

Eficiencia energética en un edificio no-residencial de uso intermitente y altas cargas internas en Argentina

Energy efficiency in a non-residential building with high internal loads and intermittent use in Argentina

Silvana Flores Larsen
Celina Filippín
Alicia Beascochea

Resumen

Silvana Flores Larsen
Instituto de Investigaciones en
Energías No Convencionales
Universidad Nacional de Salta
Avda. Bolivia 5150 – CP 4400
Salta Capital – Argentina
Tel.: (54) 387-4255424
Fax: (54) 387 4255489
E-mail: seflores@unsa.edu.ar

Celina Filippín
Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y
Técnicas
Spinetto 785 – (6300) Santa
Rosa
La Pampa – Argentina
Tel./Fax: (54) 2954 434222
E-mail:
cfilippin@cpenet.com.ar

Alicia Beascochea
Departamento de Arquitectura
Universidad Nacional de La
Pampa
Gil N° 353 (6300) Santa Rosa
La Pampa – Argentina
Tel.: (54) 2954 451609
Fax: (54) 2954 433408
E-mail:
aliciaebg@yahoo.com.ar

Recebido em 24/04/07
Aceito em 14/02/08

El presente trabajo presenta el diseño y monitoreo de un Auditorio para 200 estudiantes con acondicionamiento solar construido en la localidad de General Pico (La Pampa, Argentina), para la Universidad Nacional de La Pampa. 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% respecto de un edificio de construcción convencional.

Palabras claves: Diseño bioclimático. Confort térmico. Eficiencia energética. Colectores solares de aire.

Abstract

This paper describes the design and monitoring of an Auditorium for 200 students, built using solar and bioclimatic strategies, in General Pico (La Pampa province, Argentina) for National University of La Pampa. Two winter weeks were selected from the measured data, one when the building was in use with the heating system on, and another week when the building was unoccupied due to winter holidays. A week in November 2005, was selected for the summer analysis. The results of measurements and of winter and summer thermal behaviour are described. The results showed energy savings up to 50%, as compared to a similar conventional building.

Keywords: Bioclimatic design. Thermal comfort. Energy efficiency. Air solar collectors.

Introducción

Durante los últimos años el consumo energético para calefacción y refrigeración de edificios presenta una preocupante tendencia ascendente (WRI, 2001). Actualmente el acondicionamiento térmico de los edificios constituye aproximadamente el 50% del consumo energético global en el mundo (BEHLING; BEHLING, 2002), a lo que se suman importantes emisiones de gases de efecto invernadero que deterioran el medio ambiente (LENSSEN; ROODMAN, 1995). Es por ello que la tendencia actual es investigar y aplicar métodos que permitan reducir este consumo. En edificios, se destacan dos mecanismos que permiten obtener esta disminución: la aplicación de estrategias de diseño, tanto bioclimáticas como solares, y el cambio del patrón de consumo de los usuarios/habitantes (JOHANSSON; GOLDEMBER, 2002). Se obtuvieron ahorros energéticos de hasta un 60% en edificios bioclimáticos en una variedad de climas: fríos (WALL, 2006), tropicales (GARDE *et al.*, 2004), mediterráneos (CARDINALE; RUGGIERO, 2000), y climas con veranos calurosos e inviernos fríos (FENG, 2004). Se ha obtenido éxito en la aplicación de acondicionamiento pasivo y solar en edificios residenciales de interés social, educacional y en oficinas (MACIAS *et al.*, 2006; PFAFFEROT *et al.*, 2004; BREESCH *et al.*, 2005), en donde la reducción en los consumos de aire acondicionado es importante.

Dentro del grupo de edificios no residenciales, ocupan un lugar importante las construcciones dedicadas a educación. En los últimos años, en la provincia de La Pampa (Argentina) se diseñaron y construyeron edificios educacionales en los que se aplicaron estrategias bioclimáticas y métodos pasivos e híbridos para acondicionar los espacios, a fin de reducir el consumo energético y las emisiones de CO₂. Entre las estrategias utilizadas se pueden mencionar colectores solares para calentamiento de aire y agua, muros colectores acumuladores, conductos enterrados, envolventes con buena aislación térmica, masa térmica, etc. Entre los edificios construidos en esta provincia, los cuales fueron monitoreados para evaluar la eficacia de las técnicas adoptadas, se encuentran: un pabellón para la Facultad de Ciencias Exactas de la universidad Nacional de La Pampa y un Auditorio para la misma Facultad, en la ciudad de Santa Rosa (BEASCOCHEA; FILIPPIN, 1998), una escuela rural en Algarrobo del Águila (FILIPPIN *et al.*, 2007, FLORES LARSEN *et al.*, 2004), una escuela de EGB3 en Catriló (FLORES LARSEN *et al.*, 2005) y residencias estudiantiles

en Santa Rosa y en General Pico (FILIPPIN *et al.*, 2005a, 2005b, 2005c).

Durante el año 2003 la Facultad de Veterinaria de la Universidad Nacional de La Pampa solicitó el diseño y construcción de un Auditorio para 200 personas en la ciudad de General Pico, en la provincia de La Pampa, Argentina. Uno de los requerimientos fue que, en la medida de lo posible y sin grandes modificaciones en los costos, el consumo de energía convencional para calefacción y refrigeración del nuevo edificio fuera menor que el de un edificio construido de la manera tradicional. El presente trabajo describe las estrategias adoptadas para el diseño del edificio a fin de reducir el consumo de energía convencional, presenta los resultados del monitoreo de invierno (2005) y verano (2005-2006) del Auditorio y estudia la eficiencia y el aporte de los colectores solares de aire a la disminución del consumo energético para calefacción.

