

SIMULACIONES DE DESEMPEÑO TÉRMICO DE AULAS DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNNE Y CONTRASTACIÓN CON MEDICIONES EN DÍAS DE INVIERNO

H. Alías¹; G. Jacobo²; C. Coronel Gareca³; P. Martina⁴; J. Corace⁴; V. Gallipoliti⁵

Cátedra ESTRUCTURAS II. Área de la Tecnología y la Producción. Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU). Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) - Av. Las Heras 727 – 3500 - Resistencia – Chaco
Tel.: +54 3722 425573 – e-mail: heralias@arq.unne.edu.ar / gjjacob@arq.unne.edu.ar
Grupo de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables (GIDER). Facultad de Ingeniería (FI) - UNNE - Av. Las Heras 727 – 3500 - Resistencia – Chaco. Tel.: +54 3722 420076

RESUMEN: Se presentan los resultados de la simulación, mediante el programa ECOTECT, del desempeño térmico de seis aulas del edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste (FAU – UNNE), durante un periodo de 15 días de invierno en la ciudad de Resistencia, comparados con los resultados registrados mediante un monitoreo térmico realizado en dichas aulas durante el mismo periodo. El objetivo fue validar los resultados de las simulaciones, luego de editar el archivo de clima de Resistencia con los datos de variables meteorológicas exteriores registradas durante los días del monitoreo (para lograr mayor exactitud en las condiciones de simulación) y poder generalizar los resultados obtenidos y ampliar el análisis incluyendo a locales no monitoreados. Los resultados simulados muestran un razonable ajuste respecto a los monitoreados. Se concluye que el edificio constituye un caso de desempeño térmico regular durante días de invierno típicos de la zona “Ib”.

Palabras clave: desempeño térmico, simulaciones, monitoreo, contrastación, FAU - UNNE.

INTRODUCCIÓN

En el Campus de la UNNE de la ciudad de Resistencia (Chaco), y en el marco de un proyecto de investigación que se lleva adelante en la cátedra *Estructuras II* - FAU - UNNE, titulado “*Evaluación térmico-energética de las sedes edilicias de las Facultades de Arquitectura y de Ingeniería de la UNNE*” (orientado a la evaluación térmica y energética de los edificios de las Facultades mencionadas y a la propuesta de medidas correctoras, desde el diseño tecnológico, tendientes a lograr un uso más eficiente de la energía para climatización en dichos edificios), se está realizando actualmente en el edificio de la Facultad de Arquitectura un análisis de las situaciones tecnológico – constructivas implementadas, así como de las condiciones de habitabilidad higrotérmica y de consumo energético de los que dichas situaciones son responsables, mediante el empleo de programas de simulación dinámica, como ECOTECT, validados mediante mediciones experimentales. Dentro del citado proyecto, el objetivo del trabajo aquí expuesto fue validar los resultados de las simulaciones, luego de editar el archivo de clima de Resistencia con los datos de variables meteorológicas exteriores registradas durante los días del monitoreo (para lograr mayor exactitud en las condiciones de simulación) y poder generalizar los resultados obtenidos.

El edificio de la Facultad de Arquitectura – UNNE: tecnologías constructivas y verificaciones higrotérmicas generales. El edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la UNNE está implantado en el Campus Universitario de Av. Las Heras (figura 1), en el sector centro – sur de la ciudad de Resistencia, Chaco (Latitud: 27,45°; Longitud: 59,05° Oeste; Altitud: 52 msnm), en un área urbana de media densidad. El edificio se erigió originalmente a fines de la década de 1950 como un Hogar – Escuela y en 1957 se convirtió en la sede universitaria de la UNNE. Presenta dos sectores bien diferenciados en cuanto a su tecnología constructiva:

1. El sector “antiguo”. Alberga 5 aulas, el sector administrativo, no docente y de maestranza, sector de despachos de autoridades, Biblioteca de la facultad, Centro de Informática, oficinas correspondientes a distintos departamentos y bloques de sanitarios. Constructivamente, se resuelve mediante técnicas artesanales tradicionales, materializándose los muros mediante mampuestos comunes macizos de 0,30 m. de espesor, revocados exterior e interiormente y las cubiertas mediante tejas cerámicas tipo coloniales sobre estructura de madera (fig. 2). A lo largo del tiempo fue adaptado para diversas funciones y actividades interiores, por medio de intervenciones parciales y ampliaciones, implementadas con diversas tecnologías constructivas. En su interior los espacios se organizan a lo largo de pasillos centrales que funcionan como conectores, por encima de cuyos cielorrasos se desarrollan entrepisos que funcionan como depósitos, constituyendo amplios entretechos.

2. El sector “nuevo”. Iniciado en la década del ’90 y finalizado en 2010, consiste en dos bloques de tres pisos unidos por un bloque principal que funciona como hall y conector. Alberga los espacios interiores de mayores envergaduras en cuanto a volúmenes, cantidades de usuarios e intensidades de uso: 6 aulas – taller, un Auditorio y núcleos de sanitarios. Se resuelve mediante estructuras portantes prefabricadas de hormigón armado (figura 3) y cerramientos verticales de mampuestos artesanales compuestos (muros dobles con cámara de aire y muros de múltiples capas, para los diferentes niveles). Las carpinterías son de marcos de chapa doblada, sin protección exterior, con vidrios simples tipo float de 4mm.

¹ Mgter. Arq. Esp. Prof. Univ. Investigadora FAU – UNNE. Co-directora proy. investigación SGCyT – UNNE.

² MSc. M. Ing. Arq. Prof. Univ. Investigador FAU – UNNE. Director proy. investigación SGCyT – UNNE.

³ Becario de investigación – FAU – UNNE. Secretaría General de Ciencia y Técnica (SGCyT – UNNE).

⁴ Ing. Esp. Prof. Univ. Investigador Depto. Termodinámica - GIDER –FI – UNNE.

⁵ Mgter. Ing. Electr. Prof. Univ. Investigadora FAU – UNNE.

