

MONITOREO HIGROTÉRMICO DEL JARDÍN MATERNO INFANTIL DE LA UNNE Y SIMULACION MEDIANTE ECOTECT, EN CONDICIONES REALES DE USO.

M.L. Boutet¹; A.L. Hernández²; G.J. Jacobo³; P. Martina⁴; J. Corace⁴
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: alejo@unsa.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados del monitoreo de temperatura ambiente, temperaturas superficiales internas y externas y humedad relativa interna de los locales principales del edificio del Jardín Materno Infantil - UNNE, Campus Resistencia, durante 11 días del período frío. Los resultados se contrastaron con el programa de simulación ECOTECT. Se realizó además una encuesta a los ocupantes y observaciones in situ. El objetivo fue analizar los posibles problemas de confort, elaborando un diagnóstico, para ser tomado como referencia en un proyecto mayor de investigación aplicada, sobre las condiciones higrotérmicas y lumínicas de edificios escolares en la ciudad de Resistencia. Como resultado, se detectó que el edificio posee un comportamiento higrotérmico apropiado a las exigencias de sus usuarios, en días de otoño con valores característicos de días de invierno leve típicos de esta zona climática, sin necesidad de climatización auxiliar, lo que lo convierte en un caso de referencia en lo que respecta a sus características tecnológicas constructivas.

Palabras clave: Comportamiento higrotérmico, Monitoreo experimental, Simulación dinámica

INTRODUCCIÓN

El edificio escolar debe reunir las mejores condiciones de habitabilidad y confort para el desarrollo de la labor educativa. Debe adecuarse a las características y requerimientos de la región, respetando las particularidades sociales, culturales y económicas locales, los usos y costumbres y las características geográficas y físicas. Para ello debe tenerse en cuenta la zona bioambiental de localización y el posible microclima imperante en el lugar específico (MCEN, 1996).

Partiendo de dichas consideraciones, fueron **objetivos de este trabajo**⁵:

- Realizar una auditoría energética simple, del comportamiento higrotérmico del edificio del Jardín Materno Infantil de la UNNE, a través de mediciones experimentales in situ y posterior contrastación con el programa específico de simulación dinámica “ECOTECT”.
- Analizar posibles problemas de confort, elaborando un diagnóstico del caso, como insumo de un proyecto mayor de investigación aplicada, sobre el acondicionamiento higrotérmico y lumínico de edificios escolares en la ciudad de Resistencia, mediante Diseño Solar Pasivo.

PRESENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El edificio se erige dentro del Campus Universitario de la ciudad de Resistencia, Chaco (27,45°Lat.Sur; 59,05°Long. Oeste; Alt. 52 msnm), situado en un área urbana de media densidad. Fue construido a fines de la década de 1950 y tras sucesivas refuncionalizaciones, el Jardín fue puesto en servicio el 16 de octubre de 1990, con el propósito de brindar un espacio a la comunidad universitaria en el que pudieran ser atendidos sus niños, durante las horas de trabajo y estudio. Fue seleccionado como unidad de análisis debido a su tecnología constructiva que lo convierte en un caso representativo de arquitectura tradicional, 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. El edificio de perímetro libre se implanta a media orientación. Se halla protegido de la radiación solar más desfavorable (oeste) por la presencia de los edificios de las facultades linderas y de la vegetación existente, que también brinda protección frente a los vientos predominantes del Sur y en menor grado, del Norte (Figura 1). Con una superficie cubierta de 268 m², el programa arquitectónico se organiza en un área pedagógica conformada por salas de 1 a 4 años y biblioteca; un área de gestión y administración que corresponde a la dirección y sala de reuniones y un área de servicio conformada por cocina y baños (Figura 3.b). Cuenta con dos patios descubiertos, para las actividades al aire libre.

¹ Arq. Esp., Prof. Univ., Becaria Doctoral CONICET – UNNE (Alumna del Doctorado en Ciencias. Área Energías Renovables, Facultad de Ciencias Exactas – 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 en Energías Renovables (GIDER) – Departamento de Termodinámica - Facultad de Ingeniería – UNNE.

⁵ Este trabajo forma parte de la tesis doctoral en desarrollo de la Arq. M. L. Boutet, que se ejecuta en el marco de un Acuerdo de Trabajo entre la FAU – UNNE y el MECCYT (Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Provincia del Chaco) según Res. Ministerial N° 3357.

Funciona en dos turnos: mañana de 8:00 a 12:00 h y tarde de 16:00 a 20:00 h, con una matrícula total de 130 alumnos y una dotación de personal de 8 docentes por turno, 2 profesores de educación física, 3 auxiliares, directora y secretaria.



Figura 1: Jardín Materno Infantil - Esquema de implantación (campus UNNE), fotos fachada Suroeste y fachada Noreste.

INSTRUMENTOS UTILIZADOS

1. Los instrumentos que se utilizaron para el monitoreo experimental fueron proveídos por el Grupo de Investigación en Energías Renovables (GIDER) – Departamento de Termodinámica - Facultad de Ingeniería - UNNE, en el marco de proyectos de investigación que se desarrollan conjuntamente con la Cátedra “Estructuras II” – FAU – UNNE:

- a) Data Logger (Registrador Virtual NOVUS FIELD LOGGER) con 8 canales analógicos, conversor y software de adquisición de datos.
 - b) 8 termocuplas tipo K con pantallas protectoras de papel aluminio perforadas.
 - c) Multímetro VAISALA (%HR/T) MultiMeterMate.TM - Made in Finland. Batería 9V, 6F22.
 - d) Tester UNI-T Model UT33B/C/D
 - e) 1 termocupla tipo K, para medición de temperatura ambiente y temperaturas superficiales de muros, internas y externas.
 - f) 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.
 - g) Sensor de radiación solar global (piranómetro termoelectrico) marca Eppley tipo PSP N° 30155 F3.
2. Para las simulaciones se utilizó el programa ECOTECT v5.20 (Marsh, 2003), gestionado por el Arq. G. Jacobo (FAU – UNNE) en el año 2005, con licencia para uso académico hasta el año 2030 y la actualización 2011 versión demo, disponible en la página oficial de Autodesk, que permitió un manejo más interactivo de las potencialidades del programa.