Descripción del edificio

Para establecer los criterios de diseño a utilizarse se analizó en primer lugar el clima de la localidad de General Pico (35°7', 63°8' y 141 m, de latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar, respectivamente), definido como templado cálido y perteneciente a la zona IIIa (Norma IRAM 11.603, 1992). En la Tabla 1 se pueden observar algunos de los datos climáticos de la localidad. Los registros de temperatura mínima indican un requerimiento de sistemas de calefacción para mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Para verano se precisa masa térmica y ventilación para lograr el bienestar.

El análisis del clima permitió definir las estrategias a ser aplicadas, entre las que se encuentran: aislación térmica en la envolvente, renovaciones de aire controladas, ventilación natural, masa de acumulación a través de superficies semienterradas, ganancia directa y colectores solares de aire por convección natural para calefacción en invierno.

La planta y cortes del nuevo edificio se muestran en las Figuras 1 y 2. La superficie de la sala para 200 personas es de 252 m² con un I_c (Índice de compacidad) del 88%. La envolvente vertical es un muro tri-capa constituido por una pared exterior de ladrillo común macizo de 0.18m de espesor, aislación térmica y revestimiento interior de madera machihembrada, con una resistencia térmica R=2.13 m²K /W. La envolvente superior es una cubierta parabólica de chapa galvanizada, aislación térmica y cielorraso interior de madera

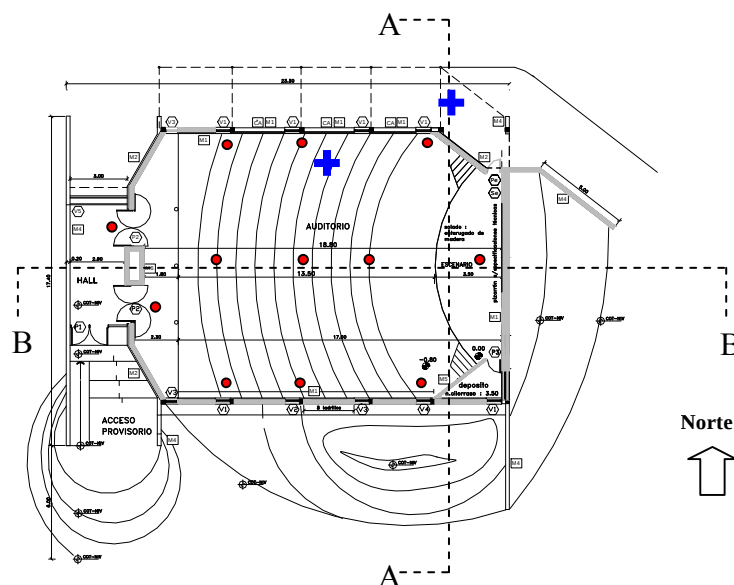
($R=2 \text{ m}^2\text{K/W}$). Parte de las paredes están protegidas por un talud de tierra, que alcanza una altura máxima de 2.3m en el muro este (Figura 2). La carpintería es hermética, de perfilera de aluminio y vidrio doble ($R=3.5 \text{ m}^2\text{K/W}$). La

resistencia térmica de la envolvente, el volumen de la sala y las renovaciones de aire definen un coeficiente global de pérdidas (G) de $0.89 \text{ W/m}^3\text{K}$, inferior al G admisible según Norma IRAM 11604/86.

Valores anuales	
Temperatura media máxima	22.7°C
Temperatura media mínima	8.9°C
Temperatura media	15.8°C
Radiación solar media anual sobre superficie horizontal	16.2 MJ/m ²
Humedad relativa	71%
Velocidad media del viento en invierno	11.0 km/h
Radiación solar media julio sobre superficie horizontal	8.15 MJ/m ²
Temperatura máxima media de enero	30.3°C
Temperatura media de enero	23.4°C
Temperatura mínima media de enero	15.7°C
Amplitud térmica de verano	14.6°C
Velocidad media del viento en verano	12.8 km/h
Radiación solar media enero sobre superficie horizontal	24.12 MJ/m ²
Grados-día de calefacción base 18°C	1204
Grados-día de enfriamiento base 23°C	473

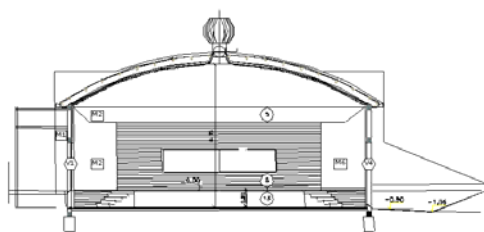
Fuente: Fuerza Aérea Argentina, Servicio Meteorológico Nacional, 1992.

