

MONITOREO Y SIMULACIONES DE DESEMPEÑO TÉRMICO DE AULAS DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNNE EN DÍAS DE VERANO Y CONDICIONES REALES DE USO

H. Aliás¹; G. Jacobo²; P. Martina³; J. Corace³; R. Borges⁴; I. Yaccuzzi⁴; F. Álvarez Palazzo⁴; F. López⁴
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

Recibido: 07/08/12; Aceptado: 02/10/12

RESUMEN: Se exponen los resultados del monitoreo térmico, contrastado con simulaciones mediante ECOTECT, de seis aulas del edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), durante un período de 15 días de verano, en la ciudad de Resistencia, Chaco. El objetivo fue detectar posibles problemas de desconfort y completar un diagnóstico de situación higrotérmica, cuya primera etapa la constituyó el monitoreo y simulaciones previas del mismo edificio, durante Julio de 2011, así como validar los resultados de las simulaciones. Por los resultados obtenidos, el edificio monitoreado, que constituye una tipología constructiva 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 deficiente durante días de verano típicos de la zona "Ib", con temperaturas interiores por encima del límite superior confortable definido, durante el 95% del tiempo de monitoreo.

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

INTRODUCCIÓN

En función de la sostenida crisis energética nacional, el Estado Argentino implementó, en el año 2007, el "Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía", mediante el cual se dispuso que los diversos organismos oficiales del Estado participen del mismo y se adecuen a las directivas que de él surjan. En función de ello, el Ministerio de Educación y Cultura de la Nación, en la Resolución N° 22/2008, art. 11, invitó a las Universidades Nacionales a implementar políticas e instrumentos institucionales para el Uso Racional de la Energía (URE).

Atendiendo a ello, en el Campus de la UNNE de la ciudad de Resistencia (Chaco), y en el marco de un proyecto de investigación titulado "Evaluación térmico-energética de las sedes edilicias de las Facultades de Arquitectura y de Ingeniería de la UNNE" (orientado a la evaluación termoenergética 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 los edificios de las Facultades de Arquitectura e Ingeniería, 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, validados mediante mediciones experimentales. Se busca elaborar un diagnóstico de situación, para proponer, en función del mismo, criterios de optimización tendientes a lograr una reducción del consumo anual de electricidad, sin disminuir las condiciones de habitabilidad de los espacios interiores. Ello representaría una instancia inicial dentro de un proceso de generación de las bases de políticas institucionales en la UNNE tendientes al URE en la edificación. Por otra parte, se intenta validar las simulaciones (determinando el grado de correlación entre resultados medidos y resultados simulados), 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 la modelización y poder generalizar los resultados obtenidos, así como ampliar el análisis incluyendo a locales no monitoreados y a otros períodos del año.

La ciudad de Resistencia pertenece a la zona bioambiental "Ib", muy cálida (IRAM 11603, 1996), donde los valores de temperatura efectiva corregida media, en el día típicamente cálido, son superiores a 26,3°C; durante la época caliente todos los sectores presentan valores de temperatura máxima superiores a 34°C y valores medios superiores a 26°C, con amplitudes térmicas menores de 14°C. El período invernal presenta temperaturas medias durante el mes más frío superiores a los 12°C.

Como antecedentes, en Julio de 2011 se realizó un monitoreo de desempeño térmico (contrastado con simulaciones mediante ECOTECT) de 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, en condiciones reales de ocupación, que se detalla en dos trabajos (Aliás et al, 2011) presentados en la XIV Reunión de ASADES 2011. En dicho monitoreo se detectó que las temperaturas interiores, durante el 64% del período de registro, se hallaron por debajo del límite inferior de la franja de confort regional definida (19°C – 29°C), lo que constituye un desempeño térmico regular durante días invernales típicos de la zona "Ib", que demandaría climatización artificial de los locales durante los horarios de ocupación.

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

⁴ Becario de investigación – FAU – UNNE. Secretaría General de Ciencia y Técnica (SGCyT) – UNNE.