METODOLOGÍA DE MONITOREO EXPERIMENTAL

El monitoreo de temperatura y humedad se efectuó paralelamente al monitoreo de iluminación natural y artificial que se describe en otro trabajo. La campaña de medición se extendió desde el 28 de mayo hasta el 8 de junio de 2010.

A. Observación objetiva en terreno. Antes de iniciar la experiencia de monitoreo, se realizó el relevamiento físico sensible del edificio y el registro fotográfico mediante visitas in situ, para la actualización de los planos técnicos que fueron proporcionados por la Dirección de Proyectos del Campus – UNNE.

B. Encuestas a los usuarios. Se efectuó una entrevista a la Directora del Jardín y encuestas a los docentes, con el objeto de determinar el grado de satisfacción de los usuarios en lo que respecta a las condiciones higrotérmicas del edificio y las variaciones de uso de climatización auxiliar en verano y en invierno.

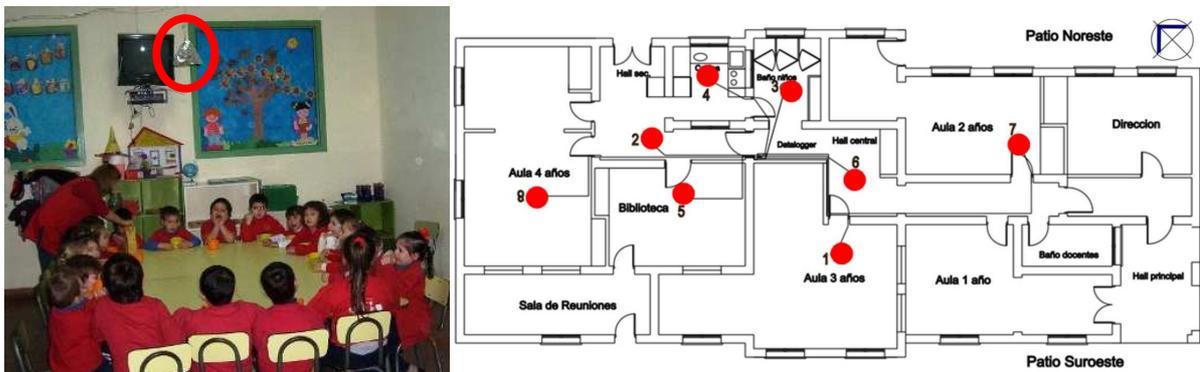


Figura 3.a. Foto aula de 4 años señalando ubicación de termocupla - b. Planta con distribución de termocuplas.

C. Registro Automático de Temperaturas. Previamente a la instalación del registrador de datos Novus Field Logger de 8 canales calibrado, se lo configuró a través del software “Field Chart”, que acompaña al equipo y rueda sobre las plataformas Windows 95 y superiores. Se estableció la adquisición de datos desde el viernes 28 de mayo a las 20:00 h hasta el martes 8 de junio a las 20:00 h, con una frecuencia de muestreo de 10 minutos. Se conectaron las 8 termocuplas distribuidas a los espacios más representativos según el nivel de actividad y orientación dentro del edificio (Figura 3.b). Frente al constante

tránsito de personas y al dinamismo de las actividades de los niños, las puntas sensoras se ubicaron a 2.10 m (altura de dintel de las puertas) quedando a 1.10 m desde el cielorraso (Figura 3.a). Las mismas fueron protegidas mediante conos de papel de aluminio sin base, perforadas para permitir el paso del aire, con el objetivo de apantallar el intercambio radiante en el infrarrojo lejano con las paredes y el cielorraso de los locales, a fin de evitar que los sensores se calienten o enfrién por arriba o por debajo de la temperatura del aire de los mismos. Una vez realizada la instalación, se verificó in situ el funcionamiento de los 8 canales efectuando los ajustes pertinentes para su correcta conexión.

C) Registro Manual de Humedad Relativa Interna y Temperaturas Superficiales de muros, Internas y Externas. Con el Tester UNI-T, se realizaron registros diarios de humedad relativa interna posicionando el Multímetro VAISALA en el centro de cada local, a 1.50 m de altura. Luego, reemplazando el multímetro por una termocupla tipo K, se registró de la misma manera la temperatura del aire interna y externa y además las temperaturas superficiales internas y externas de los muros expuestos de cada local, en el centro de cada superficie. Para el análisis de las variaciones de temperatura y humedad en los distintos ambientes se eligieron cuatro bandas horarias que se relacionan con las horas de mayor y menor nivel de actividad en el Jardín y con la incidencia del sol sobre las diferentes fachadas:

De 8:00 a 9:00 h - Inicio de la jornada de trabajo del turno mañana. Sol tenue.

De 10:30 a 11:30 h - Mayor nivel de actividad. Máxima incidencia solar sobre la fachada Noreste.

De 16:00 a 17:00 h - Inicio de la jornada de trabajo del turno tarde. Máxima incidencia solar sobre la fachada Noroeste.

De 18:30 a 19:30 h - Mayor nivel de actividad. Ausencia de sol.

E) Registro de Variables Meteorológicas. Los registros de temperatura ambiente, humedad relativa y radiación solar global, fueron realizados cada media hora durante todo el período del monitoreo y además, una semana antes y una semana después de finalizado el mismo para un mejor ajuste del archivo de clima del programa simulador.