Tabla 1 - Datos climáticos de General Pico (Latitud: 35°62'; longitud: 63°45' y altura sobre el nivel del mar: 145 m)

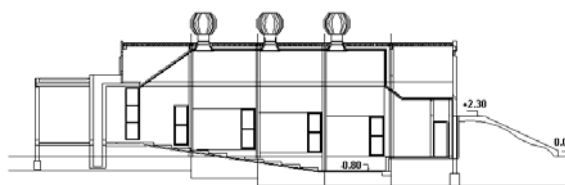


Observación: Los sensores de medición de la sala y el hall de ingreso están representados por círculos llenos. Las cruces indican los lugares desde donde se tomaron las fotos de la Figura 3

Figura 1 - Planta del Auditorio en General Pico



Corte A-A



Corte B-B

Figura 2 - Cortes del Auditorio en General Pico, en donde se observa el área de ganancia directa y la porción semienterrada de los muros

Además, para acondicionar el espacio minimizando el consumo de energía auxiliar en invierno y verano, se incorporaron:

Para invierno:

- (a) 7m² de doble vidriado sobre la pared Norte, para iluminación natural y ganancia directa;
- (b) Ganancia indirecta mediante tres colectores solares de aire incorporados en el muro Norte, de 2m de alto y 2m de ancho cada uno. Los colectores forman parte del mismo muro, como se puede apreciar en la Figura 3 en donde se muestran el corte del colector y vistas exterior e interior del mismo. Cada colector está constituido por una cubierta de policarbonato alveolar, una cámara de aire estanca de 2cm de espesor, una placa absorbidora de chapa conformada negra, un canal de 4cm de espesor por donde circula (por convección natural) el aire a ser calentado, una aislación térmica de 10cm de poliuretano inyectado y un revestimiento de machimbre de pino. En la parte inferior y superior del colector se encuentran las rendijas de entrada y salida del aire, de 3cm de altura y del ancho del colector (2m). El aire del interior del Auditorio ingresa al colector a través de la rendija inferior, se calienta en contacto con la placa absorbidora y es devuelto al Auditorio a través de la rendija superior. Durante la noche, debido a que las rendijas no poseen compuertas de

cierre, el flujo de aire se invierte, con lo que existen pérdidas de calor debido al efecto sifón. Al momento de diseñar los colectores, se decidió no adicionar compuertas de cierre por dos razones: la primera, porque en general la experiencia indica que es muy difícil lograr que el personal las cierre todas las noches y las abra por las mañanas, y la segunda, porque como se verá más adelante, las pérdidas de calor no son tan significativas (14W/m²) como para que se requiera indefectiblemente el uso de estas compuertas. Las pérdidas por conducción a través del área de los colectores son muy bajas debido al buen espesor de la aislación térmica. Para evitar el sobrecalentamiento en verano, el área de colección se protege mediante toldos, los cuales se instalaron en febrero de 2006. Según Mootz y Bezian (1996), la eficiencia (transformación de la energía solar en calor, ver eq. (3)) estimada de colectores con el diseño descrito varía entre 0.3 y 0.4, dependiendo del ancho del canal por donde circula el aire y del espesor de la aislación utilizada. Es importante destacar que durante la noche, la pérdida a través de los colectores es mucho menor que la del resto de la envolvente, debido a la mayor aislación térmica de este elemento; y

- (c) Se incorporó un sistema de calefacción auxiliar de funcionamiento automático, regulado por un termostato programable.



Figura 3 - Esquema y vista exterior e interior de los colectores solares de aire en el muro Norte (por convección natural)

Para verano:

(a) Cámara de aire ventilada y buena aislación en la cubierta de chapa galvanizada. Se observa en el corte B-B de la Fig. 2 que esta cámara tiene rejillas de ventilación sin ningún tipo de cierre en los extremos este y oeste (sobre el escenario y sobre el hall de acceso), por lo que la cámara se ventila durante todo el año. La aislación térmica de la cubierta minimiza las pérdidas de calor en invierno;

(b) 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, permitiendo el pasaje de radiación solar en invierno;

(c) 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). Para disminuir las pérdidas de calor en invierno, al inicio del cambio de estación el personal de mastranza cierra los aspiradores a través de manivelas que se accionan desde el techo para facilitar su accesibilidad; y

(d) Un talud de tierra de 2.3m de la altura para proteger la envolvente del edificio y proveer masa térmica.

Monitoreo termico del auditorio

El 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. La exactitud de los sensores HOBO es de ± 0.5 °C a 20 °C y la resolución es de 0.41 °C a 20 °C. 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 solares.

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 durante las vacaciones de invierno, en que el sistema de calefacción estuvo apagado y el edificio desocupado (16 al 22 de julio de 2005) y una semana en que el edificio estuvo en pleno uso, con el sistema automático de calefacción funcionando (1 al 6 de setiembre de 2005). De este último periodo se seleccionó un día de cielo claro (5 de setiembre) para calcular la eficiencia horaria y diaria de los colectores de aire. En verano, se analiza una semana con el edificio en pleno uso (14 al 20 de noviembre de 2005).

Invierno

Los resultados del monitoreo de invierno se muestran en las Figuras 4 y 5. La Figura 4 muestra el periodo de receso de invierno, en que el edificio estuvo desocupado y el sistema de calefacción apagado (16 al 22 de Julio). La temperatura media interior se obtuvo promediando hora por hora las temperaturas de los once sensores ubicados en el interior del Auditorio. La semana tuvo cinco días claros, en los que la irradiancia solar sobre superficie horizontal alcanzó los 540W/m^2 al

mediodía. La temperatura media interior se ubicó en 14.1°C, con una temperatura media exterior de 7.7°C y temperaturas mínimas bajo cero. Debido a que el edificio es de uso intermitente, interesan también las temperaturas promedio durante el periodo de ocupación (8:00AM to 19:00PM): la

media exterior fue de alrededor de 9°C, mientras que la media en el Auditorio fue de 15°C. Si bien la temperatura interior aumentará cuando se consideren las ganancias de origen metabólico, es evidente la necesidad de contar con calefacción auxiliar para alcanzar la temperatura de confort.