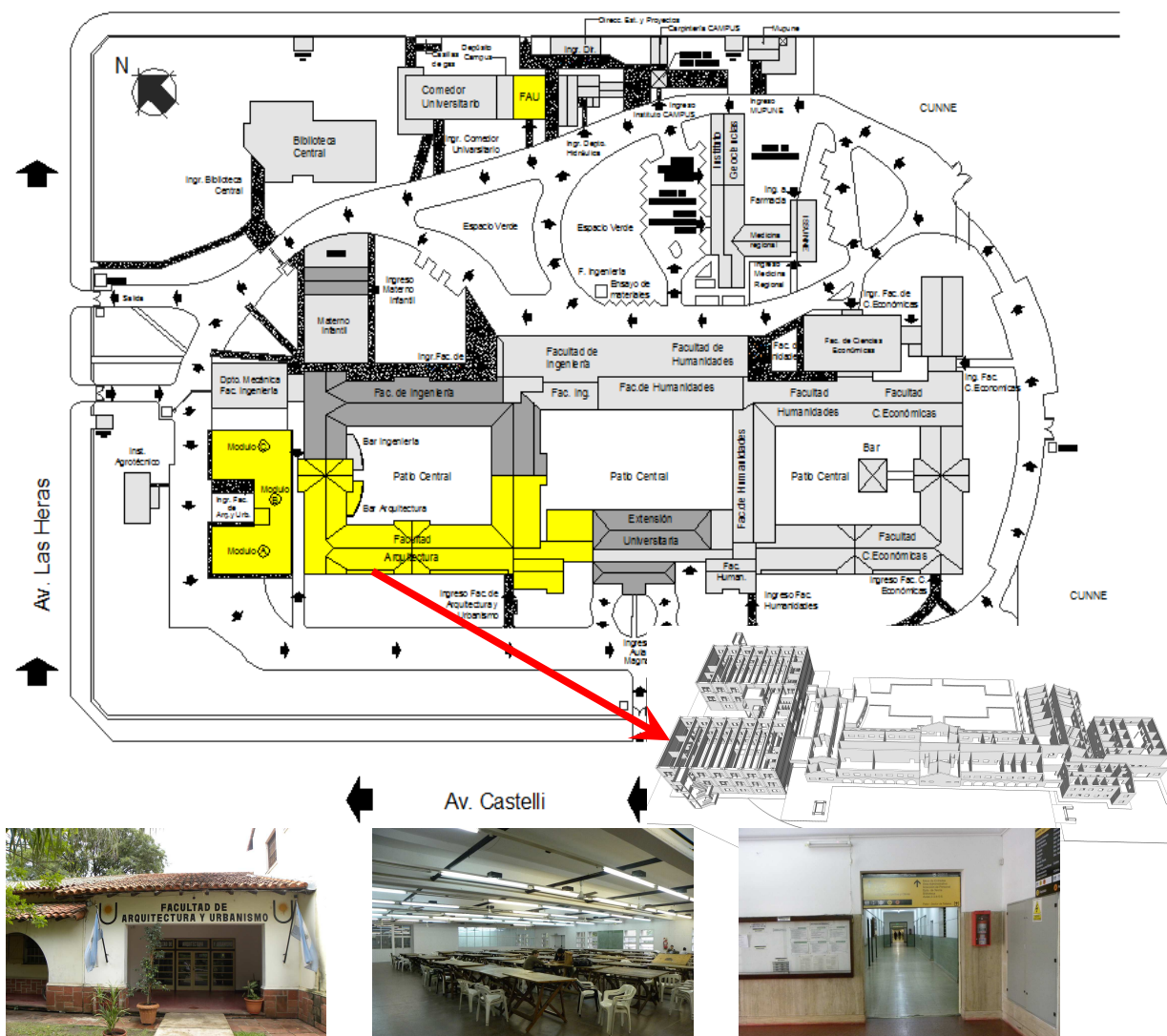


Figura 1: Planimetría Campus UNNE, Resistencia (arriba). Facultad de Arquitectura (en amarillo). Volumetría y fotografías (abajo): acceso principal por el sector antiguo, sudoeste (izq.), aula-taller del sector “nuevo” (centro) y uno de los pasillos centrales distribuidores y organizadores de los espacios del bloque antiguo (der.).

Como resultado del relevamiento y análisis general realizado al edificio y de las verificaciones higrotérmicas (según normas IRAM 11601, 11605, 11625, 11630, 11507-1 y 11507-4) realizadas a las envolventes de los locales, puede comentarse que:

Respecto a los Muros: en el bloque antiguo, los coeficientes de transmitancia térmica “K” de muros son de $1,87 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (nivel “C” –mínimo aceptable según IRAM 11605/96- para verano y no encuadrable en la clasificación para invierno, por ser superior al tope fijado para el nivel “C” - $1,85 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ -, en tanto que en el sector nuevo los muros compuestos presentan valores de “K” de $0,96 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (nivel “C”). La estructura de $\text{H}^\circ\text{A}^\circ$ (vigas y columnas prefabricadas de grandes secciones) del sector nuevo, representa heterogeneidades cuyo valor de transmitancia supera ampliamente el 50% del valor de transmitancia de la envolvente opaca (malas condiciones, según IRAM 11605:96).

Respecto a los Techos: : en el bloque antiguo, los coeficientes de transmitancia térmica “K” de techos son, para verano, de $0,94 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y para invierno, $1,08 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (no encuadrables en la clasificación de IRAM 11605/96, por ser superiores a los límites fijados para el nivel “C”, mínimo) -, en tanto que en el sector nuevo la cubierta (azotea accesible) tiene valores de “K” de $0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ para verano y $0,51 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ para invierno (niveles “C” y “B”, respectivamente).

Respecto a las Carpinterías: las carpinterías del sector “nuevo” (con valores de “K” iguales a $6,00 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, no clasificable en cuanto al nivel de aislación térmica, por ser superior a $4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, según IRAM 11507-4:2010) presentan patologías como la falta de hojas, el mal estado de los vidrios (en algunos casos rotos y con sectores faltantes) el uso incorrecto (la mayoría de los días de monitoreo las ventanas estuvieron abiertas, inclusive durante gran parte de horas nocturnas, pese a las bajas temperaturas), el deterioro (fisuras, grietas) debido a la alta exposición a agentes exteriores (ya que en su mayoría no cuentan con protección), lo que aumenta las infiltraciones de aire exterior. Las carpinterías del sector “antiguo”, de marcos de chapa doblada, hojas de abrir de madera semidura con protección exterior de postigos, con vidrios simples incoloros de 4mm (con valores de “K” iguales a $5,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, tampoco encuadrables en la clasificación según el nivel de aislación térmica por ser muy altos), aunque cuentan con la protección de los postigos y de galerías perimetrales, presentan patologías debido al agotamiento de vida útil (datan de 1960): desprendimientos de material de marcos y hojas, fisuras perimetrales en el vano, que generan importantes pérdidas térmicas.

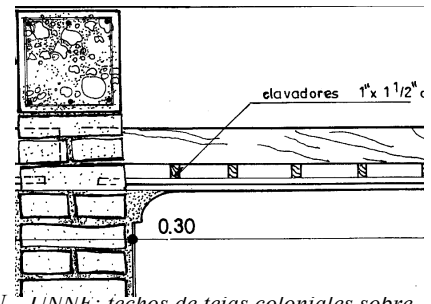


Figura 2: Resoluciones constructivas del sector antiguo del edificio de la FAU – UNNE: techos de tejas coloniales sobre estructura de madera y cielorraso independiente a la cal y muros de ladrillos macizos comunes de 30 cm. revocados.

