

AUDITORÍAS HIGROTÉRMICAS Y LUMÍNICAS DE DOS EDIFICIOS ESCOLARES DE NIVEL INICIAL DE LA CIUDAD DE RESISTENCIA, EN CONDICIONES REALES DE OCUPACION.

M.L. Boutet ¹; A.L. Hernández ²; G.J. Jacobo ³; P.E. Martina ⁴; J.J. Corace ⁴
 Cátedra Estructuras II. Área de la Tecnología y la Producción. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
 Universidad Nacional del Nordeste (U.N.N.E.) – Av. Las Heras 727 – 3500 Resistencia, Chaco /
 Tel: +54 3722 425573/ e-mail: lauraboutet@arq.unne.edu.ar / gjjacobo@arq.unne.edu.ar
 Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) – CONICET
 Universidad Nacional de Salta (UNSa.), Avda. Bolivia N° 5.150, CP. 4400, Salta Capital
 Tel. 0387-4255424 – Fax 0387-4255389 / e-mail: alejoher65@gmail.com

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados y análisis comparativo de cuatro auditorías energéticas de temperatura, humedad relativa e iluminancia, efectuadas durante períodos de verano y otoño (2010 – 2011), en dos edificios escolares de Nivel Inicial, de la ciudad de Resistencia, Chaco. Las auditorías incluyeron encuestas a los ocupantes y observaciones in situ. Como resultado se obtuvo un diagnóstico global, verificando que, independientemente de la tecnología constructiva implementada y del período histórico de su ejecución, los espacios interiores son susceptibles de sobrecalentamiento incluso en días frescos de otoño, por el ingreso de irradiación solar directa a través de las aberturas orientadas hacia el Noreste y Noroeste. A ello se suman los problemas de deslumbramientos sobre el área de trabajo, incrementando la sensación de disconfort y el consecuente consumo energético para climatización e iluminación artificial.

Palabras clave: Arquitectura Escolar, Evaluación Energética, Radiación Solar

INTRODUCCIÓN

Este trabajo forma parte de la Tesis de Doctorado en Ciencias en el Área Energías Renovables de la UNSa., de la Arq. Boutet M. L., que se ejecuta en el marco de un Acuerdo de Trabajo suscripto entre la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNNE y el Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Provincia del Chaco (MECCyT). El propósito es transferir los resultados como base científica para la formulación e implementación de nuevos programas de infraestructura escolar, mediante el aprovechamiento de la “Energía Solar Térmica Pasiva”. A partir del relevamiento de un universo de sesenta prototipos escolares implementados en la ciudad de Resistencia, Chaco (27,45°Lat.Sur; 59,05°Long. Oeste; Alt. 52 msnm), se seleccionaron dos casos representativos ejecutados en diferentes períodos históricos (Fig. 1), siendo los **objetivos de este trabajo:** a) Realizar “auditorías energéticas simples”, del comportamiento higrotérmico - lumínico de los casos seleccionados, a través de mediciones experimentales in situ y su posterior contrastación; b) Analizar posibles problemas de disconfort, elaborando un diagnóstico global, para ser tomado como insumo en futuras propuestas de optimización.

PRESENTACION DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Jardín Materno Infantil de la UNNE. El edificio se erige dentro del Campus Universitario de la ciudad de Resistencia, situado en un área urbana de media densidad edilicia. Fue construido a fines de la década de 1950, con técnicas artesanales de mampuesto macizo de 0.30 m de espesor, revocado en ambas caras y cubierta de tejas coloniales sobre estructura de madera. Con una superficie cubierta de 268 m², dispone de salas de 1 a 4 años, biblioteca; dirección, sala de reuniones, cocina y baños. Funciona en dos turnos: mañana de 8:00 a 12:00 h y tarde de 16:00 a 20:00 h, con una matrícula de 145 alumnos.



Figura 1: Jardín Materno Infantil de la UNNE (Izq) / Jardín Materno Infantil N°33 “Niño de Yapeyú” (Der.)

Jardín Materno Infantil N°33 “Niño de Yapeyú”. Ejecutado a través del Programa Nacional 700 Escuelas en el año 2007, se erige en la ciudad de Resistencia, próximo al Campus UNNE. Su tecnología constructiva consiste en muros de 0.30 m de espesor de ladrillos vistos con junta enraizada y revocados en el interior; cubierta de chapa AU L1 galvanizada con estructura

¹ Arq. Esp., Prof. Univ., Becaria Doctoral CONICET – UNNE (Doctorado en Ciencias. Área Energías Renovables, UNSa.)

² Dr. Lic. en Física, Prof. Univ., Investigador INENCO – UNSa. – CONICET; Director de Tesis.

³ MSc. M.Ing. Arq., Prof. Univ., Investigador FAU – UNNE; Co-director de Tesis

⁴ Ing., Prof. Univ., Investigador, Grupo de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables (GIDER) – FI – UNNE.

de perfiles de chapa estampada y cielorraso de machimbre de PVC suspendido, quedando una cámara de aire ventilada entre ambos. Cuenta con aleros pronunciados hacia el Noreste y Suroeste y las conexiones entre locales se resuelven con losas de hormigón armado. Con una superficie cubierta de 880 m², dispone de 8 aulas que albergan 10 salas de 2 a 4 años con sanitarios y un área de gestión y administración con sanitarios y cocina. Funciona de 6:00 a 14:00 h, incluyendo desayuno y almuerzo, con una matrícula de 173 alumnos.

MATERIALES Y METODOS

Se efectuaron cuatro campañas de monitoreo higrotérmico y lumínico en épocas de verano y otoño (2010 – 2011):

- Jardín Materno Infantil de la UNNE, del **28/05/2010 al 08/06/2010** y del **02/03/2011 al 22/03/2011**, el primero se detalla en dos trabajos (Boutet et al., 2010), presentados en la XIII Reunión ASADES 2010.
- Jardín Materno Infantil N° 33 “Niño de Yapeyú”, del **14/03/2011 al 21/03/2011** y del **16/05/2011 al 03/06/2011**.

Los instrumentos de adquisición de datos automáticos y digitales, utilizados en los monitoreos, pertenecen al Grupo de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables (GIDER) del Dpto. de Termodinámica, Fac. de Ingeniería, UNNE, en el marco del proyecto de investigación acreditado PI-C001-2010⁵. Debido a que estos instrumentos son compartidos por varios equipos de investigación, las fechas elegidas estuvieron supeditadas a la disponibilidad de los mismos. La metodología aplicada se basa en experiencias desarrolladas por Hernández A. (2010), Pattini A. (2009) y San Juan G. (2008):

A. Observación objetiva en terreno. Se realizó el relevamiento físico sensible y registro fotográfico para la actualización de la documentación técnica. Se registraron diariamente los patrones de comportamiento de los usuarios y la operación de aberturas, dispositivos de oscurecimiento y de artefactos de climatización auxiliar e iluminación artificial.