RESULTADOS DEL MONITOREO EXPERIMENTAL

A. Observación objetiva en terreno. Durante el monitoreo se observó que los espacios orientados al Noreste reciben irradiación solar directa entre las 10:00 y las 14:00 h y al Noroeste entre las 16:00 y 17:30 h. Mientras que los espacios orientados al Suroeste, sólo reciben irradiación solar difusa. El color claro de las superficies exteriores de los muros de ladrillos comunes es beneficioso para la reflexión del exceso de irradiación solar y al estar revocados en ambas caras, presentan un muy buen comportamiento en invierno frente al riesgo de condensación superficial e intersticial, con un retraso térmico considerable, lo cual favorece el equilibrio térmico del edificio. Las aberturas (ventanas de marcos de madera, con postigos exteriores) se disponen en sus cuatro caras, son de 1.35 m² cada una, con un área efectiva de vidrio simple de 1.30 m², excepto dos ventilucos en los locales de servicio de área menor. Por cuestiones de higiene se abren todas las ventanas al inicio y fin de cada jornada y además siempre se deja por lo menos una ventana abierta durante las clases, incluso en invierno. Estas condiciones están en todo de acuerdo a la Normativa Básica de Infraestructura Escolar.

B. Encuestas a los usuarios. De acuerdo a las encuestas completadas por 12 docentes, en verano se percibe una sensación térmica cálida – húmeda en todas las salas a muy cálida húmeda en las salas de 2 y 3 años. Cada aula posee aire acondicionado debido a las necesidades de climatización auxiliar, especialmente en los horarios de 9:00 a 12:00 h y de 16:00 a 19:00 h en la sala de 1; en las salas de 3 años se alterna el uso cada dos horas, mientras que la sala de 2 precisa climatización auxiliar durante toda la jornada. En invierno, la sensación térmica percibida por la mayoría es fría en todas las salas, aunque también manifestaron una sensación templada en las salas de 2 y 4 y fría húmeda en la sala de 1 año. A diferencia del verano, no es necesaria la climatización auxiliar, salvo en días extremos en horas de la mañana, sólo en las aulas de 1 y 4 años. Se aprovecha la iluminación natural, pero al ser ésta insuficiente, se la complementa con iluminación artificial. No se aprecia un criterio de ahorro energético en cuanto al uso de artefactos eléctricos, las luces y los equipos de música permanecen encendidos durante toda la jornada, debido a que la actividad es muy intensiva y los docentes deben estar pendientes de los niños en forma permanente. En la Figura 4, se detalla el registro del consumo energético durante el año 2009, datos proporcionados por Contaduría de la Facultad de Humanidades - UNNE, de la cual depende el Jardín. Considerando que en el mes de julio sólo hay 15 días de clase por el receso, el mes de junio es el que registra el menor consumo energético del período frío, con 827 kWh, siendo el total anual de 11.913 kWh.

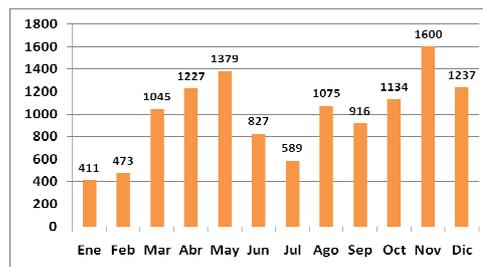


Figura 4. Consumo energético año 2009 (kWh)

C. Registro Automático de Temperaturas. Si bien los registros de evolución de temperaturas internas fueron realizados cada diez minutos, para tener una base de comparación homogénea con el programa Ecotect, se extrajeron los valores medidos cada hora. Lo mismo se realizó con los datos de temperatura exterior, humedad relativa e irradiación global. En la Figura 5 se observa la evolución de temperaturas para todo el período de monitoreo (28/05 al 08/06), en relación a las variables externas. Los días abarcados presentaron temperaturas que si bien no son representativas de días de invierno extremo, corresponden a días de otoño con valores característicos de días de invierno leve típicos de esta zona climática. Se observa que éstas son constantes durante los días sin ocupación, mientras que en los días de clase normal, se presentan fluctuaciones en los diferentes locales. El fin de semana del 29 y 30 de mayo, no hay variaciones entre el día y la noche, pues estos días estuvieron nublados y lluviosos, mientras que el fin de semana del 5 y 6 de junio, días de sol pleno, se aprecia un aumento de temperaturas durante las horas de mayor incidencia solar. El lunes 31/05 se registraron las menores temperaturas internas y externas, con valores mínimos interiores entre 18 y 19 °C y exteriores entre 9 y 10°C. El viernes 04 de junio se registran las mayores temperaturas externas, con una máxima de 22.3°C, mientras que las temperaturas internas fluctuaron entre 22 y 24 °C. Se tomaron estos dos días para un análisis más detallado (Figura 6).

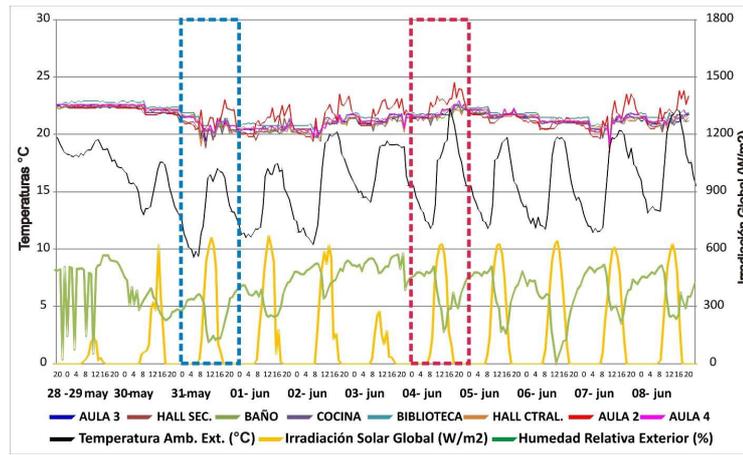


Figura 5: Evolución de variables medidas de frecuencia horaria.