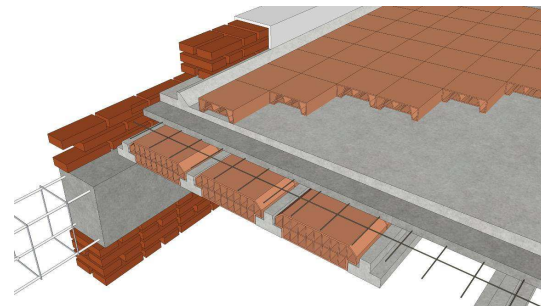
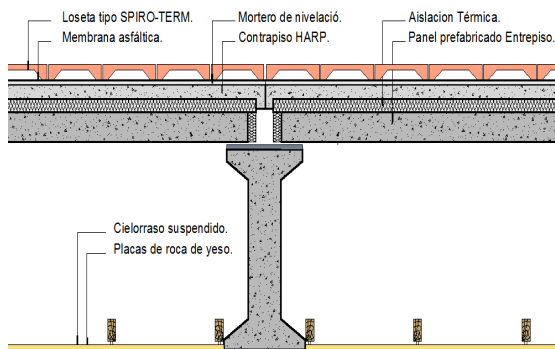
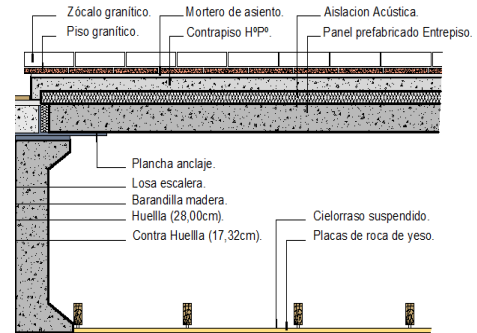
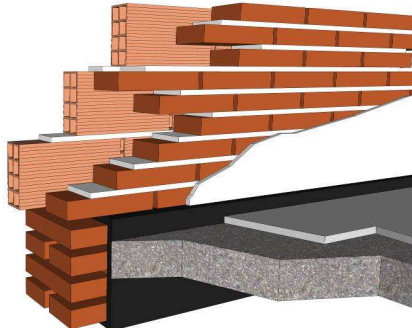


Figura 3: Resoluciones constructivas del sector nuevo del edificio de la FAU – UNNE: muros compuestos de ladrillos huecos de 8x18x33cm. al exterior, cámara de aire y ladrillos comunes macizos de 0,18m. de espesor al interior (arriba, izquierda). Estructuras portantes prefabricadas de hormigón armado. Entrepisos (arriba, derecha) y azoteas accesibles (abajo) de H°A°.

MONITOREO TÉRMICO: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA, METODOLOGÍA Y RESULTADOS

En un trabajo previo (Coronel et al, 2011) se relevó integralmente el edificio de la FAU – UNNE y se realizó un análisis funcional, espacial y técnico – constructivo del mismo, que permitió definir los diferentes paquetes de locales y sectores que lo componen, y sentar las bases de una zonificación funcional – constructiva, agrupando funciones, patrones de ocupación y tecnologías constructivas homogéneas. Así se definieron en el edificio completo treinta y seis (36) zonas, que se indican en las figuras 4, 5 y 6, en función de las cuales se modelizó el edificio para realizar una primera simulación general de desempeño higrotérmico mediante el programa ECOTECT, fijando una banda de confort entre los 19°C (mínima confortable de invierno) y los 29 °C (máxima confortable de verano) y 55 a 65% de HR (Alías y Jacobo, 2009), según rangos usuales para la región NEA. Esta primera simulación de desempeño permitió definir los sectores más críticos en cuanto a sus porcentajes de confort anuales, así como encarar la definición de la muestra de locales del edificio en los cuales realizar un monitoreo térmico (efectuar dicho monitoreo en el edificio completo hubiera sido muy dificultoso, además de antieconómico). La tabla I expone los porcentajes de confort anuales obtenidos en cada zona, mediante la simulación previa con ECOTECT (Coronel, et al, 2011), así como la constitución tecnológica de sus envolventes.

Se determinó realizar el monitoreo en las 6 aulas indicadas en las figuras 4, 5 y 6, en las que se esquematiza la distribución en planta de los sensores de temperatura (termocuplas). La selección de dichos locales se basó en los siguientes criterios:

- Incluir tanto sectores del edificio antiguo (aulas 6 y 4) como del sector nuevo (aulas 11, 7, 8 y 10), y por lo tanto lograr representatividad de las diferentes tecnologías constructivas de las envolventes;
- Incluir aquéllos locales que, según el relevamiento de frecuencias de uso y cantidades de usuarios diarios, hayan registrado los valores semanales más altos, de manera constante;
- Monitorear zonas que, según la simulación térmica previa, representen valores de toda la franja de porcentajes de confort anuales logrados (ver tabla I, columna derecha), desde los más bajos (situaciones más desfavorables) hasta los más elevados (buenas condiciones de habitabilidad), pasando por valores intermedios;
- Lograr cierta proximidad entre los sectores a monitorear, para hacer un uso más eficiente y económico de la instalación (reducir, en lo posible, las longitudes para el tendido de cables entre los locales y el adquirente de datos).

Zonas FAU	Constitución técnico – constructiva de la envolvente	% de confort anual (simul. c / ECOTECT)
Zona 1: Aula 11	Muros: compuestos (e=0.35 mts.): mampostería de ladr. comunes macizos 12cm + ladr. huecos, con cámara de aire intermedia y capas de revoque MAR exterior e interior. <i>Cubierta:</i> entrepiso de losa prefabricada de H°A°, sobre estructura independiente, losa + aislaciones + contrapiso + piso. <i>Cielorraso:</i> suspendido de placas de roca de yeso, arriostrado a losa de entrepiso.	30,60%
Zona 2	Ladrillos huecos 8x18x33, CA, Ladrillos comunes 0,18.	42,50%
Zona 3	Ladrillos huecos 8x18x33, poliestireno, Ladrillos comunes 0,18.	21,50%
Zona 5	Ladrillos comunes de 0,30 (total), revocadas ambas caras.	57,70%
Zona 7: Aula 6	Muros: mampostería de ladrillos macizos comunes (0.30 mts), y capas de MAR exterior e interior. <i>Cubierta:</i> estructura de madera (cabreada, correas, tirantes más listoncillos), membrana plástica y tejas coloniales, clavadas a la estructura de listoncillos. <i>Cielorraso:</i> independiente, con estructura de madera, malla sima, y capas de MAR, terminación al yeso.	6,10%
Zona 10	Ladrillos comunes de 0,18, revocado ambas caras.	49,10%
Zona 11	Ladrillos comunes de (0,30 total), revocadas ambas caras.	8,70%
Zona 12: Aula 4	Ídem zona 7.	21,60%
Zona 14	Ladrillos comunes de (0,30 total), revocadas ambas caras.	41,90%
Zona 15		35,80%
Zona 17		68,20%
Zona 18		75,90%
Zona 19		61,50%
Zona 20		65,80%
Zona 23		59,00%
Zona 24 Taller 10	Ídem zona 1.	51,80%
Zona 25	Ladrillos comunes de 0,18, revocadas ambas caras.	38,30%
Zona 27	Ladrillos huecos 8x18x33, CA, Ladrillos comunes 0,18.	51,80%
Zona 28	Ladrillos comunes de (0,30 total), revocadas ambas caras.	65,10%
Zona 31	Ladrillos comunes de (0,30 total), revocadas ambas caras.	47,80%
Zona 32 Taller 8	Muros: ídem zona 1. <i>Cubierta:</i> entrepiso de losa prefabricada de H°A°, sobre estructura independiente, losa, aislaciones, contrapiso, loseta cerámica tipo spiro-term., para protección superior. <i>Cielorraso:</i> suspendido de placas de roca de yeso tipo durlock, arriostrado a losa.	54,80%
Zona 33	Ladrillos comunes de 0,18, revocado ambas caras.	38,20%
Zona 34		53,90%
Zona 36 Taller 7	Ídem zona 32.	52,30%

Tabla I: Porcentajes de confort anuales en cada zona del edificio de la FAU, según simulación previa gral. con ECOTECT.

