisfactorio, pues el edificio no contaba con aire acondicionado y, según la opinión de sus usuarios, fue caluroso. El modelo físico de este edificio fue desarrollado mediante el ajuste de datos teóricos y experimentales mediante SIMEDIF para Windows y se describe en detalle en el trabajo de Flores Larsen et al. (2002).

Durante el año 2003 surgió la posibilidad de construir un nuevo Auditorio, esta vez en la ciudad de General Pico, para la Facultad de Veterinaria de la UNLPa. Debido a que las características requeridas para el nuevo edificio eran muy similares a las del edificio ya construido, se decidió mejorar el diseño utilizado a fin de incorporar las mejoras surgidas de la experiencia anterior. Con este fin, se utilizó el modelo físico obtenido previamente con SIMEDIF para simular el edificio en su nuevo emplazamiento, en donde las condiciones climáticas de invierno son menos rigurosas (1204 grados día de calentamiento vs 1545) y donde el verano es más caluroso (473 vs 128 grados día de refrigeración). Los resultados de dicha simulación para verano y con el edificio ocupado por los estudiantes mostraron que, para temperaturas medias exteriores de 21°C, el auditorio alcanzaría una temperatura promedio de 27.3 °C, con máximas en la sala de 35.2°C. Estos resultados, analizados en el trabajo de Filippín et al. (2004), evidenciaron un sobrecalentamiento excesivo que requirió del rediseño del edificio, en el cual se incorporaron mayores renovaciones de aire, ventilación natural, masa de acumulación y mejoras en la resistencia térmica de la cubierta.

La planta del nuevo edificio se muestra en la Figura 1 y los detalles constructivos están descriptos en Filippín et al. (2004), por lo cual sólo se transcriben aquellos datos de mayor interés para el presente trabajo. La superficie de la sala para 200 personas es de 252 m<sup>2</sup> con un Ic (Índice de compacidad) del 88%. La envolvente vertical es una pared tri-capa con un valor R= 2.13 m<sup>2</sup>°C /W. Está formada por una pared exterior de ladrillo común macizo de 0.18m de espesor, aislación térmica y revestimiento interior de madera machihembrada. La envolvente superior es una cubierta parabólica de chapa galvanizada, aislación térmica y cielorraso interior de madera (R=2 m<sup>2</sup>°C /W). La carpintería es de perfilera de aluminio y vidrio doble (R=3.5 m<sup>2</sup>°C/W). La permeabilidad térmica de la envolvente, el volumen de la sala y las renovaciones de aire definen un coeficiente global de pérdidas (G) de 0.89 W/m<sup>3</sup>°C, inferior al G admisible según Norma IRAM 11604/86.

---

\* Investigadora de CONICET.

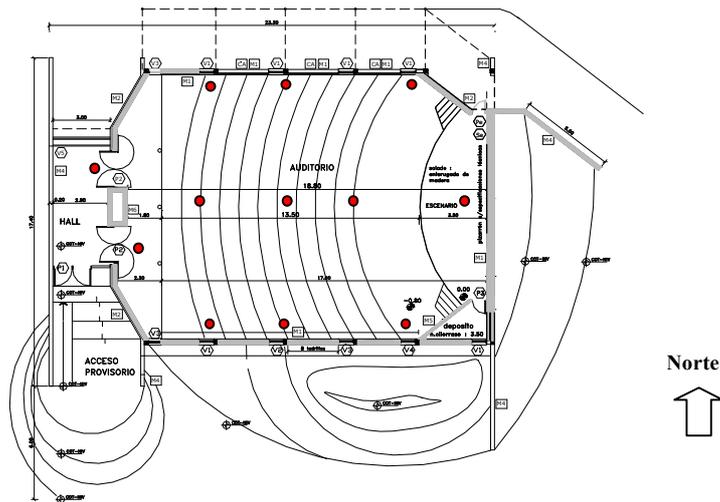


Figura 1: planta del Auditorio en General Pico y ubicación de los sensores en el interior.