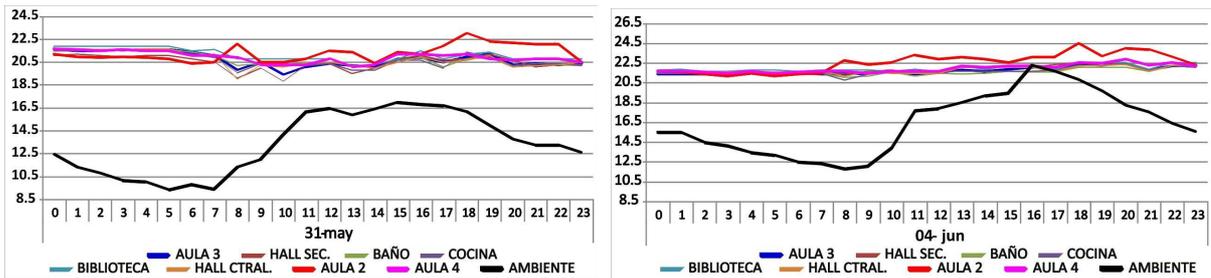


Figura 6: a. (izq.) Evolución de temperaturas del día más frío del monitoreo 31/05/2010 - b. (der.) Evolución de temperaturas del día más cálido del monitoreo 04/06/2010. Datos medidos (frecuencia horaria)

Tanto en el día más frío como en el día más cálido del monitoreo se aprecian las siguientes particularidades:

- El aula de 2 años orientada al Noreste es la que alcanza las temperaturas más elevadas, superando los 22°C, desde las 8:00 h, en que el sol incide directamente hasta las últimas horas de la noche. Mientras que los demás espacios son sensibles a los descensos de la temperatura exterior debido a las constantes pérdidas por ventilación natural, el aula 2 manifiesta un mayor retraso térmico, de 2 a 3 horas en relación a las máximas temperaturas exteriores, potenciado por las ganancias solares directas acumuladas durante la mañana y al mediodía, que se liberan lentamente en las últimas horas de la jornada.
- Los ambientes orientados al Noroeste y Suroeste como las aulas de 4 y 3 años, conservan sus temperaturas por encima del aula de 2 años durante la noche hasta las 8 de la mañana.
- Existe un brusco descenso de la curva del aula de 3 años y de los espacios de circulación y de servicio, que coincide con la apertura de ventanas al iniciar la jornada de clase, mientras que el aula de 4 años se mantiene constante pues ésta es la primera sala en ser ocupada por los niños de todas las edades que ingresan con sus padres al Jardín, hasta el momento de distribución a sus respectivas salas.
- El pico máximo de temperatura se registra a las 18:00 h en el aula 2, hora de la merienda, permaneciendo dos grados por arriba de la temperatura de los demás locales hasta finalizar el día. Nótese que esta diferencia puede explicarse por ser el aula de planta más angosta y de menor superficie, con mayor relación área de fachada asoleada / área de piso que las demás aulas.
- Mientras que la amplitud térmica exterior es de 7.7°C en el día más frío y de 9.1°C en el día más cálido, la amplitud térmica de los locales no supera los 3.3°C, lo que indica que el edificio se encuentra en buenas condiciones de bienestar térmico. Es evidente que a pesar de las permanentes pérdidas por ventilación, debido a las cargas internas generadas por los ocupantes y los artefactos eléctricos, los ambientes oscilan en valores que se encuentran dentro del rango de confort.⁶
- La principal diferencia entre ambos días es el mayor equilibrio térmico registrado en el día cálido, que puede deberse a que al aumentar la temperatura ambiente exterior, la diferencia de temperaturas con el interior no es tan marcada, por lo que se producen menores fluctuaciones, bajo las mismas condiciones de ventilación natural.

C) Registro Manual de Humedad Relativa Interna y Temperaturas Superficiales de muros, Internas y Externas.

Humedad Relativa Interna. En la Figura 7 se puede apreciar que los valores de humedad relativa interna de los locales principales del edificio son inferiores a los registrados en el exterior. El día 3 de junio estuvo nublado y lluvioso, con valores máximos que oscilan entre 91 y 92 % de HR exterior, mientras que los más altos valores interiores se registran el día 4 (más cálido del período evaluado), entre las 18:30 y 19:30 h y estos persisten al día siguiente, entre las 8:00 y las 11:30 h en todos los locales. Particularmente el aula de 2 años presenta dos picos máximos 82.6 % (03/06-18:00 h) y 81.6 % (04/06-11:30 h),

⁶ La Normativa Básica de Infraestructura Escolar que se sustenta en las disposiciones de las Normas IRAM, determina que la temperatura de diseño del aire interior de los locales calefaccionados ha de ser de 20°C pudiendo variar en +/- 2°C.

este último en coincidencia con los picos máximos de las demás aulas. Los valores mínimos corresponden al día más frío del período monitoreado (31/05), oscilando entre 58 y 76% en el exterior y entre 48 y 65 % en el interior.

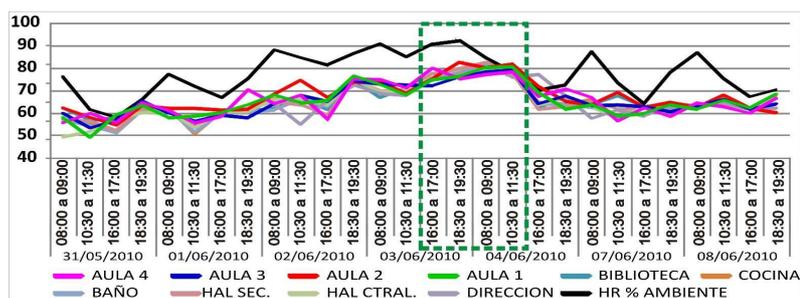


Figura 7: Comparación de humedad relativa (%) de todos los locales. Datos medidos.