B. Encuestas a los usuarios. Se efectuaron encuestas estructuradas y espontáneas a docentes y autoridades, con el objeto de determinar su grado de satisfacción frente a las condiciones higrotérmicas y lumínicas y las variaciones de uso de climatización auxiliar en verano y en invierno. Se gestionaron las facturas de luz correspondientes al período 2009 – 2011, para la verificación de consumos eléctricos y gasto de energía eléctrica anual.

C. Registro Automático de Temperaturas. Se utilizó un Data Logger (NOVUS Field Logger) con 8 canales analógicos, convertidor y software de adquisición de datos, estableciendo una frecuencia de muestreo de 10 minutos. Se conectaron 8 termocuplas tipo K con cables de prolongación compensados. El sistema de medición fue previamente calibrado en el rango de temperaturas de trabajo (Boutet, et al., 2011). Las puntas sensoras se ubicaron fuera del alcance de los niños, a una altura de 2,00 m y fueron protegidas con conos de papel aluminio en el Jardín de la UNNE y con latas de gaseosa pintadas de aluminio brillante en el Jardín N° 33, sin base, perforados para permitir el paso del aire apantallando el intercambio radiante en el infrarrojo lejano con las paredes y el cielorraso de los locales, que pudiera alterar los valores medidos.

D. Registro Manual de Temperaturas y Humedad Relativa Interna. En las auditorías efectuadas en 2011, se utilizó un Multímetro digital auto rango 5 en 1 - MS8229 – MASTECH, con termocupla Tipo K para el registro de los cambios instantáneos de temperatura. Los datos se colectaron posicionando el multímetro en el centro de cada local, a 1.50 m de altura, diariamente en diferentes bandas horarias según el nivel de actividad y la incidencia solar sobre los edificios.

E. Registro Manual de Iluminancias. Se utilizó el multímetro digital auto rango 5 en 1 con foto detector. Se consideró el plano horizontal de trabajo a 0.60 m de altura para los niños. Se distribuyeron simétricamente los puntos de medición en cada local, separados de los muros entre 1m y 1.20 m. Se midió el nivel de iluminación natural, natural y artificial y artificial, en distintas horas del día, bajo cielo claro y cielo nublado, con y sin protección de las aberturas y en períodos sin presencia de los niños, por recomendación de las autoridades, para no interrumpir las actividades escolares.

F) Registro de Variables Meteorológicas. Fueron realizados cada 10 minutos en la estación meteorológica del Dpto. de Termodinámica FI - UNNE, mediante: un medidor de humedad relativa y temperatura ambiente externas marca ROTRONIC, tipo Hygromer I-128 con una amplitud de medición de 0 a 100% de humedad relativa con un error de +/- 1,5% a 25°C y con una amplitud de medición de temperaturas entre -15°C y 65°C y una apreciación de 0,1°C; un sensor de radiación solar global (piranómetro termoeléctrico) marca Eppley tipo PSP N° 30155 F3.

Cada campaña abarcó las instancias detalladas, a excepción del monitoreo realizado en el período **14/03/11 – 21/03/11** en el Jardín N°33 “Niño de Yapeyú”, donde el registro de temperaturas se hizo con el multímetro digital, al ser éste simultáneo con el efectuado en el Jardín de la UNNE y no disponer de otro datalogger para adquisición de datos en forma automática.

DISCUSION DE RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO

JARDÍN MATERNO INFANTIL DE LA UNNE. Se detallan los resultados de la campaña de medición que se extendió desde el **02/03 hasta el 22/03/11** y su contrastación con los resultados del período 28/05 al 08/06/10 (Boutet et al., 2010).

A. Observación objetiva en terreno. Se detectaron dos situaciones en cuanto al patrón de ocupación: **Desde el 02/03 al 11/03** (período cálido – húmedo, con días soleados y nublados) asistieron sólo los docentes que mantuvieron entrevistas con los padres. El uso de los equipos de aire acondicionado fue intensivo de 9:00 a 12:00 h y por la tarde en forma permanente. El área de cocina y baño, estuvo afectada a refacciones edilicias, realizadas por 3 albañiles. En promedio, se verificó una ocupación de 4 personas por aula, a excepción de los días en que hubo reunión de padres: **10/03 - 9:00 a 11:00 h** y **11/03 - 19:00 a 20:30 h**, con 20 personas por sala. **Desde el 14/03 al 22/03** (descenso de temperatura y días soleados), se desarrollaron las clases normalmente con asistencia de los niños. En este período el horario de ingreso fue a las 9:00 h y a las 17:00 h. La demanda de climatización auxiliar fue menor, constatándose sólo en los horarios pico.

B. Encuestas a los usuarios. Se efectuaron a 8 docentes, incluyendo mediciones instantáneas, para corroborarlas con su sensación de bienestar. Bajo temperaturas elevadas de 33°C – 46 % HR, la sensación térmica para los docentes de las aulas

⁵ SGCyT-UNNE. Res. N° 0921/2010-CS. “Evaluación térmico-energética de las sedes edilicias de las Facultades de Arquitectura y Urbanismo y de la de Ingeniería de la UNNE. Director: Jacobo G. J. - Período 01/01/2011 – 31/12/2014.

de 2 y 3 años fue **templada**, mientras que para los de las aulas de 1 y 4 fue **cálida – húmeda**. Esa sensación de bienestar cambia por el aumento de la actividad y la presencia de los niños. Los docentes gradúan en 20°C promedio el termostato de los equipos de aire acondicionado (Split -2000 frigorías), lo que se refleja en el elevado consumo energético registrado en los últimos años, que se triplica en los meses de otoño y primavera, en relación a los períodos sin demanda. Partiendo de un mínimo de 443 kWh, los máximos valores en el año 2010 pertenecen a marzo, 1465 kWh y octubre, 1497 kWh. El consumo durante la auditoría de marzo de 2011 fue de 1073 kWh, aumentando en abril a 1402 kWh.

Para los docentes de ambos turnos, excepto la sala de 2 años turno mañana, la iluminación natural fue **insuficiente**, lo cual coincidió con los valores medidos que variaron entre 8 y 134 lux. En el aula de 2 años (NE) fue **excesiva** con 964 lux. Esta es la más afectada por la incidencia directa de la radiación solar, al igual que el aula de 4 años (NO) por la tarde, lo cual se subsana cerrando los postigos. La iluminación artificial fue calificada como **suficiente**, con iluminancias de 58 a 200 lux. Gracias al estudio realizado, las autoridades del Jardín gestionaron la incorporación de nuevos artefactos de iluminación.