Como lineamientos generales, se incorporaron las siguientes mejoras:

Para invierno:

- 7m<sup>2</sup> de doble vidriado sobre la pared Norte, para iluminación natural y ganancia directa.
- Ganancia indirecta mediante 3 colectores solares de aire por convección natural, adosados al muro Norte del Auditorio. Cada colector tiene 4m<sup>2</sup> de área y cubierta de policarbonato alveolar. El colector toma aire del interior del Auditorio, lo calienta y lo devuelve al mismo espacio (Figura 2). En verano, el área de colección se protege mediante toldos, los cuales se instalaron en febrero de 2006.
- Un sistema de calefacción auxiliar de funcionamiento automático, regulado por un termostato programable.

Para verano:

- Cámara de aire ventilada y mayor aislación en la cubierta de chapa galvanizada.
- Dispositivos de sombreado, mayor aislación en el muro Oeste y vegetación caduca para proteger los muros Norte y Sur en los periodos de mayor insolación.
- Niveles más altos de ventilación a través de tres aspiradores eólicos de 60cm de diámetro. Estos sombreretes poseen un sistema mecánico manual que permite regular el caudal de aire. Para una velocidad media de viento de 10km/h, los fabricantes aseguran 11 renovaciones de aire por hora para este edificio particular, valor mayor a las 8 renovaciones/hora al recomendadas por la normativa vigente (ASHACE).
- Aumento a 2.3m de la altura del talud de tierra que protege a la envolvente del edificio.



Figura 2: Vista exterior (con y sin toldos de sombreado) e interior de los colectores solares de aire en el muro Norte (por convección natural).

El presente trabajo muestra los resultados del monitoreo de invierno (2005) y verano (2005-2006) del nuevo Auditorio de General Pico. Se seleccionaron dos semanas de invierno, una en pleno uso y con el equipo de calefacción funcionando y otra sin alumnos y con el sistema de calefacción apagado (receso de invierno). Para el análisis de verano se seleccionó una semana en noviembre de 2005, con el Auditorio en pleno funcionamiento. Se describen los resultados del monitoreo y se analiza el comportamiento térmico de invierno y verano del edificio.

## MONITOREO TERMICO DEL AUDITORIO

El nuevo Auditorio fue inaugurado en Junio de 2005. El edificio fue monitoreado ininterrumpidamente durante 7 meses, en el periodo comprendido entre el 21 de junio de 2005 y el 2 de febrero de 2006. Los datos horarios de velocidad y dirección de viento e irradiancia solar sobre superficie horizontal fueron facilitados por la Estación Meteorológica del INTA. La temperatura ambiente exterior y temperatura interior del Auditorio se midieron mediante sensores tipo HOBO de uno y dos canales. Dentro del Auditorio se ubicaron 12 sensores: tres paralelos a la pared norte, tres paralelos a la pared Sur, tres en el centro, uno en el entarimado y dos a ambos lados de la puerta de acceso, como se muestra en la Figura 1. También se midió la temperatura del aire a la entrada y salida de los colectores de aire.

Para el análisis de los resultados del monitoreo se seleccionaron datos de invierno y de verano. En invierno se analizan dos situaciones representativas: una semana en que el edificio estuvo en pleno uso, con el sistema automático de calefacción funcionando (25 de junio al 1 de julio de 2005) y una semana durante las vacaciones de invierno, en que el sistema de calefacción estuvo apagado y el edificio desocupado (16 al 22 de julio de 2005). Se seleccionó un periodo extra de cuatro días soleados en invierno para mostrar el funcionamiento de los colectores de aire (30 de agosto al 2 de septiembre de 2005). En verano, se analiza una semana con el edificio en pleno uso (14 al 20 de noviembre de 2005).