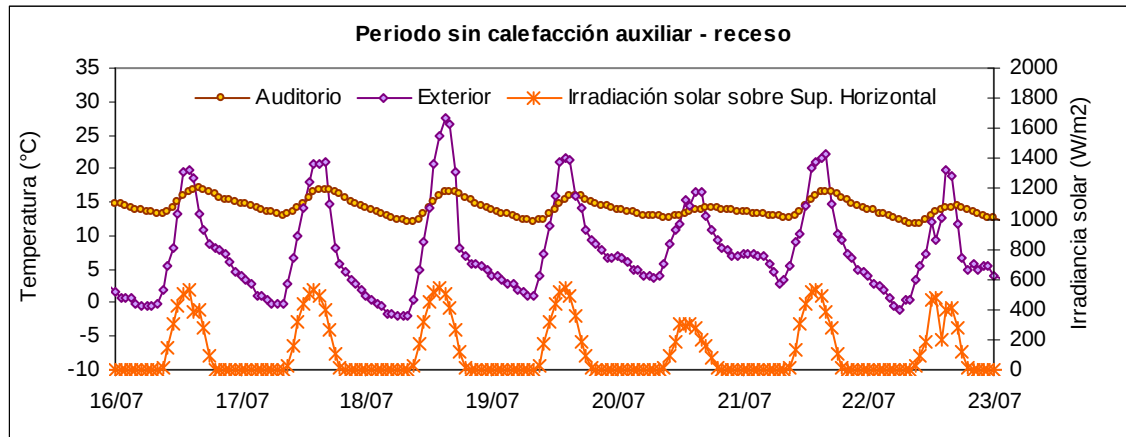


Figura 4 - Temperatura del interior del Auditorio, temperatura ambiente exterior e irradiancia solar sobre superficie horizontal para una semana de invierno (16 al 22 de julio de 2005), con el edificio desocupado, el sistema automático de calefacción apagado debido al receso de invierno y los aspiradores eólicos cerrados

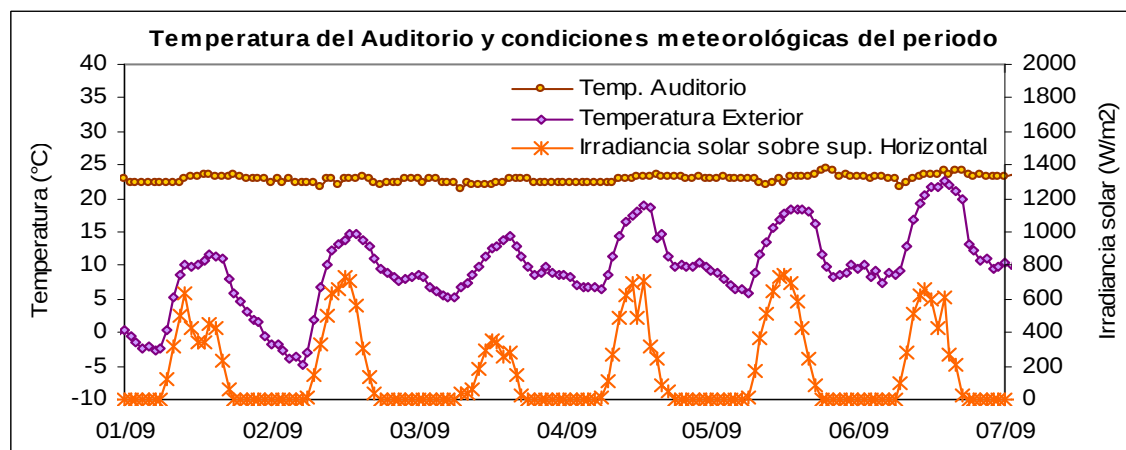


Figura 5 - Temperatura del interior del Auditorio, temperatura ambiente exterior e irradiancia solar sobre superficie horizontal para una semana de invierno (1 al 6 de setiembre de 2005), con el edificio ocupado por alumnos, el sistema automático de calefacción funcionando y los aspiradores eólicos cerrados

La Figura 5 muestra la temperatura interior media del Auditorio para un periodo en pleno funcionamiento, con el sistema automático de calefacción programado en 22.4°C. La temperatura media interior fue de 22.8°C, con una media exterior de 9.5°C. La irradiancia solar sobre superficie horizontal del periodo fue baja, con máximas de 470W/m² 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/m²día (3.4MJ/m²día). El consumo estimado durante la etapa de prediseño (FILIPPÍN *et al.*, 2004) fue de 1.09kWh/m²día (3.9MJ/m²día). Esta estimación del consumo se realizó mediante un balance energético de ganancias y pérdidas de calor, que utiliza la carga térmica unitaria (CTU, que tiene en cuenta las pérdidas de calor del edificio a través de sus elementos constitutivos y de las infiltraciones de aire), la temperatura media de diseño (20°C), la temperatura media exterior (8°C) y las ganancias de origen solar, metabólico y por acumulación de calor en piso y paredes. El cálculo completo se encuentra detallado en FILIPPÍN *et al.*, 2006. El error entre el consumo calculado durante la etapa de diseño y el consumo real medido es del 15%, lo cual constituye una excelente aproximación teniendo en cuenta que la estimación se realiza en base a un día típico, en condiciones estacionarias con valores promedio de temperatura y radiación solar. El mismo procedimiento se utilizó para calcular el consumo del edificio en su formato convencional, es decir, quitando la aislación térmica de muros, disminuyendo la aislación térmica del techo al espesor normalmente utilizado en edificios convencionales (2cm), utilizando vidrio simple en vez de vidrio doble y quitando el aporte de los colectores solares de aire. El resultado obtenido (2.3 kWh/m²día) indica que el edificio bioclimático consume un 50% menos que un edificio similar en formato convencional. Estos resultados fueron corroborados además mediante la simulación térmica horaria de la temperatura interior del edificio mediante el programa