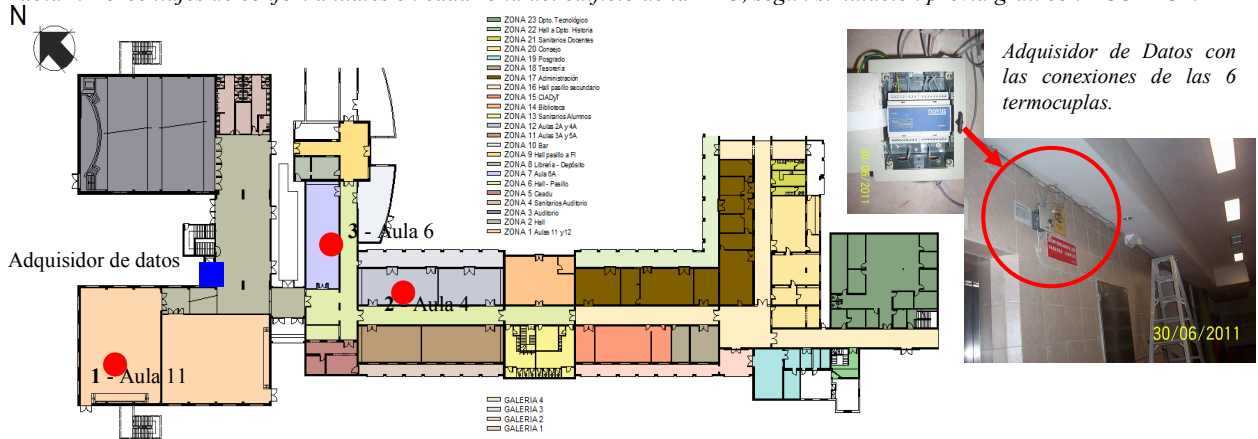


Figura 4: Zonificación Planta Baja – FAU – UNNE y distribución de los sensores de temperatura y registrador de datos.

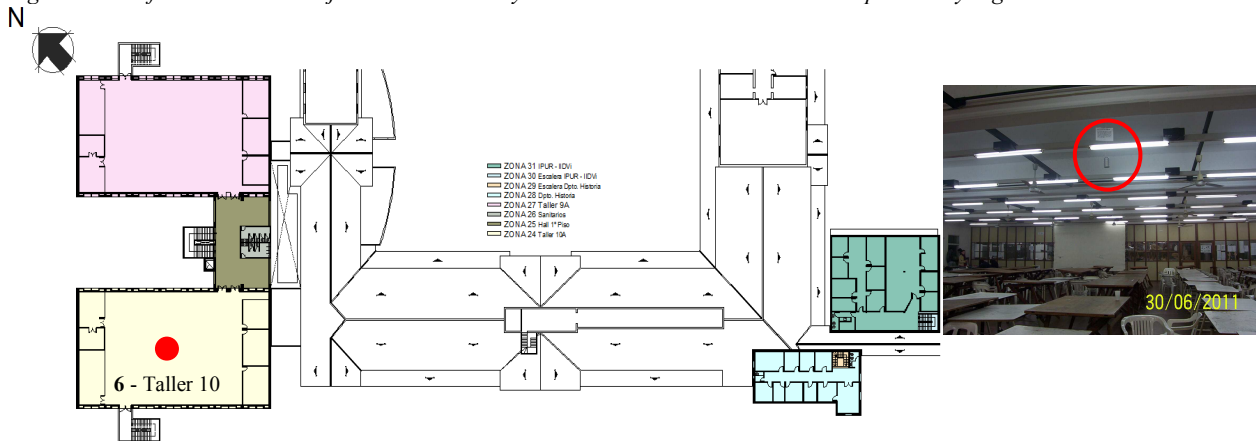


Figura 5: Zonificación Planta 1º piso – FAU – UNNE y distribución de los sensores de temperatura.

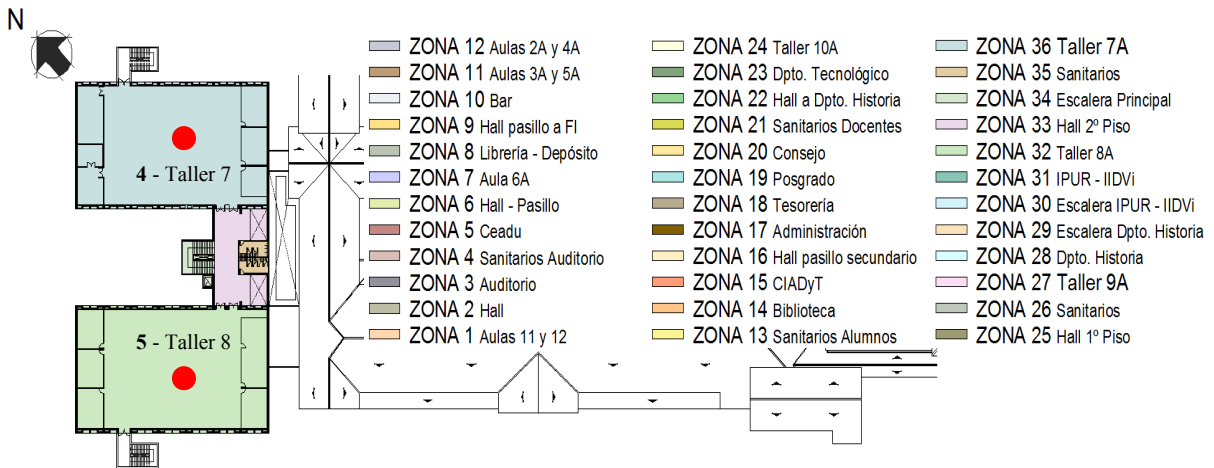


Figura 6: Zonificación Planta 2º piso – FAU – UNNE y distribución de los sensores de temperatura.

El monitoreo térmico de la muestra definida se realizó durante el período comprendido entre el 30 de junio y el 14 de julio de 2011 (14 días corridos, las 24 hs. de cada día). Las aulas estuvieron en condiciones de uso normal durante el monitoreo (los días 2 – 3 y 9 – 10 de julio correspondieron a fines de semana, sin dictado de clases ni uso para exámenes), habiéndose relevado tales condiciones de uso (cantidad de usuarios, tipo de actividad, patrón de apertura de aventanamientos y uso de la iluminación artificial, equipamientos y artefactos en uso). Las variables registradas durante el monitoreo (con una frecuencia de muestreo de 10 minutos) fueron: *Temperatura ambiente exterior a la sombra; Temperatura de bulbo seco de las 6 aulas definidas; HR ambiente exterior; Irradiación solar global sobre superficie horizontal.*

El instrumental, aportado por el Depto. de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (FI – UNNE), consistió en: sensores de temperatura (termocuplas tipo “K”, previamente calibradas en el rango de temperaturas de trabajo), conectados a un módulo de adquisición de datos (Data Logger - Registrador Virtual *NOVUS FIELD LOGGER*, de 8 canales analógicos, alimentado con 220 voltios, conversor y software de adquisición de datos “Field Chart”). Las mediciones de datos de humedad relativa y temperatura ambiente externas fueron realizadas con un medidor de HR y temperatura (marca *ROTRONIC*, tipo Hygromer I-128, con una amplitud de medición de 0 a 100% de HR, con un error de +/- 1,5% a 25°C y con una amplitud de medición de temperaturas de entre -15°C y 65°C, con una apreciación de 0,1 °C). Como sensor de radiación solar global se usó un piranómetro termoeléctrico (marca *EPPLEY*, tipo PSP N° 30155 F3).