SITUACIÓN DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNNE

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 (como parte de las obras del segundo “Plan Quinquenal” del gobierno de J. D. Perón) y en 1957 se convirtió en la sede universitaria de la UNNE. Este Campus alberga también las sedes de las Facultades de Ingeniería, Humanidades y Ciencias Económicas de la UNNE, así como otros Centros e Institutos, la Biblioteca Central, el Jardín Materno – Infantil, analizado en un trabajo anterior (Boutet et al, 2010) y el Comedor Universitario de la UNNE. El edificio fue construido con características formales y tecnológico - constructivas similares a los de otros edificios institucionales implantados en distintas regiones y provincias del país (Salta, Mendoza, Corrientes, Buenos Aires, etc.), respondiendo a tipologías proyectuales prototípicas, por lo que este caso de estudio representa, cuali y cuantitativamente, un universo más amplio.

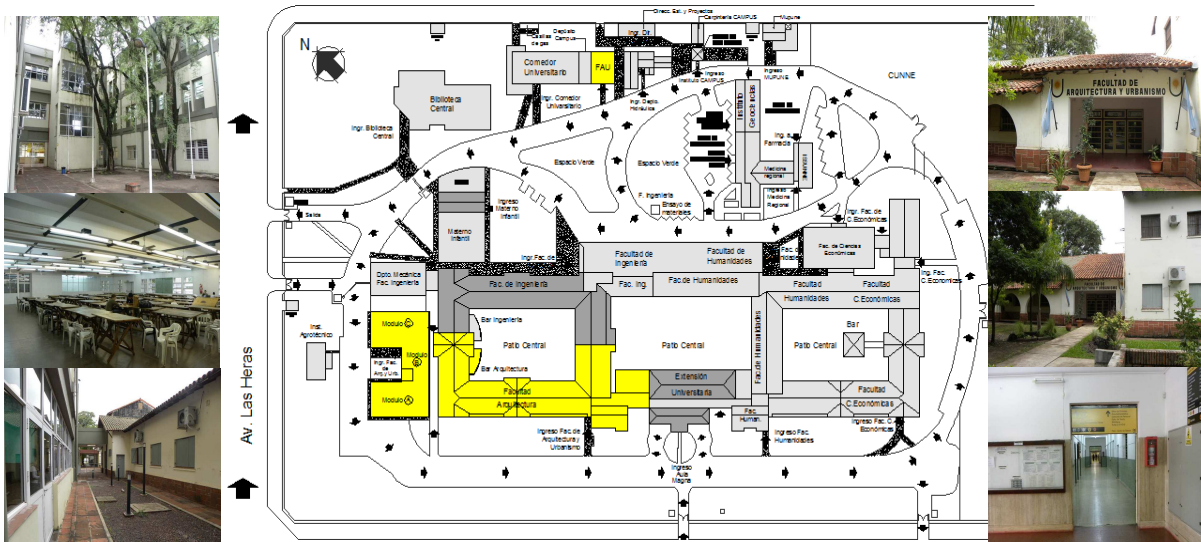


Figura 1: Planimetría Campus UNNE, Resistencia (centro). Facultad de Arquitectura –FAU- (en amarillo). Fotografías FAU: sector antiguo u original (derecha) y sector nuevo, bloque de “talleres” (izquierda).