SIMEDIF para Windows (FLORES LARSEN S., LESINO G., 2001). Por otra parte, también se detectaron reducciones de esta magnitud en edificios bioclimáticos escolares (FILIPPÍN C., 1999) y residenciales (FILIPPÍN *et al.*, 2005c) bioclimáticos cuando fueron comparados con edificios convencionales construidos en la provincia de La Pampa.

Para completar el análisis térmico se hizo un estudio de la zonificación térmica dentro del auditorio. Se estudiaron las dos situaciones anteriores: con y sin el aporte del sistema de calefacción auxiliar automático. Los resultados pueden analizarse en la Figura 6. Cuando no hay calefacción auxiliar el movimiento de aire en el interior del Auditorio es exclusivamente por convección natural (y no forzada, como cuando funciona el sistema de calefacción auxiliar). En este caso se puede observar que no existen grandes diferencias de temperatura entre las distintas zonas: 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 3), mientras que los colectores central y Oeste están permanentemente asoleados. Cuando funciona el sistema de calefacción, la distribución de temperatura es simétrica respecto del eje Este-Oeste del edificio, debido a que las dos cañerías de conducción de aire caliente están ubicadas en las áreas de circulación (norte y sur). La temperatura media en el eje central del Auditorio se ubicó en 22.4°C, mientras que en los laterales noroeste y suroeste alcanzó los 24°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).

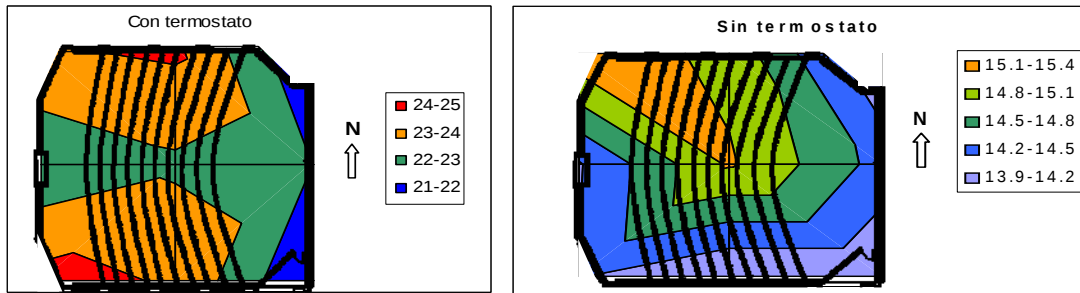


Figura 6 - Zonificación térmica en el interior del Auditorio para un periodo de invierno durante el receso (del 16 al 22 de julio de 2005, sin calefacción auxiliar, sin alumnos) y con el edificio en pleno uso (1 al 6 de setiembre, con calefacción auxiliar controlada mediante termostato)

Aporte de los colectores del muro Norte

El aire que ingresa por la rendija inferior, se calienta mientras circula por el colector, alcanzando las temperaturas más altas en el mediodía solar, cuando la irradiación solar es máxima. Este aire caliente reingresa al Auditorio por convección natural y calienta el espacio interior, disminuyendo la carga de calefacción. Para estimar el calor $Q_{\text{útil}}$ (W) entregado por los colectores se utiliza la expresión:

$$Q_{\text{útil}} = \dot{m} c_p \Delta T \quad (1)$$

en donde **Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.** es el flujo másico (kg/s), c_p el calor específico del aire a una temperatura promedio entre la entrada y la salida, y ΔT el aumento de temperatura del aire en su paso por el colector. Debido a que se cuenta con datos medidos de temperatura de entrada y salida del aire del colector, pero no de la velocidad del mismo, debimos estimar el flujo másico a través de la expresión:

$$\dot{m} = \rho_{\text{aire}} A_{\text{canal}} \left[\sqrt{\frac{2gh \Delta T}{12.7 \theta_m}} \right] \quad (2)$$

en donde el término entre corchetes corresponde a la velocidad media $\bar{v}$ del aire en el canal del colector (DUFFIE; BECKMAN, 1991), g es la constante gravitatoria (m^2/s), h es la distancia vertical entre las rendijas de entrada y salida, θ_m es la temperatura media del aire en el colector ($^{\circ}\text{K}$), ρ_{aire} es la densidad del aire a esa temperatura y A_{canal} el área del canal. El coeficiente 12.7 surge de consideraciones geométricas entre las áreas de la rendija entrada y del canal.

La eficiencia η del colector puede calcularse a través de la expresión:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{A_{\text{colector}} I_{\text{colector}}} \quad (3)$$

en donde A_{colector} es el área del colector e I_{colector} es la irradiación solar sobre la superficie del colector, que puede obtenerse a partir de la irradiación solar sobre superficie horizontal y las ecuaciones tradicionales de la geometría de los rayos solares (DUFFIE; BECKMAN, 1991).