C. Registro Automático de Temperaturas. Se mantuvo la misma distribución de las 8 termocuplas en los espacios más representativos (Fig.2), que en el monitoreo del año 2010.

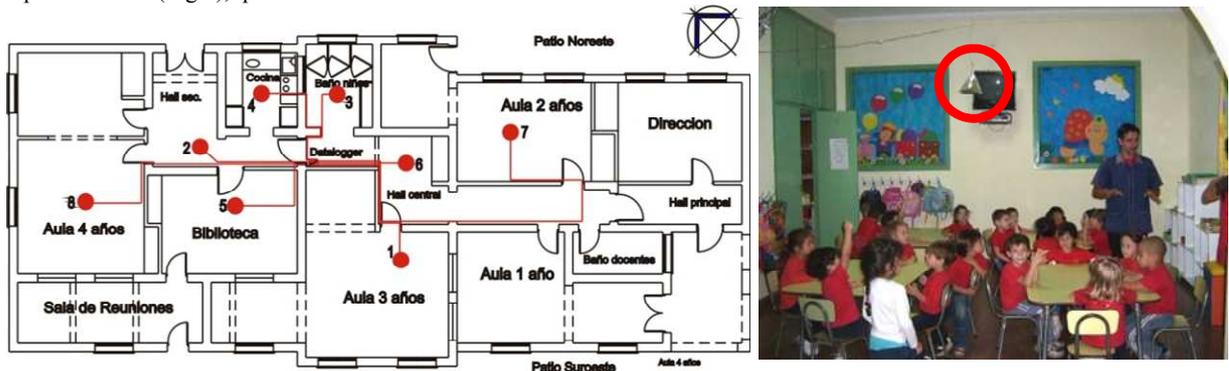


Figura 2. Planta con distribución de termocuplas. Aula de 4 años señalando la punta sensora con pantalla protectora.

En la Fig. 3 se observa la evolución de temperaturas de todo el monitoreo (02/03 – 00:00 h al 22/03- 00:00 h), en relación a las variables externas y a la banda de confort regional preestablecida entre 19°C y 29°C (Jacobo, 2001). Hay un progresivo aumento de temperatura externa desde el 02/03 hasta el 12/03 (máxima 36.2 °C – 09/03, 14:00 h), periodo coincidente con los días sin clases. Luego de un brusco descenso el día 13, registrándose la mínima el día 14 (17.2 °C – 06:00 h), la temperatura asciende, manteniéndose con una media de 25°C durante la semana de clases, hasta el 21/03, inicio del otoño. Los días fueron soleados con valores de irradiación global superiores a 900 W/m² entre las 12:00 y las 14:00 h (máximo 1087 W/m² - 03/03,13:00 h), con porcentajes regulares de HR externa entre 35 y 70 %, llegando a 80 % en días nublados y lluviosos.

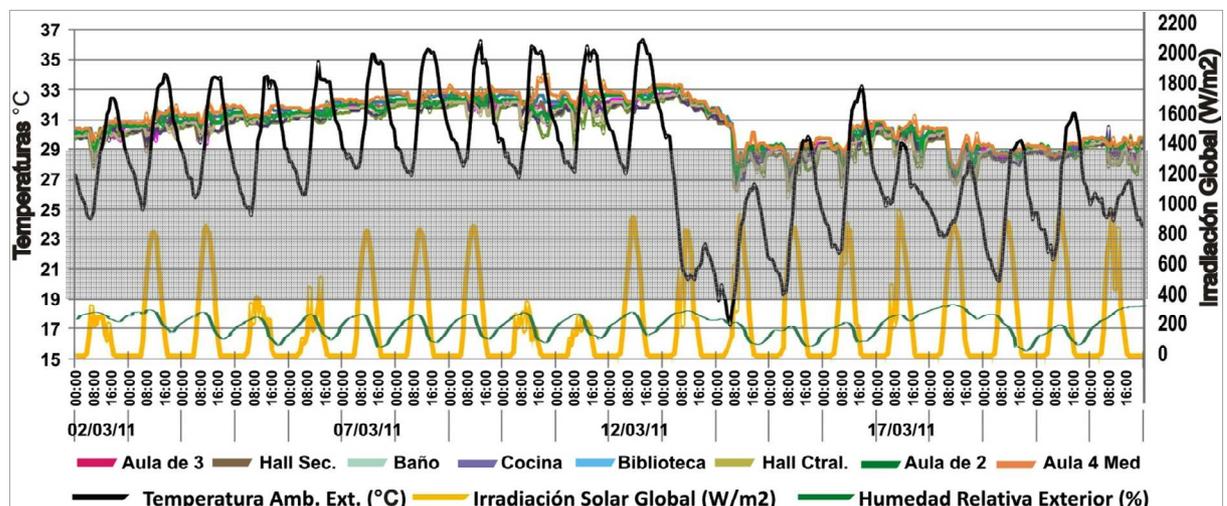


Figura 3: Evolución de variables medidas de frecuencia horaria. Período 02/03 – 22/03/11. Jardín UNNE.

Las temperaturas internas de los locales siguen la misma tendencia que la externa, pero con inercia y mayor amortiguación de la onda térmica. Estas permanecen durante el primer período, en un promedio de 4°C por fuera del límite superior de confort, levemente por arriba de la media externa. En el segundo período se mantienen sobre el límite de confort y superando la media externa. Es evidente la incidencia de las cargas de ocupación al iniciarse las clases y de los mayores valores de humedad relativa exterior e irradiación solar. A pesar del funcionamiento de los equipos de aire acondicionado, las pérdidas que se producen por la apertura y cierre de puertas y ventanas, no permiten que los locales alcancen a refrigerarse totalmente.

En la Fig. 4 se ve la evolución de temperaturas internas en los tres días más cálidos de la semana sin clases (Izq.) y de la semana con clases (Der.), en relación al límite superior de confort (línea roja discontinua). En ambos casos, el aula de 4 años, que tiene una de sus fachadas orientada al NE sin aberturas y otra al NO con dos aberturas, es la que registra las máximas

temperaturas, con un retraso térmico promedio de cuatro horas frente a las máximas exteriores. La Biblioteca también manifiesta valores altos, al utilizarse como lugar de preparación de los refrigerios, por estar la cocina en refacción.