Temperaturas Superficiales de muros, Internas y Externas.⁷ Si bien, la variación de las temperaturas superficiales internas (TSI) y externas (TSE) es muy disímil, pudo observarse que el comportamiento de las curvas de temperaturas superficiales responde a las variaciones de las temperaturas ambiente interna y externa respectivamente siguiendo la misma tendencia, encontrándose la mayor parte del tiempo a la misma temperatura, pero registrándose una alternancia en los rangos horarios de 8:00 a 9:00 h y 18:30 a 19:30 h, en que las TSI son menores a las temperaturas internas y las TSE son mayores a la temperatura ambiente externa, mientras que en los rangos de 10:30 a 11:30 h y de 16:00 a 17:00 h, las TSI son mayores o iguales a las temperaturas ambiente internas y las TSE son menores o iguales a la temperatura ambiente exterior. Este comportamiento es de esperar, pues la transferencia de calor por conducción a través de los muros se realiza con inercia térmica, sumada a la baja absorptividad de las superficies pintadas con colores claros. Las diferencias varían entre 3 y -3 °C. A modo de ejemplo se incluyen las gráficas (Figura8) obtenidas para el aula de 4 años, para el día más frío (31/05), donde se registran leves diferencias entre el comportamiento de su paramento expuesto al Noreste en relación al paramento Noroeste por la influencia de la radiación solar.

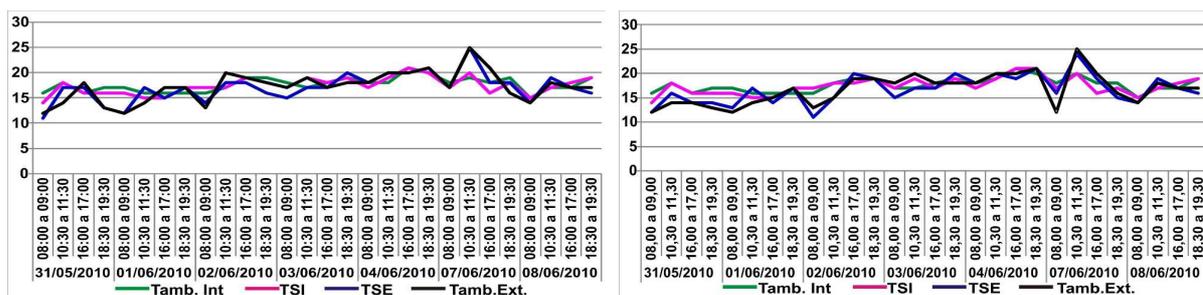


Figura 8: Comparación de temperaturas superficiales y temperaturas de aire internas y externas de muros expuestos. Aula 4. Pared Noroeste (izq.) – Pared Noreste (der.)

Las diferencias entre las temperaturas superficiales internas y externas varían entre 6 y - 5 °C. Los valores negativos coinciden en su mayoría en la franja horaria de 10:30 a 11:30 h, encontrándose las superficies internas a menor temperatura que las externas, lo cual es lógico debido al aumento de la temperatura exterior y la incidencia directa de radiación solar en el caso de la fachada noreste. Habiéndose calculado la diferencia entre las temperaturas superficiales interiores de todos los cerramientos medidos y la temperatura de rocío (13.5°C) obtenida del diagrama psicrométrico con los datos de la Norma 11.625 (IRAM, 2000), temperatura interior de diseño 18°C y humedad relativa interior de diseño 75%, se comprobó que no hay riesgo de condensación de vapor de agua sobre la superficie de los cerramientos, pues en todos los casos la temperatura de rocío es menor que las temperaturas superficiales interiores. Cabe aclarar que las temperaturas del aire externas varían de un punto a otro, en función de la mayor o menor incidencia de radiación solar, al momento de la medición, por eso para un mismo día a las 8 de la mañana, por ejemplo, los registros realizados al Noreste, son mayores que los realizados al Suroeste, demostrando esto que en torno al edificio se dan condiciones microclimáticas diferentes según la orientación.

METODOLOGÍA DE MODELIZACIÓN CON ECOTECH

La herramienta informática: “*ECOTECH*” (Marsh, 2003) es un software desarrollado en la *Escuela de Arquitectura de la Universidad de Australia Occidental*, que ofrece una interfaz de modelización de dos y tres dimensiones, integrada con una amplia gama de funciones para análisis solar, térmico y lumínico, entre otras. Utiliza un método simplificado basado en el Método de Admitancia del Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE Admittance Method), para determinar temperaturas internas y cargas térmicas, aplicando un algoritmo térmico flexible, sin restricciones en cuanto a la geometría del edificio o el número de zonas térmicas que pueden ser analizadas simultáneamente. Aplica las características conocidas de los materiales como la admitancia de una superficie y los factores de retraso térmico y decrecimiento térmico para definir la respuesta dinámica, es decir, en régimen transitorio.

⁷ Se observó una diferencia de 4 a 5°C entre las temperaturas ambiente internas medidas con Tester y las registradas por el Datalogger, por diferencia en la calibración del Tester. Pero en cuanto a tendencias los resultados se ajustan y sirvieron para tener una referencia respecto a la variación de las temperaturas superficiales.

En el análisis térmico de edificios, Ecotect trabaja con modelos sencillos obviando detalles de molduras, rehundidos, etc., que pudieran entorpecer la obtención de resultados, permitiendo a la vez visualizar el volumen real, con los espesores de la envolvente constructiva. A continuación se describe la metodología de modelización:

1. Descripción geométrica del modelo. Se reprodujo gráficamente la distribución de locales, tratados como zonas térmicas (Figura 9). Se determinaron además las zonas no térmicas, incluyendo obstáculos (cerca perimetral – postigos de ventanas) y la vegetación más representativa a modo de pantallas, que tienen incidencia directa en el porcentaje de sombra arrojada sobre el edificio. También se incluyó como zona térmica, la cámara de aire ventilada entre la cubierta de tejas y el cielorraso. Por último, se incluyeron los artefactos eléctricos y las luminarias, asignándoles las características energéticas correspondientes.