Para estimar $Q_{\text{útil}}$ y η se seleccionaron los datos medidos de un día claro de invierno (5 de setiembre), cuyas condiciones meteorológicas se observan en la Figura 7 en conjunto con las temperaturas de entrada y salida del colector. La temperatura ambiente exterior osciló entre los 6°C y los 18.4°C . La irradiación solar sobre superficie horizontal fue de $18.4 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{día}$, con lo que la irradiación sobre el plano Norte del colector se estimó en $17.6 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{día}$. La velocidad media de viento durante las horas de sol fue de 4.4 m/s , con dirección predominante del Suroeste. La velocidad estimada del aire en el canal varía entre 0.26 m/s (a las 16 hs) y 0.37 m/s (a las 12 hs), con una media de 0.33 m/s . De acuerdo a estas velocidades y a la radiación solar recibida, el calor entregado por el colector varía entre 320 W y 1000 W , con eficiencias que varían entre 0.30 y 0.36 (Figura 8). La energía útil diaria entregada por metro cuadrado de colector es de alrededor de $5.4 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{día}$, con una eficiencia promedio de 0.31 . Esto significa que el aporte de los tres colectores al edificio asciende a $65.2 \text{ MJ}/\text{día}$. El análisis se repitió para otros días con cielo claro, obteniéndose resultados semejantes. Las eficiencias obtenidas se encuentran dentro del rango previsto por la bibliografía para este tipo de colector (MOOTZ; BEZIAN, 1996).

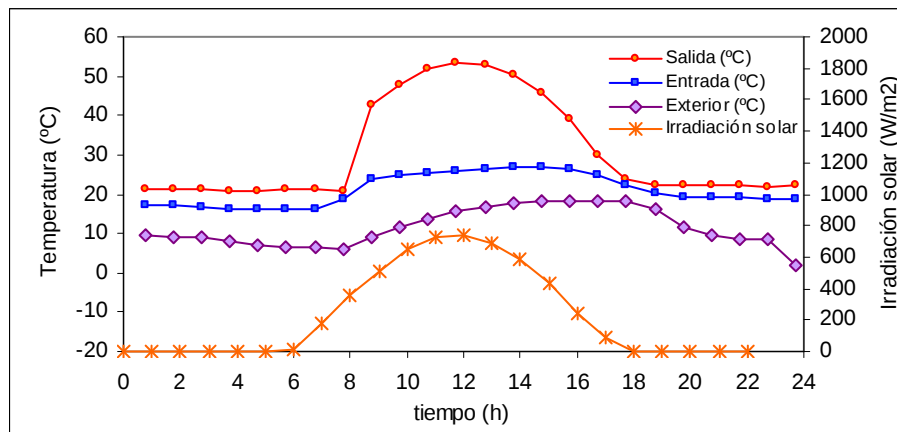


Figura 7 - Temperatura del aire en las rendijas de entrada y salida del colector, temperatura ambiente exterior e irradiación solar sobre superficie horizontal (W/m^2) para un día de invierno (5 de septiembre de 2005)

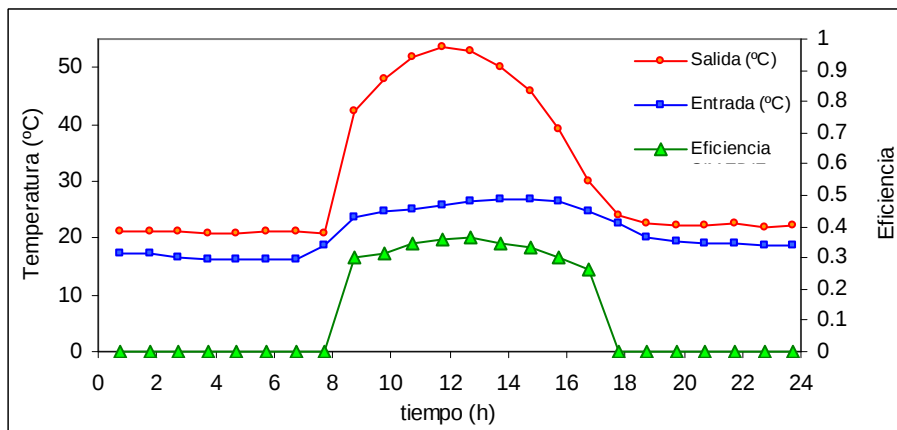


Figura 8 - Eficiencia y temperatura del aire en las rendijas de entrada y salida del colector, para un día de invierno (5 de septiembre de 2005)

Finalmente, es importante destacar que el análisis de las mediciones indica que el flujo de aire se invierte durante la noche: el aire caliente que ingresa por la boca superior, al entrar en contacto con la placa absorbadora se enfría y desciende, reingresando al auditorio por la boca inferior debido a que las rendijas no poseen compuertas de cierre. En promedio, el aire en su paso por el colector se enfría aproximadamente $4.5^{\circ}C$, con lo cual se puede estimar una pérdida promedio de $14W/m^2$ de colector, valor comparable a la pérdida de una pared común. Debido a que el periodo de uso del auditorio es exclusivamente diurno, esta contribución al enfriamiento del aire durante la noche no es significativa.