### Invierno

Los resultados del monitoreo se muestran en las Figuras 3 a 5. La Figura 3 muestra la temperatura interior media del Auditorio durante una semana en que se encontró en pleno funcionamiento, con el sistema automático de calefacción programado en 20°C. La temperatura media interior se obtuvo promediando hora por hora las temperaturas de los once sensores ubicados en el interior del Auditorio. La temperatura interior fue de 20°C, con una media exterior de 12°C. La irradiancia solar sobre superficie horizontal del periodo fue baja, con máximas de 470W/m<sup>2</sup> en el mediodía solar del quinto día. El análisis para este periodo indica que, debido al termostato automático, la temperatura interior nunca descendió de los 20°C, siendo prácticamente independiente de las condiciones climáticas exteriores. Para este periodo se midió un consumo de energía diario de 0.94kWh/m<sup>2</sup>día (3.4MJ/m<sup>2</sup>día). El consumo estimado durante la etapa de prediseño (Filippín et al., 2004) fue de 1.09kWh/m<sup>2</sup>día (3.9MJ/m<sup>2</sup>día), calculado para una media interior de 20°C y una media exterior de 8°C.

El aporte de los colectores solares puede analizarse en la Figura 4, que muestra la temperatura del aire a la entrada y salida de uno de los colectores y la irradiancia solar sobre superficie horizontal. Durante las horas de sol, en la entrada al colector la temperatura es de alrededor de 24°C. El aire se calienta mientras circula por el colector, alcanzando temperaturas de hasta 50°C en el mediodía solar, cuando la irradiancia solar es máxima. Este aire caliente reingresa al Auditorio por convección natural y calienta el espacio interior, convirtiéndose en un importante aporte para disminuir la carga de calefacción.

La Fig. 5 muestra un periodo de invierno en que el edificio estuvo desocupado y el sistema de calefacción apagado (16 al 22 de Julio). La temperatura media exterior durante el periodo de ocupación (8:00AM to 19:00PM) fue de 9°C, mientras que la media en el Auditorio fue 8°C más alta, de alrededor de 15°C. Si bien aún no se alcanza la temperatura de confort, cuando se consideran las ganancias de origen metabólico, la temperatura media se encuentra dentro de la zona de confort durante todo el periodo de ocupación.

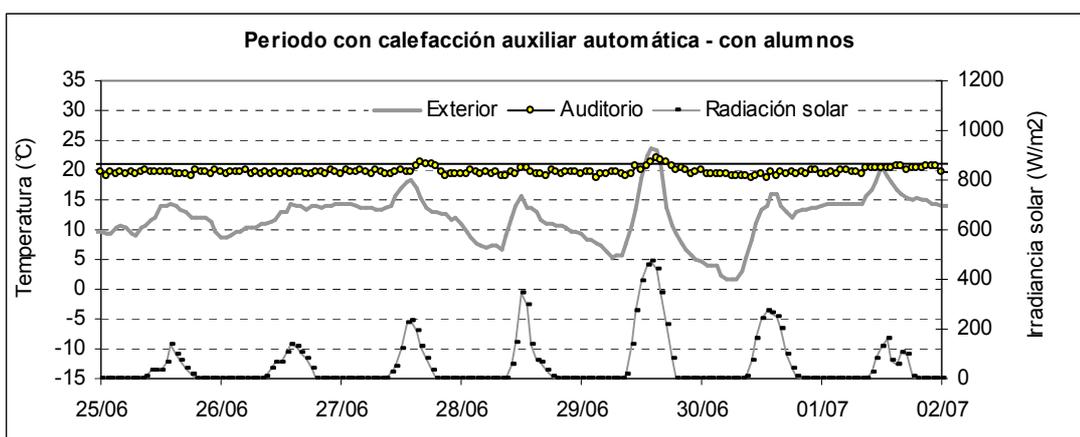


Figura 3: temperatura del interior del Auditorio, temperatura ambiente exterior e irradiancia solar sobre superficie horizontal para una semana de invierno (25 de junio al 1 de julio de 2005), con el edificio ocupado por alumnos y el sistema automático de calefacción funcionando.