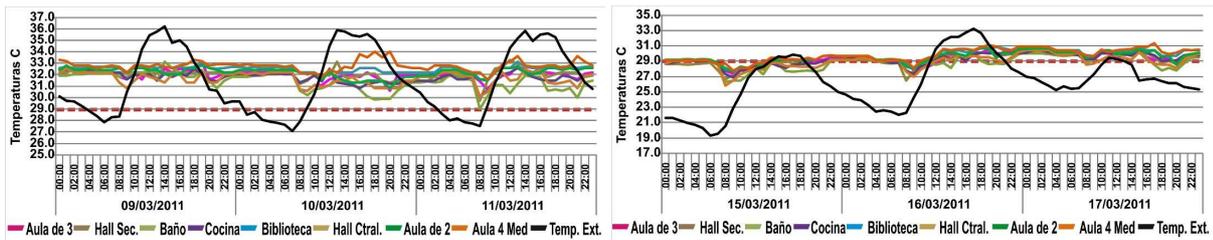


Fig. 4: Evolución de temperaturas medidas. Días más cálidos de la semana sin clases (Izq.) y con clases (Der.)

Mientras que la amplitud térmica exterior llega a 8,8°C en el primer período y a 11,3°C en el segundo, la de los locales no supera los 2,2°C y 2,8°C respectivamente, lo que indica que el edificio tiene suficiente masa térmica. Esto puede atribuirse a la respuesta de su envolvente constructiva maciza, que podría mejorarse con protecciones solares adecuadas al Noreste, pues es allí donde el efecto de la temperatura sol – aire resulta significativo en la transferencia de calor por conducción. Por otra parte, al analizar las diferencias horarias de temperatura interior – exterior, se advierte que de 9:00 a 11:00 h los locales se encuentran a mayor temperatura que el exterior con una diferencia promedio de 3°C, por lo tanto, es el período más crítico.

D) Registro Manual de Humedad Relativa Interna. Los valores medidos son inferiores a los registrados en el exterior, excepto en el rango de 16:00 a 19:30 h (entre 40 y 70 %). Durante los días 17, 18 y 21, la humedad relativa exterior asciende a un máximo de 80%, lo cual se traduce en el aumento de humedad de los locales (73 %). No se registró condensación en paramentos y vidriados.

E) Registro Manual de Iluminancias. La Tabla de la Fig. 5 contiene las iluminancias promedio correspondientes a las cuatro aulas, calculadas en base a los datos tomados “punto por punto”. El aula de 2 años es la única que satisface los 500 lux recomendados por las Normas IRAM AADL J-2004 (1974) y MCEN (1996), durante la mañana, con un máximo de 757 lux, pues posee mayor relación de área vidriada por área de piso (16 %) y por área de fachada (11%), con una superficie efectiva de vidrio simple de 1.30 m², cada ventana. Por la tarde estos valores disminuyen. Las demás aulas no satisfacen los requerimientos mínimos de iluminación natural ni aún complementando ésta con iluminación artificial. En los perfiles graficados con los valores punto por punto, se verifica que la distribución de la luz natural en un día de cielo claro, no es uniforme. Se registra una iluminación adecuada, incluso excesiva en el caso del aula de 2 años pero solo en los sectores próximos a las ventanas, mientras que quedan sectores prácticamente sin iluminación natural. La iluminación artificial, se concentra en los puntos de luz, no llegando a satisfacer los valores requeridos. Se corrobora así, todo lo manifestado por los docentes en las encuestas.

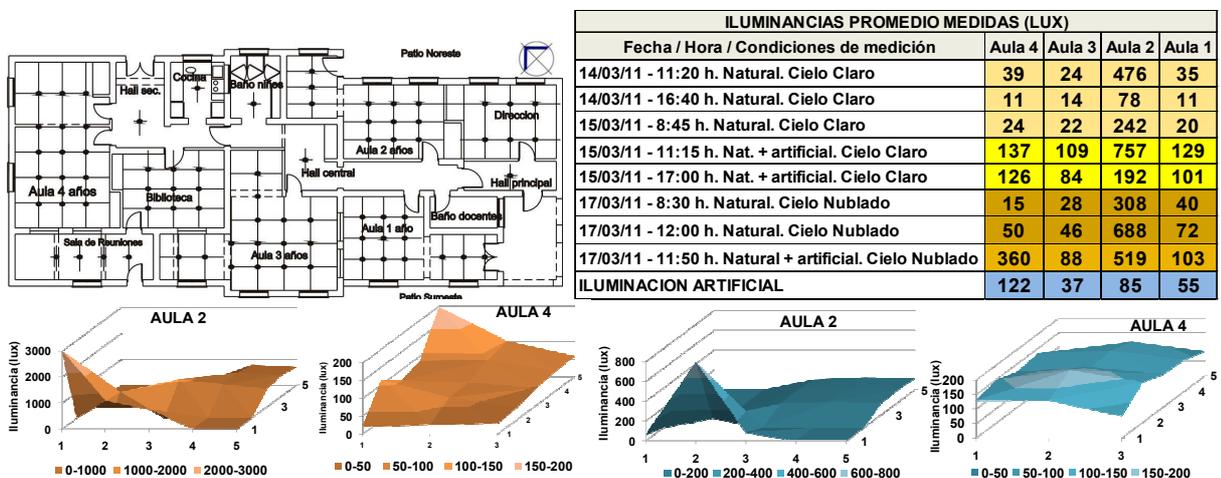


Figura 5. Iluminancias Promedio. Perfiles de iluminación natural. Cielo Claro - 14/03/11 - 11:20 h. (Izq.) y artificial (Der.)

Contrastación de resultados con el monitoreo del período frío 2010. A partir de la evaluación energética realizada del 28/05 al 08/06/10, se verificó que el Jardín Materno Infantil de la UNNE, por sus características tecnológicas constructivas, brinda condiciones de bienestar, sin necesidad de climatización auxiliar en días de otoño con valores de días de invierno leve típicos de esta zona. En base a los resultados del monitoreo de verano – otoño 2011 detallados precedentemente, si bien el equilibrio de temperaturas interiores es favorable, la situación es más deficiente al encontrarse el edificio la mayor parte del tiempo, fuera del rango de confort. Comparando las mediciones de iluminancia, se advierte que las efectuadas en otoño de 2010 son más altas. Debido a su menor ángulo de incidencia, la luz solar ingresa más profundamente sobre el área de trabajo. Sin embargo, se repiten los problemas por deslumbramiento en el aula de 2 años y la falta de iluminación en las aulas NO y SO.

JARDÍN MATERNO INFANTIL N°33 “NIÑO DE YAPEYÚ”. Se detallan los resultados de las auditorías energéticas efectuadas en los períodos de verano y otoño 2011 y su contrastación con las correspondientes al Jardín de la UNNE.

A. Observación objetiva en terreno. El ingreso del personal es a las 6,00 h y el de los niños de 7:30 a 9:00 h. Las actividades se organizan en diferentes “momentos” de media hora cada uno, con horarios fijos de desayuno (9:00 h) y almuerzo (11:30h).