Verano

Por tratarse de un edificio no-residencial, de ocupación discontinua en fase con el recurso solar, el comportamiento térmico durante las horas de sol es el más peligroso. Este edificio no posee sistema de aire acondicionado. La Figura 9 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 $20.8^{\circ}C$, con picos de $30^{\circ}C$ en las horas de mayor temperatura, excepto para el último día en que la temperatura máxima alcanzó los $35^{\circ}C$. La media interior estuvo en $23.3^{\circ}C$, con valores máximos que raramente alcanzaron los $27^{\circ}C$, 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 $3^{\circ}C$ a $5^{\circ}C$ al

aumento de temperatura interior y que en esta semana aún no se encontraban instalados los toldos de protección de los colectores solares. Con temperaturas exteriores mayores a 30°C, situación que es muy común en verano, será necesario el uso de un equipo de aire acondicionado si se quiere mantener la temperatura interior por debajo de los 28°C. Es interesante destacar el potencial existente para realizar ventilación nocturna. Esta estrategia fue tomada en cuenta durante el diseño, por lo que se dejaron previstas ventanas de abrir al sur que permitirían ventilar durante la noche. La situación

real es que estas ventanas no se abren por cuestiones de seguridad.

En la Figura 10 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).

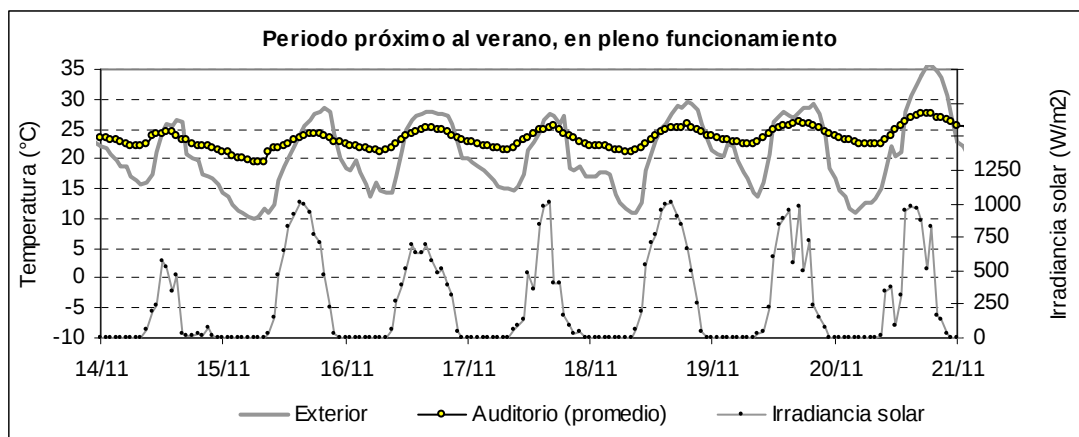


Figura 9 - temperatura del interior del Auditorio, temperatura ambiente exterior e irradiancia solar sobre superficie horizontal para una semana próxima al verano (14 al 20 de noviembre de 2005), con el edificio en uso

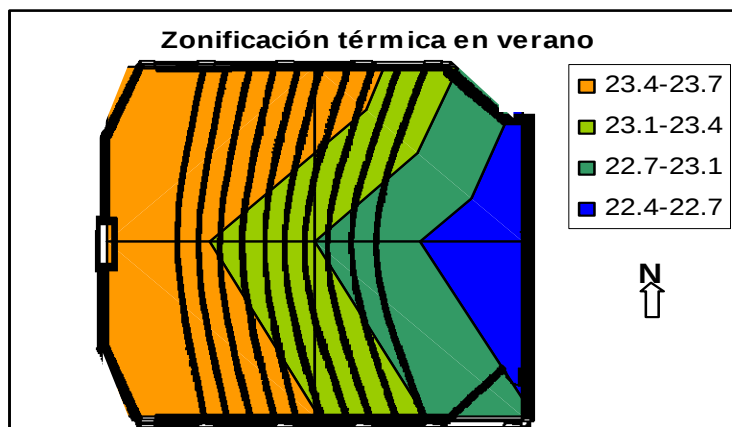


Figura 10 - Zonificación térmica en el interior del Auditorio para un periodo próximo al verano, en pleno funcionamiento (14 al 20 de noviembre de 2005)

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. El Auditorio, 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). El edificio sin usuarios y sin calefacción auxiliar no mostró mayormente zonificación y estratificación térmica, detalle muy importante debido a que en experiencias anteriores sobre un edificio de similares características se habían detectado importantes diferencias de temperatura entre la zona de butacas y el entarimado de madera en donde se ubica el profesor.

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 aún con el aporte metabólico de 200 alumnos. Este logro es muy importante debido a que las condiciones climáticas de la localidad preveían un sobrecalentamiento del edificio si no se aplicaban técnicas de acondicionamiento adecuadas. La situación se vio favorecida con la incorporación de los toldos de sombreado sobre los colectores solares. 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.; FILIPPÍN, C. Un edificio Solar Pasivo para la Universidad Nacional de La Pampa. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, Salta, Argentina, v. 2, n. 1, p. 03.17-03.20, 1998.

BEHLING, S.; BEHLING, S. **La evolución de la arquitectura sostenible**. Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona, p. 20–21, 2002.

BREESCH H.; BOSSAER A.; JANSSENS A. Passive cooling in a low-energy office building. **Solar Energy**, v. 79, p. 682-696, 2005.

CARDINALE N.; RUGGIERO F. Energetic aspects of bioclimatic buildings in the Mediterranean area: a comparison between two different computation methods. **Energy and Buildings**, v. 31, p. 55–63, 2000.