Los 6 sensores de temperatura, conectados al adquisidor de datos, se ubicaron “colgados” del centro aproximado del cielorraso de cada local, a una altura aproximada de 2,10 metros del nivel de piso (de modo de no perturbar las actividades normales de los usuarios), y fueron cubiertos superior y lateralmente por pantallas cilíndricas de aluminio perforadas (para no obstruir el paso del aire), tendientes a 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 enfrien por arriba o por debajo de la temperatura del aire de los mismos (Boutet et al, 2010).

Resultados. Hasta el 9 de julio se registraron temperaturas exteriores de entre 6 °C y 18 °C, con valores de entre 50 y 75% HR ambiente exterior, representativas de días de invierno extremo y moderados de la ciudad de Resistencia, en tanto que a partir del 9 de julio se produjo un ascenso gradual de temperatura, con mínimas de 12°C y máximas de hasta 31°C, con valores de HR de entre 75% y 95%. Los valores de irradiación solar global sobre superficie horizontal y HR exterior para el período de registro son los que se muestran en la figuras 7. Se registraron valores de irradiación solar global (sobre sup. horizontal) máximos promedio de 660 W/m² (para días de cielo claro) y extremos de 825 W/m², para las 13,30hs.aproximadamente.

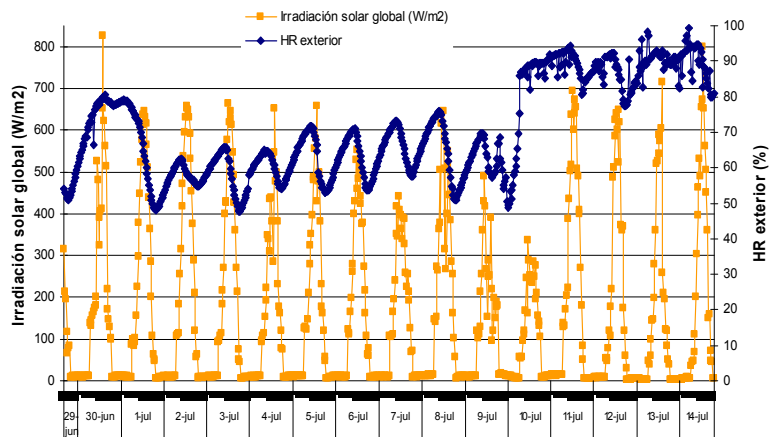


Figura 7: Registros de HR exterior e irradiación solar global en Resistencia, entre el 30/06/11 y el 14/07/11.

Los valores de temperaturas interiores de las 6 aulas monitoreadas, durante los días de registro, se exponen en la figura 8. Entre el 2 y el 8 de julio, días de los registros térmicos exteriores más bajos, las temperaturas de las 6 aulas se mantuvieron, durante las 24 hs. de cada día, por debajo del límite inferior de la banda de confort fijada (19°C - 29°C), registrando mínimas de 14°C y máximas de 18°C. Tan sólo a partir del 9 de julio, en que las temperaturas exteriores empiezan un marcado y progresivo ascenso, las temperaturas interiores de las aulas alcanzan los 19°C y suben gradualmente hasta alcanzar un máximo de 26°C el 14 de julio a las 16hs. Los picos de temperatura interiores se registran con un retraso de 3,5

a 5 hs. con respecto a los exteriores (que ocurren a las 15,00 hs. aproximadamente). La *amplitud térmica exterior diaria* registrada fue de 8°C para el 3 de julio (uno de los días más fríos registrados, junto con el 4 de julio) y de 12,5°C para el 14 de julio (día más cálido registrado); en tanto que la *amplitud térmica interior promedio diaria* registrada fue de 2,5°C para el 3 de julio y de 4°C para el 14 de julio. La figura 9 muestra la evolución de temperatura de las 6 aulas monitoreadas para los días más fríos registrados (4, 5 y 6 de julio).

De los locales monitoreados, el *Aula 4* (sector antiguo), que además de la cubierta presenta sólo la cara NE al exterior (además protegida por galería, por lo que solo recibe irradiación solar directa parcialmente, entre las 8 y 10hs.), presenta en general las temperaturas más bajas con respecto a los otros locales, durante las 24 hs.

El *Taller 7* (último piso, bloque nuevo) también presenta temperaturas más bajas que el resto, pero solamente en horas de la madrugada, situación que se revierte a partir de las 9 hs. aproximadamente, en que recibe asoleamiento directo durante toda la mañana y buena parte de la tarde, por presentar uno de los lados mayores al NE y un lado menor al NO. En este *Taller 7* se relevó el mayor porcentaje de ventanas abiertas durante horas nocturnas.

El *Taller 8* (último piso, bloque nuevo), al NO y SO, registra las temperaturas más altas de la serie monitoreada, seguido por el *Aula 6* (sector antiguo), el *Aula 11* y el *Taller 10* (PB y 1° piso, respectivamente, del bloque nuevo).

Hay que destacar que estos 3 locales, *Talleres 8, 10 y 11*, se hallan encolumnados, variando solamente su grado de exposición al exterior por tratarse de último piso, 1° piso y planta baja, respectivamente, resultando el *Taller 8* (último piso) el más expuesto y el que mayor porcentaje de irradiación solar directa recibe durante el día, y el *Aula 11*, en PB, el que menor irradiación directa recibe.

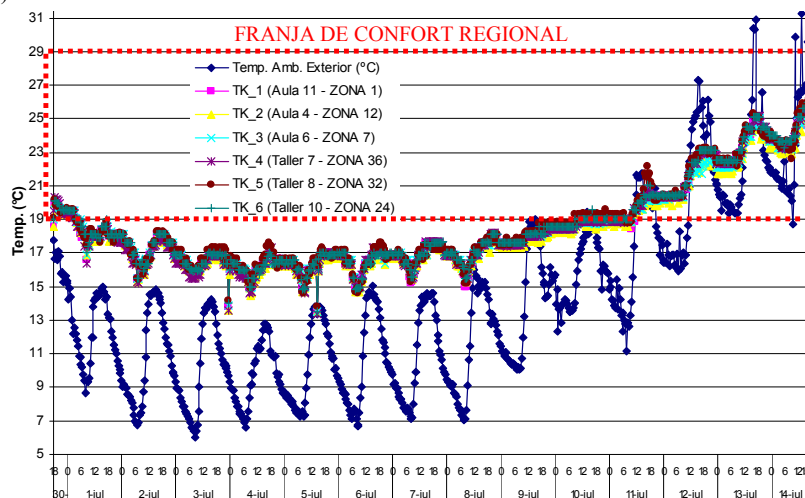


Figura 8: Evolución de temperaturas interiores medidas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante el periodo del 30/06 al 14/07/2011.