De 12:30 h a 14,00 h. es el retiro de los niños. La tipología edilicia es abierta (Fig. 11), desarrollándose en forma longitudinal a partir de la circulación central, con la disposición intercalada de los módulos - aula de 6,90 m x 6,90 m, salvo las salas de 2 años que se encuentran integradas en una sola aula de 14,10 m x 6,90 m. Las ventanas son corredizas con marcos de chapa doblada y un área efectiva de vidrios simples de 1.60 m². La relación de área vidriada por área de piso es de 15,17% y por área de fachada, de 18,75%, con excepción de la sala Naranja B, de 14,82% y 51,13% respectivamente, relación alta para un espacio reducido, que recibe además el flujo energético de las otras dos salas vinculas. Las salas Violeta y Rosa, también se hallan comunicadas a través de un vano, lo cual conlleva múltiples problemas de climatización de los sectores con equipos de 2000 frigorías, que no son suficientes.

La elevada exposición solar de las aulas orientadas al NE, ha obligado a incorporar cortinas "black out" además de las cortinas propias de cada sala. Es una solución parcial, porque entre el vidriado y dichas cortinas, se forma una capa de aire caliente que alcanza 3°C más en relación a la temperatura interna y por otra parte, se priva de iluminación natural. La solución óptima sería la incorporación de dispositivos externos regulables, que eviten la incidencia solar antes de atravesar el vidriado. Si bien, a partir de las 11:30 h los aleros arrojan sombra sobre las ventanas al NE, al ser éstos de chapa y el piso exterior de cemento alisado, aumenta el valor de la temperatura superficial (sol - aire) de la capa límite lindante con los paramentos de ladrillos vistos que tienen un coeficiente de absorción elevado, por lo que el flujo calórico se transmite de igual manera al interior.



Fig. 7. Aula Naranja (NE).

Se destaca como recurso bioclimático, el "tubo venturi" generado por el pasillo entre las salas centrales, abierto hacia los vientos predominantes y de mayor altura que éstas, con vanos laterales que permiten la extracción del aire caliente por "efecto chimenea" (Fig.8), liberando las ganancias térmicas que obtuvieron las aulas expuestas a la radiación solar. Este recurso podría ser mejor aprovechado si se permitiera la ventilación cruzada de las aulas, dificultada por el mal deslizamiento de las ventanas. Además, la cámara de aire del techo funcionaría mejor, con ventilaciones en las caras opuestas, siguiendo la pendiente de la cubierta, dejando salir el aire caliente por convección natural.

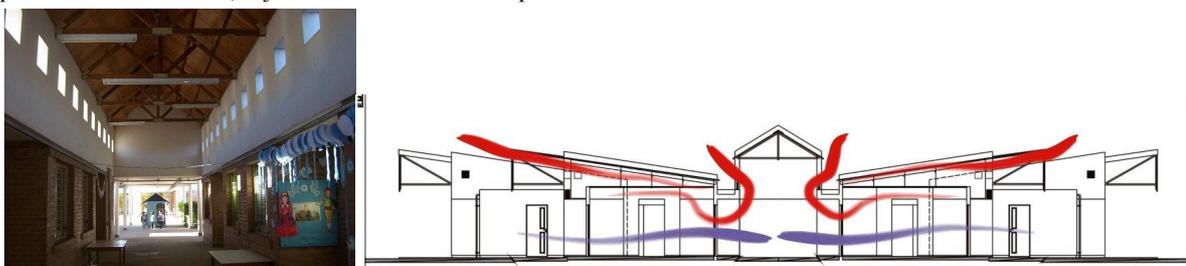


Figura 8. Estrategias de diseño bioclimáticas potenciales. Pasillo central del Jardín Materno Infantil N°33.

B. Encuestas a los usuarios. Las encuestas completadas por las docentes, en verano expresan una sensación térmica **muy cálida** salvo en las salas Naranja B y C, **cálidas**. Los equipos de aire acondicionado funcionan de 7:00 h a 14:00 h, advirtiéndose un elevado consumo energético. En invierno, la sensación térmica mayoritaria es **fría**, en la sala Naranja A, **templada** y en las salas Naranja B y Amarilla, **levemente fría**. Algunas docentes abren las ventanas para permitir la ventilación natural y otras las abren pocas veces por el aire acondicionado o por su mal deslizamiento.

La iluminación natural es considerada **suficiente** en todas las salas, a excepción de las Rosa y Violeta. Se la aprovecha, especialmente en invierno, pero al ser excesiva y producir deslumbramiento en los niños, se deben cerrar las cortinas y utilizar la iluminación artificial. En verano no se abren.

C. Monitoreo de Temperaturas, Humedad Relativa Interna e Iluminancias del Período Estival. En la Fig. 9 se muestran los resultados de las mediciones de temperaturas de los locales efectuadas con el multímetro 5 en 1 y la termocupla tipo K, diariamente en tres rangos horarios, durante el período de ocupación comprendido entre el 14/03 y el 21/03/11.

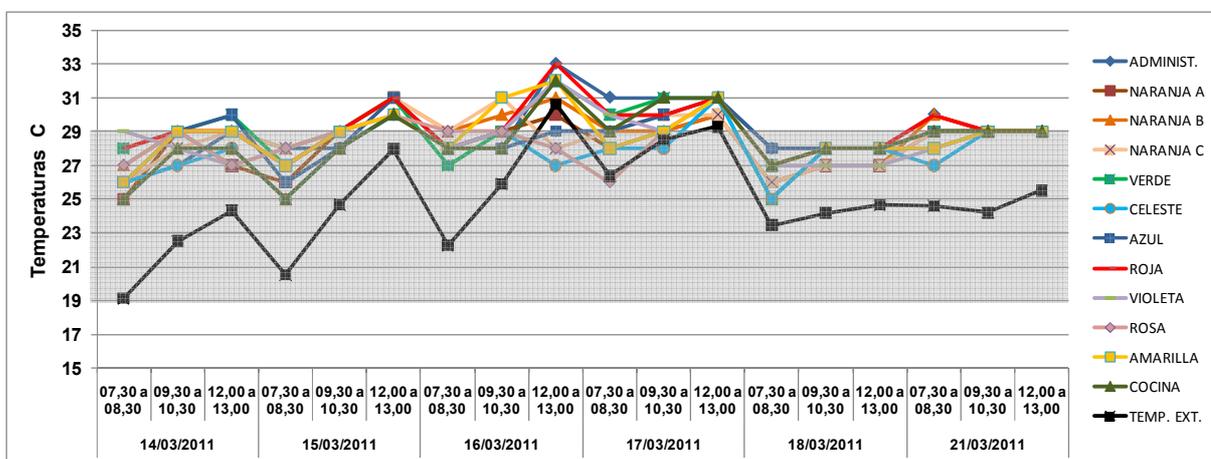


Fig.9: Evolución de temperaturas medidas por rangos horarios en los días de ocupación. Jardín N°33