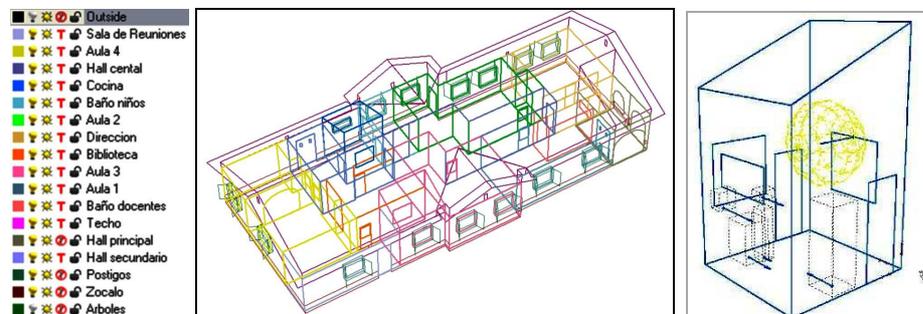


Figura 9: Modelo térmico con detalle de zonas (izq.) y ejemplo de zona Cocina con incorporación de artefactos eléctricos (der.)

2. Asignación de materiales. Se asignaron los materiales de cada una de las superficies componentes (paredes, techos, aberturas) y sus propiedades de acuerdo a sus capas constitutivas, coeficientes de conductividad térmica, densidad y calor específico. Dichos valores se verificaron y ajustaron, teniendo en cuenta la normativa vigente de acondicionamiento térmico de edificios (IRAM, 1996) y los nuevos resultados se incorporaron a la base de datos del programa. Así Ecotect calcula la transmitancia térmica de cada componente constructivo. Inclusive se considera en el cálculo la opacidad, rugosidad y emisividad de las superficies. Para el cálculo de retraso térmico, no resuelto por Ecotect, se utilizó una aplicación complementaria “ecomat v.1.0” (Campos, 2009), que permite calcular los parámetros característicos del cerramiento conforme a la entrada de datos de Ecotect. Una vez asignados los materiales, se obtuvieron distintas visualizaciones del modelo renderizado (Figura 10).

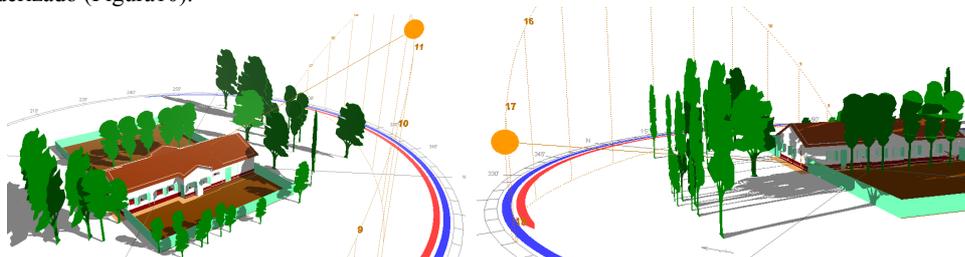


Figura 10: Trayectoria solar día de sol pleno, 11:30 h, fachada Noreste (izq.) – 17:15 h fachadas Noroeste y Suroeste (der.)

3. Variables ambientales. Como Ecotect no tiene disponible un archivo de clima para la ciudad de Resistencia (27,45°Lat. Sur; 59,05°Long. Oeste), se editó un nuevo archivo para el período de 11 días de monitoreo (28/05/10 – 08/06/10) a través de la subrutina “The Weather Tool” de Ecotect. Se incorporaron los datos horarios medidos en la estación meteorológica del Departamento de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería – UNNE: temperatura ambiente (°C), humedad relativa (%) e irradiación solar global (W/m²). Para la obtención de componentes de irradiación solar directa y difusa requeridos, se utilizó el programa GEOSOL (Hernández, 2003), calculando los valores para días de sol pleno mediante el método de Page y para días nublados y seminublados mediante el método de Liu Jordan, y aplicando los porcentajes a la irradiación global medida, se comprobó un buen ajuste. Los valores de velocidad de viento (km/h) corresponden a la estación meteorológica de la ciudad de Resistencia, disponibles en la página <http://www.wunderground.com/>.

Cabe destacar el avance logrado en la aplicación del programa, pues se pudo trabajar con datos climáticos locales medidos, aspecto que no se había desarrollado hasta el momento con este software de simulación dinámica (Figura 11).

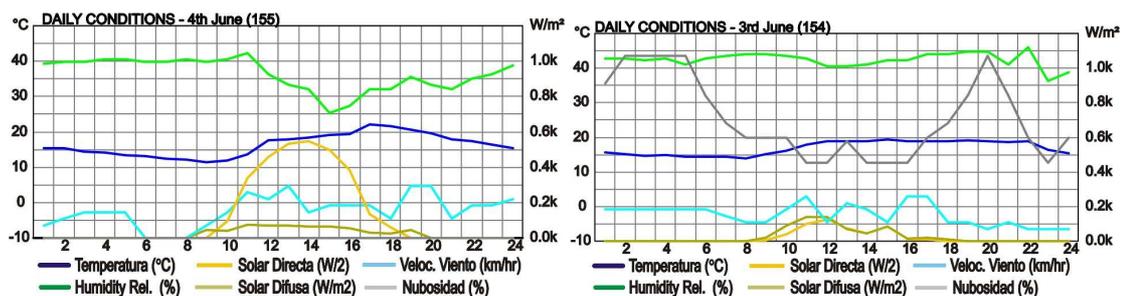


Figura 11: Datos meteorológicos editados Resistencia, Arg. - Día de sol pleno (04/06/10) y Día nublado (03/06/10). Elaboración Boutet (2010) mediante “The Weather Tool” – Ecotect y GEOSOL (Hernández, 2003)

4. Estudio de Asoleamiento. Ecotect permitió analizar la trayectoria solar para los días de monitoreo durante las 24 horas, de manera rápida y sencilla y realizar la simulación de sombras, incluyendo una gama amplia de análisis (Figura 10).