DUFFIE J.A.; BECKMAN W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes**, 2ª edición, p. 173-176. Wiley Interscience, New York, 1991.

FENG Y. Thermal design standards for energy efficiency of residential buildings in hot summer/cold winter zones. **Energy and Buildings**, v. 36, p. 1309–1312, 2004.

FILIPPÍN C. Análisis energético de una tipología edilicia escolar en diferentes localizaciones geográficas de la provincia de La Pampa. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, Salta, Argentina, v. 3, n. 2, p. 7.05-7.08, 1999.

FILIPPÍN C.; BEASCOCHEA A.; FLORES LARSEN S. Descripción técnica de un auditorio bioclimático para la Universidad Nacional de La Pampa en General Pico. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, Salta, Argentina, v. 8, n. 1, p. 05.151- 05.156, 2004.

FILIPPÍN C.; BEASCOCHEA A.; FLORES LARSEN S. Auditorio bioclimático en la region central de Argentina. In: IV Congreso Latinoamericano sobre Confort y Comportamiento Térmico de los Edificios, COTEDI 2005, 23 al 25 de mayo de 2005, Ciudad de México, 2005.

FILIPPÍN C.; BEASCOCHEA A.; FLORES LARSEN S.; LESINO G., Energy-saving apartments in a semiarid region in Argentina. In: **Solar World Congress ISES 2005**, D.Y.Goswami, S. Vijayaraghaven, R. Campbell-Howe Ed., ISBN 0-89553-177-1, Orlando, Estados Unidos, 6 al 12 de Agosto de 2005, 2005a.

FILIPPÍN C.; BEASCOCHEA A.; FLORES LARSEN S.; LESINO G. Passive solar buildings in a temperate climate in Argentina. In: **Solar World Congress ISES 2005**, D.Y.Goswami, S. Vijayaraghaven, R. Campbell-Howe Ed., ISBN 0-89553-177-1, Orlando, Estados Unidos, 6 al 12 de Agosto de 2005, 2005b.

FILIPPÍN C.; FLORES LARSEN S.; BEASCOCHEA A.; LESINO G. Response of conventional and energy-saving buildings to design and human dependent factors. **Solar Energy**, New York, v. 78, p. 455-470, 2005c.

FILIPPÍN C.; BEASCOCHEA A.; RUBIO M.; FLORES LARSEN S. Comportamiento térmico-energético de un auditorio bioclimático en la región central de Argentina. **Energías Renovables**

y **Medio Ambiente**, Salta, Argentina, v. 18, p. 19-26, 2006.

FILIPPÍN C.; MAREK L.; FLORES LARSEN S.; LESINO G. An energy efficient school for a nature disposed population in arid lands of central Argentina. **Journal of Building Physics**, SAGE Publications, v. 30, n. 3, p. 241-260, 2007.

FLORES LARSEN S.; LESINO G. A new code for the hourly thermal behavior simulation of buildings. In: **VII International Building Simulation Congress**, Rio de Janeiro, Brasil, p. 75-82, 2001a.

FLORES LARSEN S.; FILIPPIN C.; LESINO G. Uso de acondicionamiento pasivo y calefacción en una escuela rural en Algarrobo del Águila, Argentina. In: **XII Congreso Ibero y VII Congreso Ibero Americano de Energía Solar**, pp. 97-102, ISSN CD 84-609-2264-2, Vigo, España, 14 al 18 de septiembre de 2004.

FLORES LARSEN S.; FILIPPIN C.; LESINO G. Buried pipes for passive cooling: two cases of educational buildings in Argentina. In: **Solar World Congress ISES 2005**, D.Y.Goswami, S. Vijayaraghaven, R. Campbell-Howe Ed., ISBN 0-89553-177-1, Orlando, Estados Unidos, 6 al 12 de Agosto de 2005.

GARDE F.; ADELARD L.; BOYER H.; RAT C. Implementation and experimental survey of passive design specifications used in new low-cost housing under tropical climates. **Energy and Buildings**, v. 36, p. 353-366, 2004.

IRAM 11603, Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires, Argentina, 1992.

JOHANSSON, T.B.; GOLDEMBERG, J. **Energy For Sustainable Development, A Policy Agenda**. United Nations Development Programme, 2002.

LENSSEN; ROODMAN, D., 1995. In: **La Situación del mundo**. Informe del Worldwatch Institute, Emecé Editores España, S.A., p. 165-192, 1995.

MACIAS M.; MATEO A.; SCHULER M.; MITRE E.M. Application of night cooling concept to social housing design in dry hot climate. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 1104-1110, 2006.

MOOTZ F.; BEZIAN J.J. Numerical study of a ventilated facade panel. **Solar Energy**, New York, v. 57, n. 1, p. 29-36, 1996.

PFAFFEROTT J.; HERKEL S.; WAMBSGANß M. Design, monitoring and evaluation of a low energy office building with passive cooling by night ventilation. **Energy and Buildings**, v. 36, p. 455-465, 2004.

WALL M. Energy-efficient terrace houses in Sweden. Simulations and measurements. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 627-634, 2006.

World Resources Institute, **World Resources 2000-2001, People and Ecosystems. The Fraying Web of Life**. Washington DC, 2001.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado a través del Proyecto de CONICET PIP N° 6543 y parcialmente financiado por los proyectos CIUNSa N°1699 y 1332 y ANPCYT PICTO 2006 UNSa N°36646.