Del 14/03 al 17/03, las temperaturas salen de la banda de confort de 9:30 a 13:00 h, período de máxima incidencia solar, mientras que en los días frescos, permanecen dentro de la misma a excepción de las aulas Roja y Rosada. Las temperaturas medias de los locales llegan a 30.7°C, en el día más cálido, 2°C por arriba de la media exterior de 28.1°C. El día 18 solo asistieron los docentes, como se verifica en la tendencia constante de temperaturas, al no incidir las cargas de los niños. La máxima diferencia con el exterior se registra entre las 07:30 y 08:30 h (4°C) disminuyendo progresivamente hacia el mediodía, pero siempre los locales se encuentran a mayor temperatura. Se verifica que las aulas con sus fachadas NE y SO expuestas, la Cocina y la Administración, tienen condiciones más desfavorables, con un constante sobrecalentamiento. Comparando la respuesta higrotérmica de los dos casos de estudio en el período de verano, el Jardín N° 33 sigue los mismos cambios instantáneos de la temperatura ambiente exterior, a diferencia del Jardín de la UNNE que presenta un mayor equilibrio térmico. Éste tiene una tipología edilicia compacta, lo que reduce las pérdidas o ganancias de energía calórica, pero favorece su acumulación. En cambio, por su tipología abierta, el Jardín N°33 posee más posibilidades de intercambio interior - exterior, con mayor superficie de fachadas expuestas, por lo que el sobrecalentamiento es más elevado, como sucedió el 16/03 en que superó la media exterior, sumando las ganancias por ventilación e infiltración.

La **humedad relativa interna** del Jardín N° 33, permanece por debajo de la humedad relativa exterior, con valores entre 40 y 60 % llegando a 70% los días 18 y 21/03. Estos son levemente más elevados que los registrados en el Jardín de la UNNE.

Las mediciones de **iluminancia natural y artificial** se efectuaron el 18/03, en un día sin clases, con predominancia de luz difusa (cielo nublado) entre las 9:00 y las 11:00 h. En la Fig. 10 se muestran los promedios de iluminancia obtenidos en todas las aulas y los perfiles graficados para las aulas Naranja y Amarilla, representativas del conjunto. Las salas Naranja A y B, exceden el requerimiento de 500 lux, mientras que en las aulas del área central que tienen una sola fachada expuesta, los valores son bajos. La iluminación artificial es deficiente en todas las aulas. Comparado con el Jardín de la UNNE, existe una gran potencialidad para el aprovechamiento de la luz natural con mayor área vidriada por aérea de fachada y de piso, que se ve coartada al no estar debidamente diseñados los dispositivos de protección solar.

| ILUMINANCIAS PROMEDIO MEDIDAS (LUX) | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|------|------|-------|---------|------|---------|
| Fecha / Hora / Condiciones de medición | NARANJA A | NARANJA B | NARANJA C | AMARILLA | AZUL | ROJA | VERDE | CELESTE | ROSA | VIOLETA |
| 18/03/11 - 9:00 h a 11:00 h. NATURAL . Cielo Nublado | 1414 | 535 | 340 | 105 | 389 | 240 | 136 | 126 | 91 | 223 |
| ILUMINACION ARTIFICIAL | 206 | 187 | 156 | 194 | 154 | 177 | 197 | 199 | 125 | 153 |

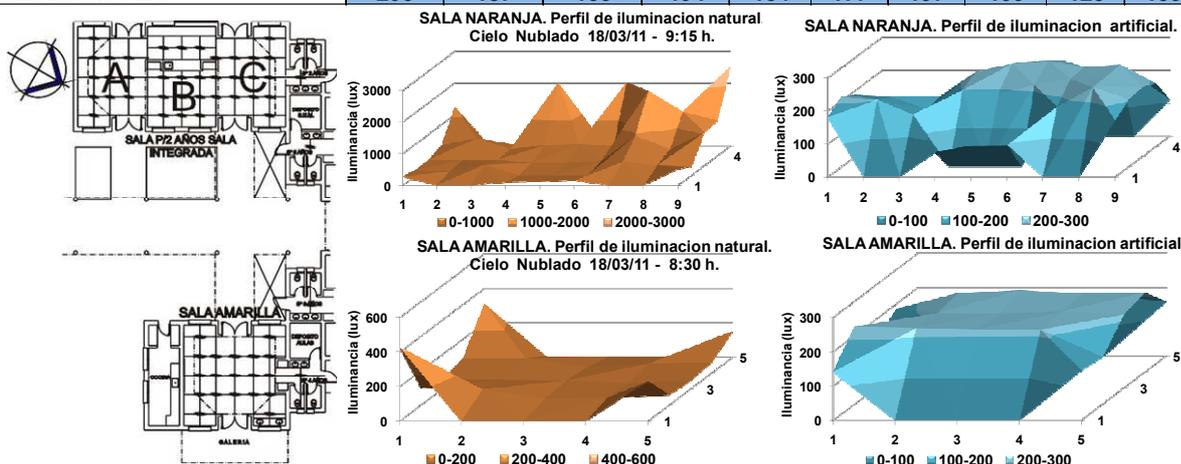


Fig. 10 Promedios de Iluminancia salas Naranja y Amarilla - Perfiles de iluminación natural (Izq.) y artificial (Der.)

D. Monitoreo de Temperaturas, Humedad Relativa Interna e Iluminancias del Período Otoñal. Se detallan, los principales resultados de la auditoría energética realizada entre el 16/05/11 y el 03/06/11. En la planta (Fig. 11 – Der.) se observa la distribución de las 8 termocuplas en las aulas analizadas.



Figura 11. Planta Jardín N° 33 con zonas medidas. Foto Sala Naranja B señalando sensor con pantalla protectora.

El período abarcado, manifestó marcadas fluctuaciones, con días frescos y soleados y días lluviosos y húmedos, típicos de la época otoñal (Fig. 12). Desde el **16/05 hasta el 21/05 fueron frescos** (máxima 25.4 °C, 19/05 – 11:00 h; mínima 15.9°C, 19/05 - 06:00 h) y **soleados** (máximo 780 W/m² – 17/05, 13:00 h). El día 22/05 se produjo un brusco aumento de temperatura exterior (máxima 28.6 °C, 15:00 h) y a partir de allí ocurrieron precipitaciones y días inestables con descensos y ascensos de temperatura, destacándose los días **28/05 y 29/05 fríos y soleados** en que se registraron las mínimas, 11.2 °C - 06:00 h y 11.3 °C - 05:00 h, respectivamente. Los locales manifiestan retraso en la ocurrencia de los picos máximos en relación a la temperatura externa, manteniéndose dentro de la banda de confort, incluso en los días más fríos y sin calefacción auxiliar.