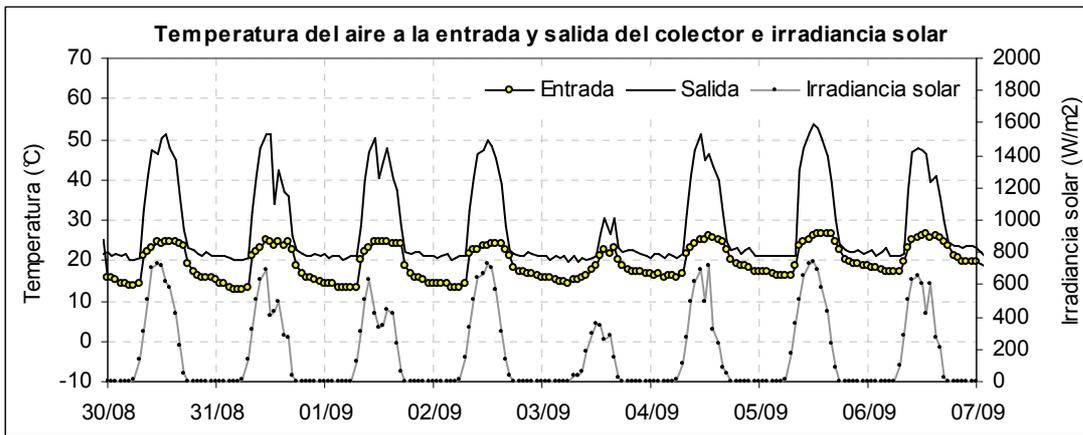


Figura 4: temperatura del aire a la entrada y salida del colector e irradiancia solar sobre superficie horizontal para un periodo de invierno (30 de agosto al 6 de setiembre de 2005), con el edificio ocupado por alumnos y el sistema automático de calefacción funcionando.

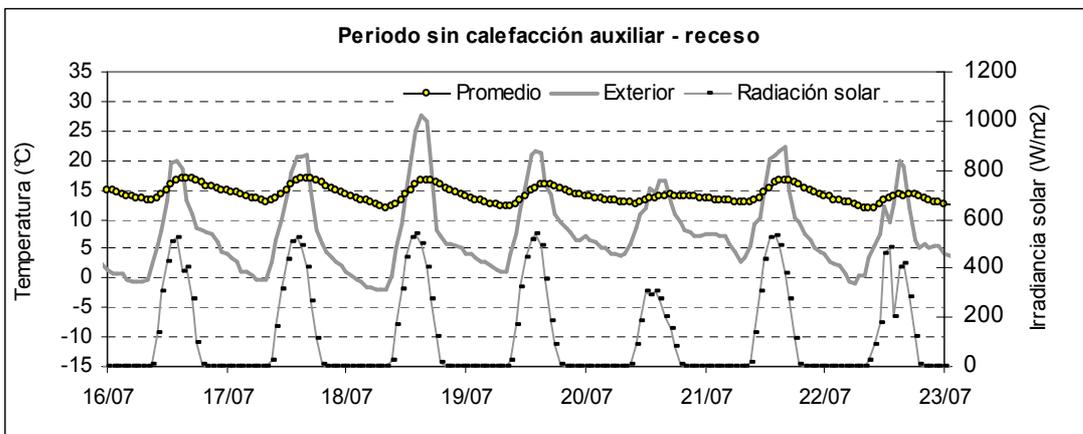


Figura 5: temperatura del interior del Auditorio, temperatura ambiente exterior e irradiancia solar sobre superficie horizontal para una semana de invierno (16 al 22 de julio de 2005), con el edificio desocupado por alumnos y el sistema automático de calefacción apagado debido al receso de invierno.