5. Análisis Térmico. Antes de proceder a la simulación térmica, se definieron las condiciones operativas para cada espacio analizado del edificio, en cuanto a perfiles de ocupación, número de usuarios por zona, nivel de actividad, sistemas de ventilación, fracción de infiltración y factor de sensibilidad de cada zona a la velocidad externa del viento. También se definieron las cargas internas sensibles y latentes, generadas en cada zona por las luminarias, computadoras y demás artefactos. Por el dinamismo propio de las actividades del Jardín, la definición de estas condiciones requirió un estudio minucioso para aproximar el edificio a su situación real de uso. Implicó la necesidad de realizar perfiles de ocupación diferenciados para cada zona térmica y para cada día de monitoreo, como así también distintos perfiles operativos para la apertura y cierre de las carpinterías, encendido y apagado de luces y artefactos eléctricos.

Se estableció una banda de confort para la realidad climática del NEA, entre 19°C (mínima confortable de invierno) y 29°C (máxima confortable de verano) en los espacios interiores, sin necesidad de climatización artificial (Jacobo, 2001).

Para realizar la contrastación de resultados, del período de 11 días de medición experimental se tomaron siete días consecutivos desde el lunes 31/05/10 hasta el domingo 06/06/10, destacando en el análisis los datos correspondientes al día más frío 31/05/10 y al día más cálido 04/06/10. Se obtuvo la simulación de la evolución de temperaturas internas de todas las zonas térmicas de la unidad de análisis sobre un período de 24 horas, para cada día monitoreado.

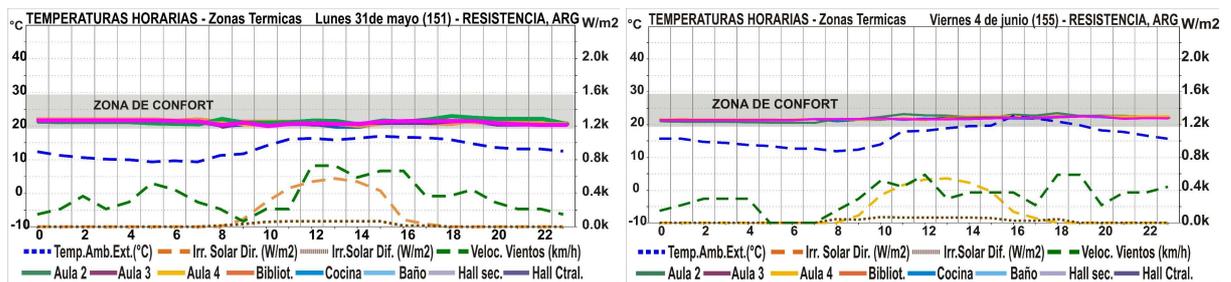


Figura 12: a. Evolución de temperaturas día más frío 31/05/10- b. Evolución de temperaturas día más cálido 04/06/10 Simulaciones con Ecotect. Frecuencia horaria

Las gráficas (Figura 12) muestran la evolución de temperaturas ambiente horarias internas y la información medioambiental que toma los datos del archivo de clima de Resistencia, donde se aprecia la diferenciación de irradiación solar directa y difusa, velocidad de viento y temperatura ambiente externa, lo que permite estudiar a qué factores climáticos externos están respondiendo las temperaturas internas. Las temperaturas de los locales principales permanecen sobre el límite inferior de la banda de confort preestablecida, encontrándose en mejores condiciones el caso del día más cálido.

COMPARACION DE DATOS EXPERIMENTALES Y SIMULADOS

En el gráfico de regresión lineal (Figura 14), los coeficientes de correlación R^2 para cada local estudiado, indican un mayor ajuste de las temperaturas medidas y simuladas en los espacios de mayor interés, las aulas, con valores entre 0.91 a 0.93, mientras que los locales de servicio y los espacios de circulación presentan valores entre 0.86 y 0.88, que aún indican un buen ajuste, considerando su variabilidad de uso en relación a las aulas que tienen un esquema básico de rutina. De esto se infiere que los perfiles editados para cada espacio, se ajustan a las condiciones reales de ocupación.

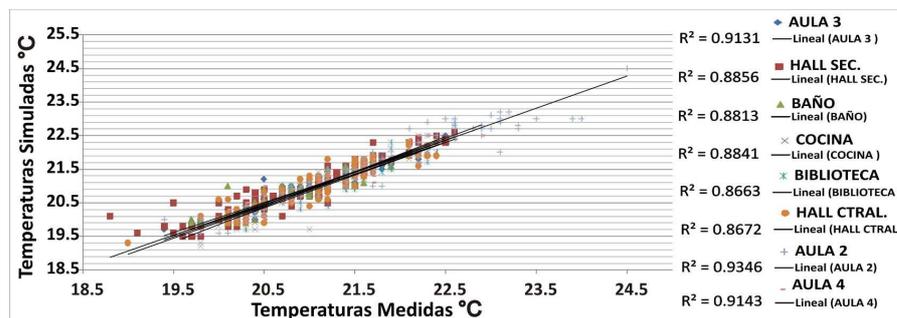


Figura 14: Correlación de temperaturas medidas y simuladas de todos los locales

Por otra parte, hasta llegar al modelo físico definitivo, se advirtió en las sucesivas simulaciones realizadas, un error de ajuste de +/- 2°C en la mayoría de los locales, en el rango horario de 9:00 a 19:00 h mientras que durante el período sin ocupación, de 21:00 a 8:00 h la diferencia se ampliaba a +/- 4°C, mostrando que las temperaturas interiores eran muy dependientes de los aportes de energía auxiliares, por lo cual se corrigieron los parámetros de la envolvente constructiva a fin de proveer suficiente ganancia de calor a través de los componentes opacos y transparentes. No obstante ello, en el modelo final, se siguen detectando las mayores diferencias en los períodos sin ocupación de hasta 1°C, lo cual abre una nueva línea de investigación en el estudio del motor de cálculo del programa, a fin de explicar si el desajuste se debe a errores del modelo geométrico ingresado o al método de cálculo implementado por Ecotect. A continuación se incluyen a modo de ejemplo los gráficos comparativos de dos aulas evaluadas señalando las temperaturas medidas en azul y las simuladas en rojo:

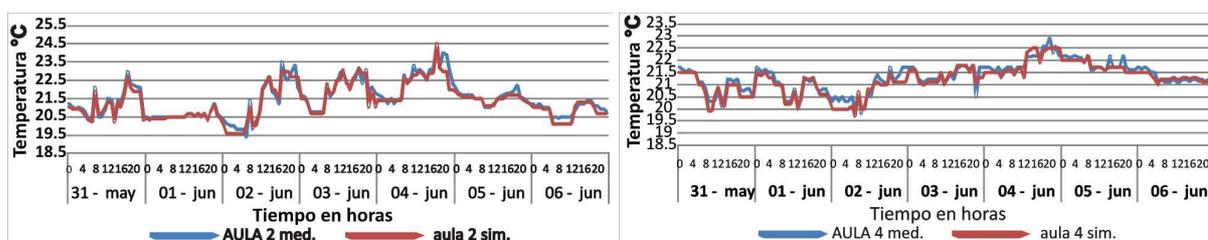


Figura 13: Comparación de datos medidos y simulados por local

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron los resultados obtenidos durante una campaña de monitoreo de temperaturas y humedad relativa del Jardín Materno Infantil de la UNNE y su posterior contrastación mediante el programa Ecotect. La experiencia permitió tomar contacto con la problemática inherente a los sistemas de medición de variables dinámicas de frecuencia diaria y su interacción con el sistema bajo estudio: un edificio con actividad humana concentrada en un periodo acotado de 5 días por semana, en una campaña de monitoreo de 11 días de extensión que abarcó periodos con el edificio ocupado y periodos sin ocupación (fines de semana). La incorporación de variables meteorológicas medidas en la ciudad de Resistencia y variables meteorológicas históricas de la Región al programa Ecotect, para la obtención de resultados acordes a la realidad climática del N.E.A., ha permitido analizar la influencia que tiene en el comportamiento higrotérmico del edificio, cada uno de los parámetros involucrados en la transferencia de calor entre el sistema bajo estudio y su entorno natural.

A partir de la evaluación energética realizada y teniendo en cuenta además la opinión subjetiva de sus usuarios, se concluye que el edificio del Jardín Materno Infantil de la UNNE, representa un caso apropiado de buen comportamiento higrotérmico, en lo que respecta a sus características tecnológicas constructivas, que brinda adecuadas condiciones de bienestar para sus usuarios, sin necesidad de climatización auxiliar en días de otoño con valores característicos de días de invierno leve típicos de esta zona climática, siendo factible tomarlo como referencia en la formulación de nuevas alternativas de diseño de prototipos escolares. Asimismo, se debe considerar que las aulas orientadas al Noreste y Noroeste manifestaron un mejor comportamiento durante el período evaluado, que redundan en un potencial ahorro energético en calefacción, frente a las aulas orientadas al Suroeste, que reciben escasa radiación solar, con la necesidad de incorporar calefacción auxiliar en días extremos. Por lo expuesto, además de la utilización de los materiales y la tecnología adecuada, un factor de incidencia preponderante sobre las condiciones de confort de los edificios escolares es la orientación de los espacios interiores más significativos, las aulas, asegurando un mínimo de horas de sol, permitiendo la entrada del sol en invierno, evitando sombras arrojadas por otros edificios y brindando la protección solar adecuada en verano, sin restringir la iluminación natural.

Por último, el razonable ajuste entre los datos medidos y simulados, representado por los coeficientes de correlación R^2 calculados, muestra la validez del modelo físico utilizado, que aún puede ser mejorado, de lo que se infiere su capacidad para simular otros períodos del año no medidos, con un error aceptable para el tipo de estudio realizado. Esta herramienta permitirá el desarrollo de futuras propuestas de infraestructura escolar optimizadas, especialmente mediante el análisis de la disponibilidad local del recurso solar, a fin de brindar las condiciones de habitabilidad propicias para el desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje, con el consecuente ahorro de energía eléctrica en el sector educativo de la ciudad.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Boutet, M.L. (2010) Informe de Avance de Tesis Doctoral: Acondicionamiento higrotérmico – lumínico de edificios escolares en zonas urbanas de la región N.E.A. Auditorías energéticas y propuestas de mejoras mediante Diseño Solar Pasivo, Director: Hernández, A., Co-director: Jacobo, G., Trabajo de Investigación CONICET – UNNE.
- Campos (2009) Ecomat v. 1.0. AUREA CONSULTING Sustainable Architecture & Engineering.
- Hernández, A.L. (2003) Geosol: Una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria. AVERMA. Vol. 7 – N° 2, Sección 11, pág. 19 – 24. 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.
- Marsh, A. J. (2003) ECOTECT Tutorials. Square One research PTY LTD.
- MCEN (1996) Ministerio de Cultura y Educación de la Nación, Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar, Cap. IV. Condiciones de habitabilidad.
- IRAM (1996) Norma 11.601, Acondicionamiento Térmico de Edificios.
- IRAM (2000) Norma 11.625, Acondicionamiento Térmico de Edificios.

ABSTRACT: This work presents the results of ambient temperature, internal and external surface temperatures and relative humidity monitoring, of the main spaces of Jardín Materno Infantil – UNNE building, Campus Resistencia, during 11 days of the cold period. The results were compared to the simulation program Ecotect. A survey was conducted for the occupants and in situ observations were made. The objective was to analyze potential discomfort problems, developing a diagnosis, to be taken as a reference in a larger project of applied research on school buildings hygrothermal and lighting conditions in the city of Resistencia. As a result, it was found that the building has an appropriate hygrothermal behavior to the requirements of its users, on autumn days with characteristic values of mild winter days typical in this climatic zone, without the need for auxiliary calefaction, which makes it a reference case with regard to its technological - constructive characteristics.

Keywords: Hygrothermal performance, Experimental monitoring, Dynamic simulation