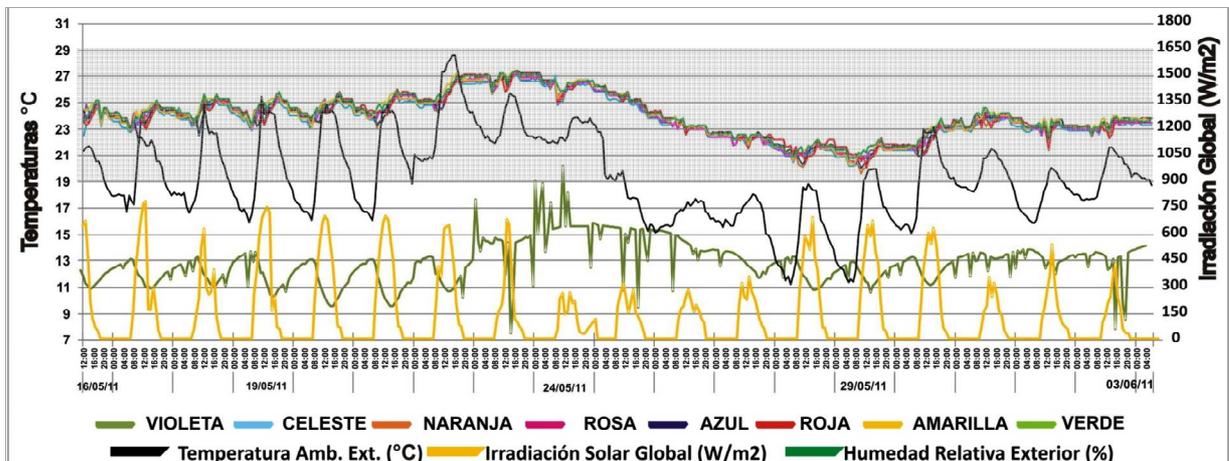


Fig. 12: Evolución de variables medidas de frecuencia horaria. Período 16/05 – 03/06/11. Jardín N° 33

En la Fig. 13 se observa la fluctuación de temperaturas de los locales, en la parte central de la banda de confort durante los tres días soleados frescos (17, 18 y 19/05) y durante los tres días más fríos (28, 29 y 30/05). En el primer período, en general la sala Celeste tiene temperaturas más bajas y las salas Verde y Amarilla, más elevadas. Esta última, por su vinculación con la cocina, es más sensible al aumento de temperaturas entre las 11:00 y 14:00 h. Durante el segundo período, la sala Celeste conserva una temperatura media, mientras que las salas Naranja, Roja y Azul, son las que más sufren las bajas temperaturas. Esto puede deberse a las pérdidas por ventilación e infiltración, al estar más expuestas a los vientos.

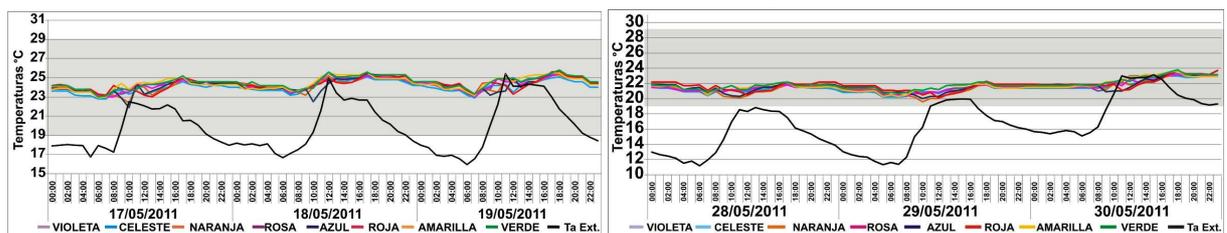


Fig. 13: Evolución de temperaturas medidas. Días soleados frescos (Izq.) y fríos (Der.)

Mientras que la amplitud térmica exterior llega a 9.5°C en el primer período y a 8.6 °C en el segundo, la amplitud térmica de los locales no supera los 2.5°C y 2.2°C respectivamente, lo que indica que el edificio tiene suficiente masa térmica. Al analizar las diferencias horarias de temperatura interior – exterior, durante el periodo de ocupación, se advierte que en el lapso comprendido entre las **9:00 y las 11:00 h**, los locales se encuentran a mayor temperatura que el exterior con una diferencia promedio de 9°C en los días más fríos. Esto redundaría en el ahorro de calefacción auxiliar, pero debe ser controlado frente a los ascensos bruscos de temperatura, pudiendo producirse aumentos excesivos por ganancia solar directa e indirecta.

Comparando los días más representativos de los monitoreos de otoño (2010 – 2011) efectuados en ambos Jardines, durante el periodo de 6:00 a 14:00 h con condiciones meteorológicas similares (temperatura media 15°C – humedad relativa media 73% - radiación solar global max. 647 W/m²), ambos permanecen sobre el límite inferior de la banda de confort, encontrándose los locales del Jardín de la UNNE, 1°C por debajo de la temperatura media de los locales del Jardín N°33 (21°C), a excepción del aula de 2 años, de menor superficie y mayor área de fachada expuesta, susceptible de sobrecalentamientos.

Registro Manual de Humedad Relativa Interna. Los días permanecieron entre 70 y 90 % de humedad relativa externa, mientras que en el edificio los valores son inferiores, con un máximo de 77 %, inclusive en los días lluviosos y nublados, lo cual indica conveniente ventilación. No se registró condensación en paramentos y vidriados. En el Jardín de la UNNE, los porcentajes de humedad relativa (2010) fueron superiores con un máximo de 83% en el aula de 2 años.