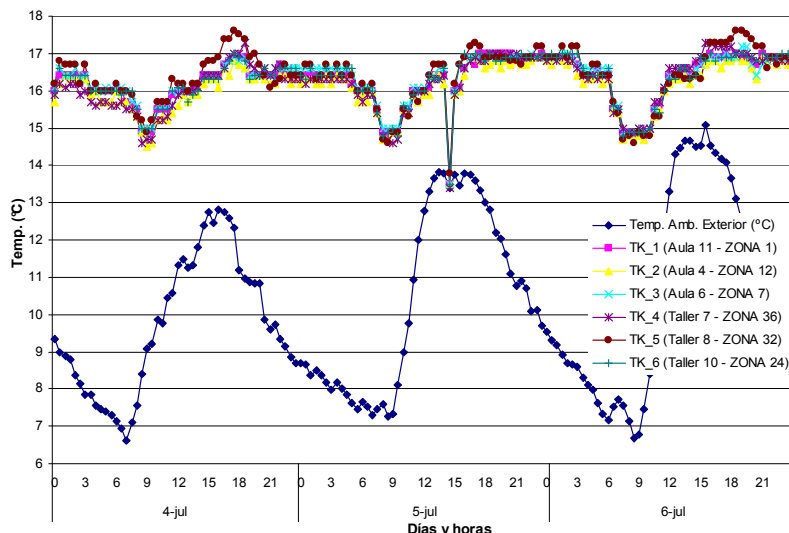


Figura 9: Evolución de temperaturas interiores monitoreadas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante los días 4, 5 y 6 de julio de 2011.

SIMULACIÓN CON ECOTECT: MODELIZACIÓN, METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Se realizó nuevamente una simulación dinámica de desempeño térmico del edificio con el programa ECOTECT para el mismo período monitoreado (del 30/06/2011 al 14/07/2011), según la zonificación ya planteada y ajustando los datos y parámetros, en el modelado de cada aula, a los datos reales registrados mediante el relevamiento de ocupación (cantidad de usuarios, tipo de vestimenta y de actividad, horarios de encendido de luminarias y otros equipos, según horas y días) durante los días de monitoreo in situ, a efectos de lograr mayor precisión del modelo físico.

En cuanto a los datos de variables ambientales para la ciudad de Resistencia durante los días de monitoreo y simulación, se editó un nuevo archivo para el período del 25/06/11 al 20/07/11, a través del módulo *The Weather Tool*, de ECOTECT. Esto se realizó con el objetivo de lograr un mayor ajuste de la simulación a las condiciones registradas durante el monitoreo, usando los valores horarios medidos de irradiación solar global sobre superficie horizontal, temperatura ambiente exterior y HR exterior, aportados por la estación meteorológica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE.

Con el modelo físico cargado en ECOTECT, según la distribución de locales y zonificación ya expuesta (figs. 4, 5 y 6), asignados los materiales de cada componente edilicio (muros, techos, pisos, aberturas) y sus respectivos coeficientes de conductividad térmica, densidad y calor específico, ingresadas las cargas internas relevadas y ajustado el archivo de clima, se realizó el análisis térmico para el edificio completo, aunque dejando visibles solamente los seis locales de la muestra definida para el monitoreo. En la fig. 9 se exponen las evoluciones de temperaturas ambiente horarias obtenidas mediante la simulación, para cada aula, durante las 24 hs. de cada día del período del 30/06 al 14/07. Las condiciones mínimas de confort para el análisis térmico en el programa simulador se mantuvieron entre 19°C y 29°C, con 55 a 65% HR.

Resultados. Al igual que los registros del monitoreo, según los resultados de la simulación, las 6 aulas de la muestra definida presentan temperaturas, hasta el día 09/07, que durante las 24 horas de cada día se mantienen entre 2°C y 4°C por debajo de la mínima confortable definida para invierno (19°C), registrando mínimas de 9,8 °C y máximas de 18,5°C (figura 10). A partir del 09/07, en que la temperatura exterior empieza a subir hasta alcanzar los 31°C el 14/07, las temperaturas internas de las aulas empiezan a registrar máximas que alcanzan los 19°C el 10/07 y recién el 12/07 se mantienen las 24 hs. dentro de la franja prefijada de confort.

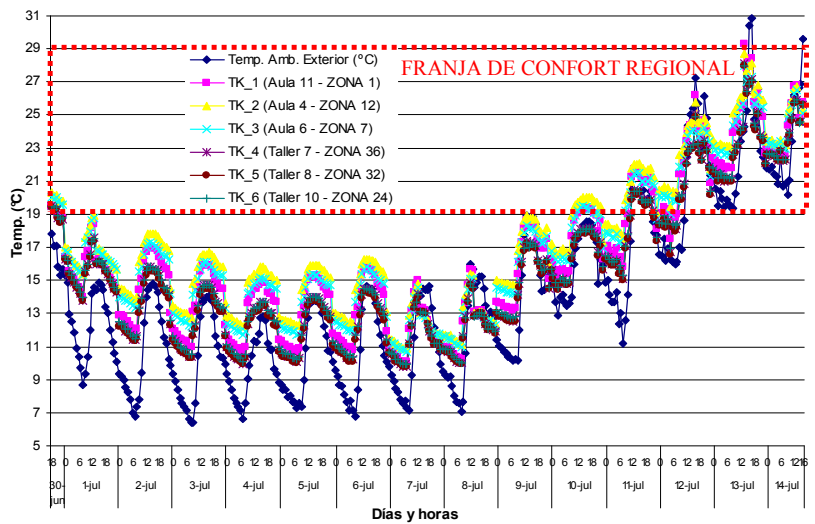


Figura 10: Evolución de temperaturas interiores simuladas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante el periodo del 30/06 al 14/07/2011.

A diferencia del monitoreo, las evoluciones térmicas de cada local acusan diferencias más marcadas entre sí, de hasta 2,5°C, a igualdad de día y horario. La figura 11 muestra la evolución de temperatura de las 6 aulas monitoreadas para los días más fríos registrados (4, 5 y 6 de julio), advirtiéndose notoriamente la diferencia de hasta 2,5°C entre las temperaturas de los locales, para un mismo día y hora.

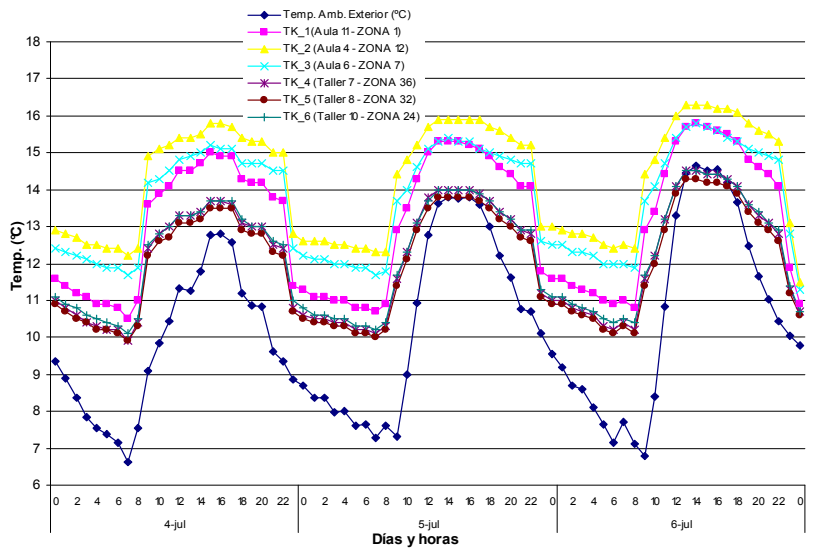


Figura 11: Evolución de temperaturas interiores simuladas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante los días 4, 5 y 6 de julio de 2011.