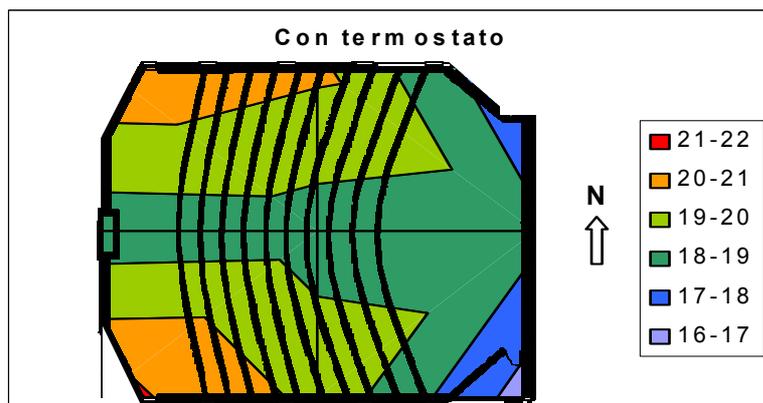


Figura 6: zonificación térmica en el interior del Auditorio para un periodo de invierno con el edificio en pleno uso (con calefacción auxiliar controlada mediante termostato).

Para completar el análisis, se hizo un estudio de la zonificación térmica dentro del auditorio, en base a los datos monitoreados por los sensores, promediados a lo largo de una semana. Se estudiaron dos situaciones: con y sin el aporte del sistema de calefacción auxiliar automático. Los resultados pueden analizarse en las Figuras 6 y 7. Cuando funciona el sistema de calefacción, la distribución de temperatura es simétrica respecto del eje Este-Oeste del edificio, debido a la ubicación de los

conductos de aire caliente en ese sentido y a la orientación de las bocas de salida. La temperatura media en el eje central del Auditorio se ubicó en 18.5°C (zona verde), mientras que en los laterales noroeste y suroeste (zona naranja) la media interior alcanzó los 20.5°C. Se midió una estratificación térmica promedio de 2°C entre los sensores a mayor altura (en el acceso oeste, a +0.8m) y a menor altura (delante del escenario, a -0.8m).

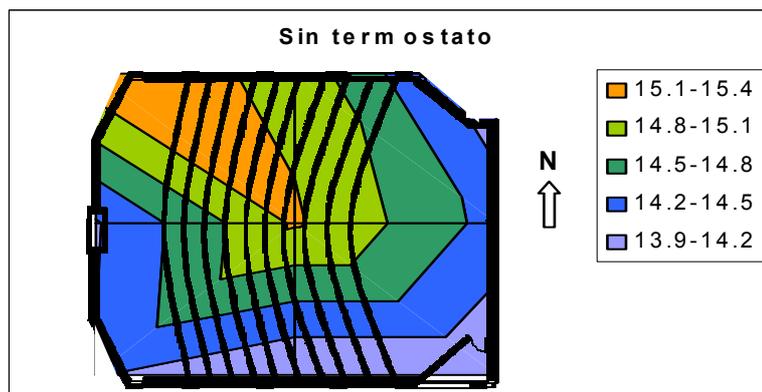


Figura 7: zonificación térmica en el interior del Auditorio para el receso de invierno, del 16 al 22 de julio de 2005 (sin calefacción auxiliar, sin alumnos).

Cuando no hay calefacción auxiliar la zonificación térmica es diferente, debido a que el movimiento de aire en el interior del Auditorio es exclusivamente por convección natural (y no forzada, como en el caso anterior). En la Figura 7 se puede analizar esta diferencia: el área sur, con una media de 14°C, está 1.2°C por debajo del área Norte, con una temperatura media de 15.2°C. Esto se explica por el aporte de la ganancia directa (a través del área vidriada) e indirecta (a través de los colectores solares) que se ubican en la pared Norte. Otro detalle interesante es que el área norte está más caliente hacia la zona oeste, lo cual se explicaría por la geometría de los colectores de aire: el colector Este está sombreado durante las primeras horas de la mañana debido a la presencia de una columna de 1m de ancho que sostiene una pérgola (ver Figura 2), mientras que los colectores central y Oeste están permanentemente asoleados.