Registro Manual de Iluminancias. Las mediciones de iluminación natural se efectuaron en diferentes días y horarios (entre 8:30 y 12:30 h), con cielo claro y cielo nublado, verificándose que, con cortinas abiertas, las salas Naranja, con sus caras NE expuestas, superan los 500 lux, mientras que las demás, no alcanzan dicha condición. En el aula Naranja se aprecian picos altos que superan los 2000 lux en el sector B, mientras que en las demás salas, como la Amarilla, la distribución de la luz es más uniforme, con picos menores en las áreas próximas a las ventanas. La iluminación artificial sigue siendo insuficiente. Las mediciones comprobaron que el área de vidriado es suficiente, pero no deberían repetirse módulos en forma simétrica, sino estudiar la posición y proporciones de las ventanas en función de la orientación, previendo estrategias de iluminación indirecta para una distribución más uniforme de la luz. En todos los casos, las condiciones de iluminación son mejores que las detectadas en el Jardín de la UNNE.

| ILUMINANCIAS PROMEDIO MEDIDAS (LUX) | | | | |
|----------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| Fecha / Hora / Condiciones de medición | NARANJA A | NARANJA B | NARANJA C | AMARILLA |
| 20/05/11 - NATURAL. Cielo Claro | 665 11:10 h | 2135 11:10 h | 502 11:20 h | 196 11:00 h |
| 31/05/11 - NATURAL. Cielo Nublado | 753 11:40 h | 568 11:40 h | 258 11:50 h | 225 11:10 h |
| ILUMINACION ARTIFICIAL | 206 | 187 | 156 | 194 |

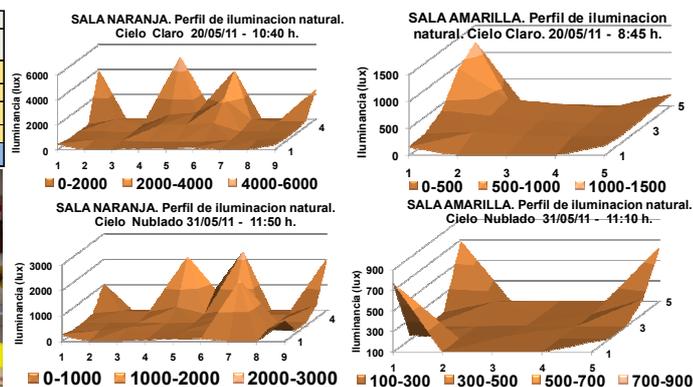


Fig.21 Promedios de Iluminancia Naranja B y Amarilla. Perfiles iluminación nat. Cielo Claro (arriba) y Nublado (abajo)

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron los resultados y análisis comparativo de cuatro auditorías energéticas simples de temperatura ambiente, humedad relativa e iluminancia, efectuadas en los años 2010 y 2011, en dos edificios escolares de Nivel Inicial, de la ciudad de Resistencia, Chaco, el Jardín Materno Infantil de la UNNE y el Jardín Materno Infantil N°33 “Niño de Yapeyú”. La experiencia que abarcó períodos estivales y otoñales, con monitoreos de extensión variable y condiciones de uso discontinuo, posibilitó determinar patrones de comportamiento de los usuarios, a través de encuestas y observaciones in situ.

En un diagnóstico global, se verificaron condiciones higrotémicas deficientes en el período verano - otoño y estables en el período otoño – invierno. Independientemente de la tecnología constructiva de los casos analizados, los espacios interiores son susceptibles de sobrecalentamiento incluso en días frescos de otoño, por el ingreso de irradiación solar directa a través de las aberturas orientadas hacia el Noreste (específicamente entre las 9:00 y las 11:00 h) y al Noroeste. Esto incrementa la sensación de discomfort, pues también produce deslumbramientos sobre el plano de trabajo, con una alta relación de área de vidriado por área de fachada y de piso, que es solucionada mediante el bloqueo total de la luz solar. Por consiguiente, aumenta la demanda de energía eléctrica para iluminación, que se suma al uso permanente de equipos de aire acondicionado en verano, llegando a triplicar el consumo energético, en relación a los períodos benignos.

Considerando que los casos auditados representan cuali y cuantitativamente un universo mayor, se comprobó que además del empleo de la tecnología adecuada, un factor de incidencia preponderante sobre las condiciones de confort de edificios escolares, es la orientación, dimensiones y ubicación de los **aventanamientos**, para un adecuado aprovechamiento de la **energía solar**. Con esta base de estudios experimentales se validarán modelos teóricos mediante simulación dinámica, a fin de evaluar períodos del año no medidos y orientar Propuestas de Diseño Optimizado, que priorizarán la situación energética más desfavorable, para lograr espacios de enseñanza-aprendizaje sustentables y apropiados a las exigencias de sus usuarios.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Boutet, M. Laura et al. (2011), Calibración de Sistema de Medición de Temperaturas para su Aplicación en Trabajos de Monitoreo Experimental. Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2011 de la UNNE. Resistencia, Chaco.
- Boutet, M. L. et al. (2010) “Monitoreo Higrotérmico del Jardín Materno Infantil de la UNNE y simulación mediante ECOTECH, en condiciones reales de uso.” AVERMA, Vol. 14, Pp. 17 – 24. ISSN: 0329-5184, Argentina.
- Boutet, M. L. et al. (2010) “Evaluación de las condiciones de Iluminación Natural y Artificial existentes en el Jardín Materno Infantil de la Universidad Nacional del Nordeste.” AVERMA, Vol. 14, Pp. 25 – 32. ISSN: 0329-5184, Argentina.
- Hernández, A. et al. (2010), “SAMÍRI”: vivienda bioclimática en Salta con techo-colector calentador de aire para su calefacción invernal. AVERMA, Vol. 14, Pp. 9 – 16. ISSN: 0329-5184, Argentina.
- Jacobo, G. J. (2001) El Confort en los Espacios Arquitectónicos de la Región Nordeste de Argentina, ISBN N° 978 – 43 – 4155 – 6, Moglia S.R.L., Corrientes, Argentina.
- MCEN (1996) Ministerio de Cultura y Educación de la Nación, Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar, Cap. IV. Condiciones de habitabilidad.
- IRAM AADL J-2004 (1974), Iluminación Natural de Escuelas. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales y Asociación Argentina de Luminotecnia, Buenos Aires, Argentina.
- Pattini, A. et al. (2009) Eficiencia lumínica de dispositivos de control de la luz solar en escuelas solares de la provincia de Mendoza, Arg. I Seminario Alumbrado Urbano Sustentable y Energéticamente Eficiente. AADL - Regional Cuyo. San Juan, G. (2008), Comportamiento Energético - Productivo y Ambiental de la Gestión de Redes Edilicias de Educación. Doctorado en Cs. - Energías Renovables, FCE, UNSa. Director: Rosenfeld E., Co-Director: Hernández A. Salta, Arg.

ABSTRACT: This paper presents the results and comparative analysis of four energy audits of temperature, humidity and illuminance, carried out during summer and autumn periods (2010 - 2011), at two Initial Level school buildings, in the city of Resistencia, Chaco. The audits included surveys for the occupants and in situ observations. As a result, an overall diagnosis was obtained, verifying that, regardless of the construction technology implemented and the historical period of its execution, the interior spaces are subject to overheating even on autumn cool days, because of direct solar irradiation entry through the openings facing the Northwest and Southwest. This is compounded by glare problems on the work area, increasing the feeling of discomfort and the consequent energy consumption for air conditioning and artificial lighting.

Keywords: School Architecture, Energy Assessment, Solar Radiation