La simulación arroja la situación más favorable para el Aula 4, que presenta casi constantemente las temperaturas más altas de la serie, durante todos los días del período simulado (a la inversa de los registros monitoreados, en que presentó las temperaturas más bajas). Las temperaturas más bajas, según la simulación, se presentan para el taller 8 (2° piso), que en el monitoreo fue el local que demostró la situación inversa (temperaturas más altas de la serie considerada), no habiéndose podido determinar aún la causa de este desajuste.

Para las demás aulas se obtuvo con la simulación la misma tendencia que la registrada mediante el monitoreo. Los talleres 7 y 10 (2° y 1° piso, respectivamente) presentan curvas de evolución térmica casi superpuestas para todo el periodo simulado, que a la vez resultan las tres series de temperaturas más bajas del conjunto, junto con el taller 8, para todos los días considerados.

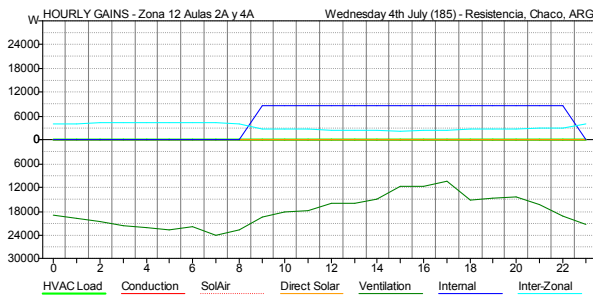


Figura 12: Cargas térmicas horarias para el Aula 4, el día 04/07.

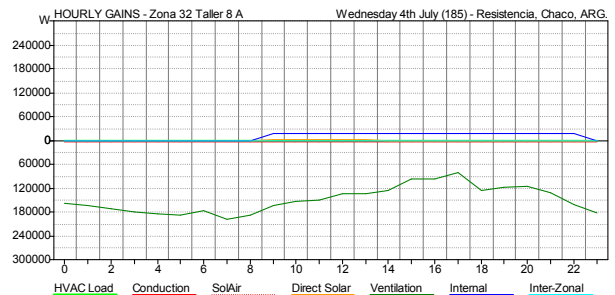


Figura 13: Cargas térmicas horarias para el Taller 8, el día 04/07.

Las figuras 12 y 13 muestran las cargas térmicas horarias (ganancias y pérdidas), según ECOTECT, para el día 04/07 (uno de los más fríos del período monitoreado), para el aula 4 y el taller 8 respectivamente, locales que resultaron con las temperaturas máximas (aula 4) y mínimas (taller 8) según la simulación y a la inversa según el monitoreo. Para el aula 4, cuya única pared al exterior se halla protegida por una galería perimetral (por lo que la incidencia de radiación solar directa es mínima), las únicas

ganancias térmicas están representadas por los aportes internos (presencia de los alumnos, encendido de luminarias y equipos, etc.), en el horario de 9 a 21 hs., y en menor proporción por las “adyacencias interzonales”, es decir, por la transmisión de la temperatura de las zonas adyacentes que la rodean (otra aula y espacios circulatorios –pasillos-). Para el taller 8, las ganancias se deben casi exclusivamente a los aportes internos durante el período de uso, siendo muy reducidas las debidas a “adyacencias interzonales” (este taller presenta una situación de perímetro casi completamente libre).

Tanto para el aula 4 como para el taller 8, se producen importantísimas pérdidas térmicas debidas a ventilación e infiltraciones, ya que el modelado físico en ECOTECT se realizó tratando de reproducir lo más fielmente posible el registro horario relevado de apertura de ventanas durante los días del monitoreo, habiéndose detectado que gran parte de las mismas permanecieron abiertas en horas de la noche, pese a las bajas temperaturas.

CORRELACIÓN ENTRE RESULTADOS SIMULADOS Y RESULTADOS MONITOREADOS

La contrastación de los resultados arrojados por la simulación respecto de los resultados medidos, se efectuó sobre la base de las dos series de temperaturas por cada local (medidas y simuladas), a las que se les aplicó un gráfico de dispersión. A este gráfico se le agregó la línea de tendencia y se obtuvo el coeficiente de correlación (R^2) resultante, que indica el porcentaje de ajuste de ambas series (figura 14). En general, se obtuvieron aceptables niveles de ajuste para el período simulado y monitoreado: Los mayores (coeficientes de correlación de 0.88) se lograron para los talleres 8 y 7, en tanto que los menores resultaron para las aulas 4 y 11 (coeficientes de correlación de 0.817 y 0,827), por lo que deberá estudiarse la optimización necesaria en la modelización física de estos locales. Las figs. 15 y 16 muestran la comparación entre temperaturas medidas y simuladas para dos locales (aula 4 y taller 8), destacándose en ambos casos las mayores amplitudes obtenidas mediante la simulación.

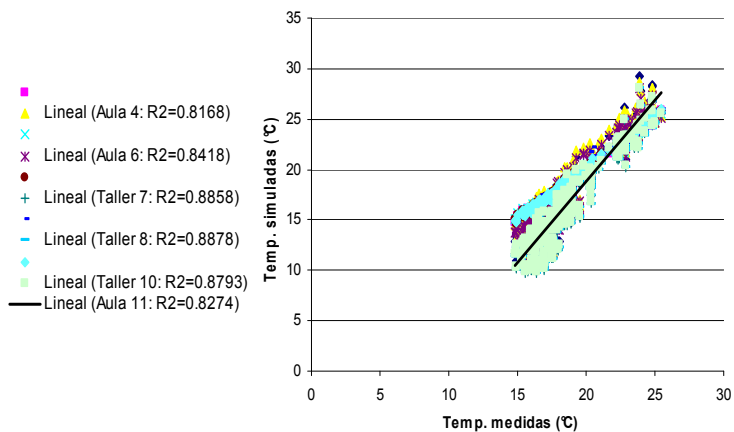


Figura 14: Correlación entre temperaturas medidas y simuladas, para todas las aulas simuladas y monitoreadas durante el periodo del 30/06 al 14/07/2011.

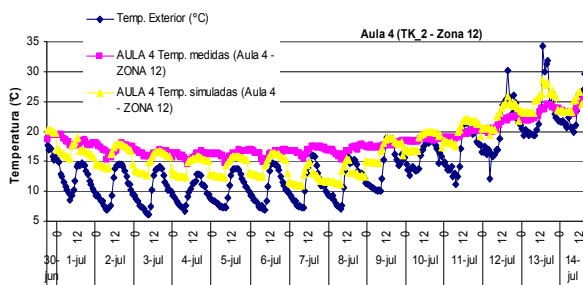


Figura 15: Comparación entre temperaturas medidas y simuladas en el aula 4, para el periodo del 30/06 al 14/07/2011.