#### Verano

La Figura 8 muestra los resultados para una semana próxima al verano en que el edificio estuvo en pleno uso (14 al 20 de Noviembre). La media exterior del periodo se ubicó alrededor de 20.8°C, con picos de 30°C en las horas de mayor temperatura, excepto para el último día en que la temperatura máxima alcanzó los 35°C. La media interior estuvo en 23.3°C, con valores máximos que raramente alcanzaron los 27°C, por lo que el edificio se encontró siempre dentro de la zona de confort. Este comportamiento es satisfactorio, sobre todo si tenemos en cuenta que el calor de origen metabólico proveniente de los alumnos está contribuyendo con 3°C a 5°C al aumento de temperatura interior. Con temperaturas exteriores más altas, situación que es muy común en verano, es necesario el uso de un equipo de aire acondicionado si se quiere mantener la temperatura interior por debajo de los 28°C. En el periodo analizado, la diferencia entre la media exterior e interior es de 2.5°C.

En la Figura 9 se puede observar la zonificación térmica medida en este periodo, del orden de 1°C entre la zona más caliente y la más fría. Como es de esperar, existe una simetría según el eje Este-Oeste, siendo la zona Oeste la más cálida (1°C por encima de la zona Este), con una temperatura media de 23.5°C. Se midió una estratificación térmica promedio de 0.6°C entre los sensores a mayor altura (en el acceso oeste, a +0.8m) y a menor altura (delante del escenario, a -0.8m).

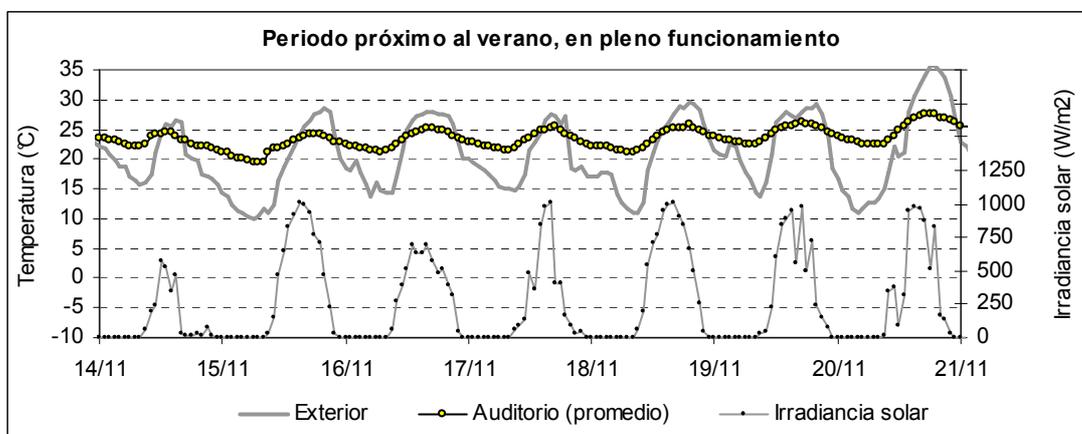


Figura 8: temperatura del interior del Auditorio, temperatura ambiente exterior e irradiación solar sobre superficie horizontal para una semana próxima al verano (14 al 20 de noviembre de 2005), con el edificio en uso.