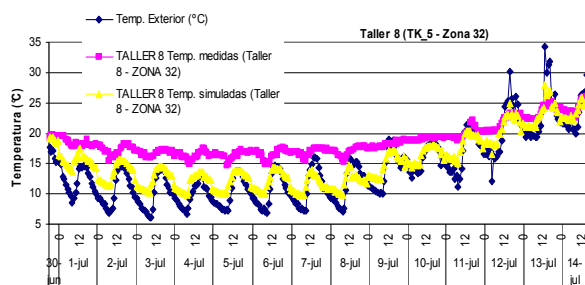


Figura 16: Comparación entre temperaturas medidas y simuladas en el taller 8, para el periodo del 30/06 al 14/07/2011.

Si bien los coeficientes de correlación son aceptables, en las figuras 15 y 16 se observan diferencias térmicas significativas de hasta +3 °C y -5 °C de las temperaturas simuladas con respecto a las monitoreadas, en ambas tecnologías (la del aula 4, del sector “original” del edificio y la del aula-taller 8, del último piso del bloque “nuevo” del edificio). Tales diferencias máximas ocurren entre las 3 y las 6 hs., es decir, durante la madrugada, antes de la salida del sol, en todos los locales monitoreados y simulados, en concordancia con los horarios de registro de las mínimas temperaturas exteriores y durante los cuales los locales no presentan cargas térmicas por ocupación, luminarias, equipos y otros (lo que fue detallado en la modelización en ECOTECT), mostrando que las temperaturas interiores, en la simulación, resultan altamente dependientes de las cargas de energía auxiliares, razón por la cual fueron sucesivamente corregidos los parámetros de la envolvente constructiva de los locales, aunque sin lograr aumentar el ajuste de los resultados simulados con respecto a las mediciones efectuadas. En el modelo final, se siguen detectando las mayores diferencias en los períodos sin ocupación, de hasta 5°C por debajo de las temperaturas medidas, lo cual abre una nueva línea de investigación en el estudio del funcionamiento del programa, a fin de explicar si el desajuste se debe a errores del modelo físico-geométrico ingresado o al método de cálculo en sí mismo del programa ECOTECT.

CONCLUSIONES

Habiéndose realizado una simulación mediante el programa ECOTECT de 6 aulas del edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNNE y un monitoreo de desempeño térmico de las mismas aulas, en condiciones reales de ocupación, para un período de 15 días corridos de la estación invernal, se han detectado problemas de desconfort (o déficits de bienestar higrotérmico) con temperaturas interiores que, durante el 65% del período de registro se hallaron por debajo del límite inferior de la franja de confort regional definida (19°C – 29°C), tanto según el monitoreo como según las simulaciones.

Se ha encontrado un aceptable grado de ajuste y aproximación entre los resultados simulados respecto de los monitoreados, lo que evidencia que la modelización física utilizada para las simulaciones es válida, aunque susceptible de ser optimizada (se detectan diferencias de hasta 5°C entre las temperaturas simuladas respecto a las medidas, en los periodos sin ocupación, restando aún poder determinar si el desajuste se debe a errores del modelo físico-geométrico ingresado o al método de cálculo del programa en sí mismo), y que es posible generalizar los resultados obtenidos mediante la simulación, incluyendo en el análisis a los locales no monitoreado, con un razonable nivel de confiabilidad.

Por los resultados obtenidos, el edificio analizado, que constituye una tipología constructiva prototípica tradicional representativa de muchos edificios institucionales de la década del '50 (en servicio activo en varias provincias del país), constituye un caso de desempeño térmico regular durante días de invierno típicos de la zona "Ib", que demandaría climatización artificial durante los horarios de ocupación. A priori, y en función de los primeros resultados obtenidos, se harían necesarias propuestas de mejoramiento de las envolventes de los locales, que optimicen el desempeño térmico invernal en el edificio y contribuyan a la reducción del consumo eléctrico para climatización, a la vez que resulten transferibles al mejoramiento de las condiciones de habitabilidad de otros edificios del Campus UNNE. Entre dichas mejoras podrían incluirse la reducción de puentes térmicos y de pérdidas por carpinterías en general y el aumento de resistencia térmica del conjunto envolvente. En función de haberse detectado situaciones derivadas de un mal uso de los locales, como la apertura permanente de ventanas (aún en horas nocturnas de muy bajas temperaturas), se deduce que una campaña de concientización de los usuarios (tanto del personal de maestranza como de los docentes y alumnos), respecto de las ventajas de una ventilación selectiva apropiada, redundaría en mejoras en la habitabilidad de las aulas y en un menor uso de la energía necesaria para su climatización artificial.

Está previsto realizar otro monitoreo térmico de los mismos seis locales, durante un período de similar extensión al ya realizado, pero de la época estival (fines del mes de noviembre, aún con ocupación efectiva de dichos locales), que en nuestra zona bioambiental representa la estación más crítica en términos de confort.

Se prevé que la metodología empleada permitirá el desarrollo de un diagnóstico de situación, en función del cual sea posible proponer medidas de optimización del desempeño registrado, reductoras del consumo anual de electricidad, sin que ello implique una reducción de la calidad de vida ni de las posibilidades de trabajo en los espacios interiores.

REFERENCIAS

- Alías, H. M. y Jacobo, G. J. (2009). *Evaluación de desempeño termo - energético de viviendas económicas del Nordeste argentino mediante simulaciones con "ECOTECT". Retroalimentación de proyectos*. Anales del 1º Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído (SBQP). ISSN 2176 – 4549.– Universidad de São Paulo. São Carlos, SP – Brasil.
- Boutet, M. L. et al (2010). *Monitoreo higrotérmico del jardín materno infantil de la UNNE y simulación mediante ECOTECT, en condiciones reales de uso*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 14. Argentina. ISSN 0329-5184. Pp. 05.17 - 05.24.
- Coronel, C. A. et al (2011). *Evaluación energética del edificio sede de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo - UNNE (Resistencia – Chaco – Argentina) con la herramienta informática "ECOTECT"*. IV Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura. (CRETA). Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM). Normas Técnicas Argentinas: 11605: 1996; 11507-4:2010. Buenos Aires, Argentina.
- Marsh, A. J. (2003). ECOTECT Tutorials. Square One research Pty Ltd. Traducción propia.

ABSTRACT: This work presents the results of the thermal performance simulation with the ECOTECT software of six classrooms of the building of Architecture and Urbanism Faculty (FAU) of Northeast National University (UNNE) during a period of 15 winter days, in Resistencia city, compared with the results recorded during a thermal monitoring developed in the same classrooms during the same period. The objective was to validate the simulation results, after edit the climate's file of ECOTECT for Resistencia city according the weather variables' data recorded during the days of thermal monitoring (for greater accuracy in the simulation conditions) and to generalize the results and to extend the analysis including unmonitored building areas. Simulated results show a reasonable adjustment with the monitored ones. It is concludes that the FAU building is a case of regular thermal performance during typical winter days in the zone "Ib".

Key-words: thermal performance, simulations, monitoring, comparisons, FAU – UNNE.