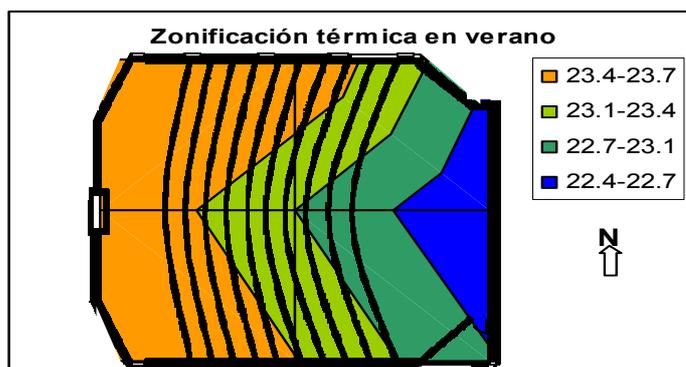


Figura 9: zonificación térmica en el interior del Auditorio para un periodo próximo al verano, en pleno funcionamiento (14 al 20 de noviembre de 2005).

## CONCLUSIONES

El trabajo ha permitido, mediante el monitoreo del edificio desocupado y en condiciones reales de uso, corroborar la eficacia de las decisiones tomadas en el diseño de un auditorio en General Pico, provincia de La Pampa, de clima templado cálido. Para dicho diseño se utilizaron los resultados del monitoreo y simulación térmica de otro auditorio, de igual capacidad, emplazado en Santa Rosa en un clima templado frío. Esta experiencia permitió integrar los resultados de una experiencia anterior, el monitoreo y la simulación térmica en el proceso de diseño de un nuevo edificio. Hubo una retroalimentación de información válida y necesaria, que permitió optimizar la performance energética y ambiental del nuevo edificio, acompañada por la alerta de los usuarios sobre la situación de desconfort en verano. El Auditorio de General Pico, con una envolvente energéticamente eficiente, ganancia solar directa e indirecta, y masa de acumulación, garantiza el confort de invierno con un 50% de ahorro de energía en calefacción, tomando como base de referencia el mismo edificio en su formato convencional (sin aislación en la envolvente y sin aporte solar). Durante el verano el Auditorio se comportó satisfactoriamente: para días con máximas exteriores de hasta 30°C, los valores máximos en el interior raramente alcanzaron los 27°C, por lo que el edificio se encontró siempre dentro de la zona de confort. Solamente para días con temperaturas exteriores más altas (mayores a 35°C), sería necesario el uso de un equipo de aire acondicionado si se quiere mantener la temperatura interior por debajo de los 28°C.

## REFERENCIAS

- Beascochea, A. y Filippín, C. (1998). Un edificio Solar Pasivo para la Universidad Nacional de La Pampa. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 2, 1, pp. 03.17-03.20.
- Filippín C., Beascochea A. y Lesino G. (2000). Comunicaciones del XXIII Congreso de ASADES, Octubre de 2000, Chaco pp.05.09-05.10.
- Filippín C., Beascochea A. y Flores Larsen S. (2004). "Descripción técnica de un auditorio bioclimático para la Universidad Nacional de La Pampa en General Pico". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8*, N°1, pp. 05.151-05.156.
- 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., Filippín, C. y Lesino, G. (2002), Análisis comparativo de la simulación de un auditorio, *Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 10, pp. 33-42.

## SOLAR BUILDING FOR THE NATIONAL UNIVERSITY OF LA PAMPA: WINTER AND SUMMER MONITORING

**ABSTRACT:** This paper describes the winter and summer monitoring of an Auditorium located in the city of General Pico, La Pampa, whose climate is warm tempered. For its design, experimental and simulated data of another Auditorium in Santa Rosa (cold tempered climate) were used. Thus, a previous similar experience was integrated to the design process of a new building. From the monitored data, two representative weeks in winter and one week in summer were analyzed, with the building unoccupied (winter holidays) and under intensive use (in June and November, 2005). The experimental measurements and the thermal behavior of the building in winter and summer are described. Energy savings around 50% winter and a satisfactory summer behavior, were found.

**Keywords:** Bioclimatic design – Non residential building - Auditorium – Thermal comfort - Energy saving