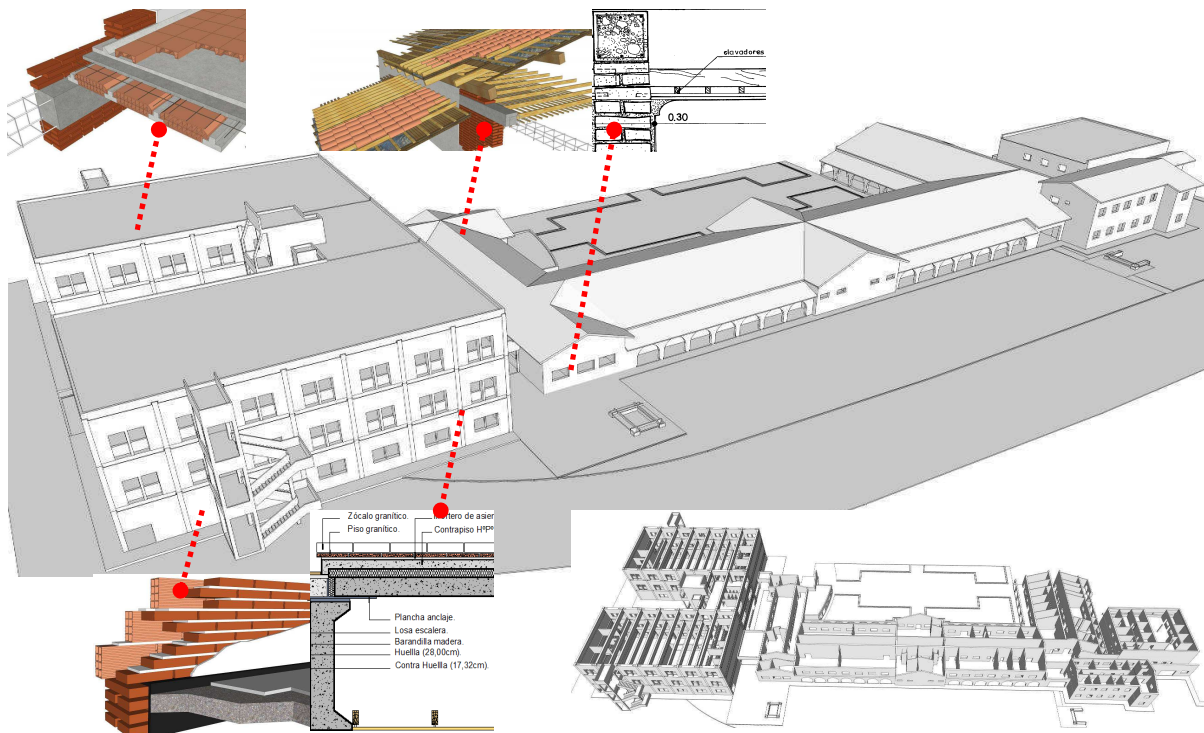


Figura 2: Volumetría y resoluciones constructivas del edificio de la FAU – UNNE. Sector antiguo: techos de tejas coloniales sobre estructura de madera; cielorraso independiente a la cal y muros de ladrillos macizos comunes de 30 cm. Sector nuevo: muros compuestos de ladrillos huecos de 8x18x33cm. (exterior), cámara de aire y ladrillos comunes macizos de 0,18m. de espesor (interior). Estructuras portantes prefabricadas de hormigón armado. Entrepisos y azoteas accesibles de H°A°.

En cuanto a su tecnología constructiva, presenta:

1. Un sector “original” o “antiguo”, resuelto mediante técnicas artesanales tradicionales: muros de mampuestos comunes macizos de 0,30 m. de espesor, revocados exterior e interiormente y cubiertas de tejas cerámicas tipo coloniales sobre estructura de madera (figura 2).

2. Un sector “nuevo”, anexado en la década del '90 (consiste en dos bloques de tres niveles cada uno, unidos por un bloque principal -hall y conector-), resuelto mediante estructuras portantes prefabricadas de hormigón armado, muros dobles con cámara de aire y muros de múltiples capas, para los diferentes niveles (figura 2).

ANÁLISIS PREVIOS Y VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS HIGROTÉRMICOS NORMATIVOS. PRIMER MONITOREO TÉRMICO EN INVIERNO.

Se realizó un análisis funcional, espacial y técnico – constructivo del edificio, que permitió definir diferentes paquetes de locales y sectores, agrupando funciones, patrones de ocupación y tecnologías constructivas homogéneas. A partir de dicha zonificación básica se definió una muestra de locales representativos de las diferentes zonas, quedando determinado que los monitoreos térmicos se realizarían en las 6 aulas indicadas en las figuras 3, 4 y 5 (Aulas 4 y 6 y Talleres 7, 8, 10 y 11), en las que además se esquematiza la distribución en planta de los sensores de temperatura. Los criterios de selección de la muestra de locales se relacionaron con la necesidad de inclusión de las diferentes tecnologías constructivas de la envolvente del edificio, de representatividad en cuanto a las frecuencias de uso y cantidades de usuarios diarios/mensuales, entre otros (Alfías et al, 2011). En Julio de 2011 se realizó la primera campaña de medición de temperaturas en los 6 locales definidos.

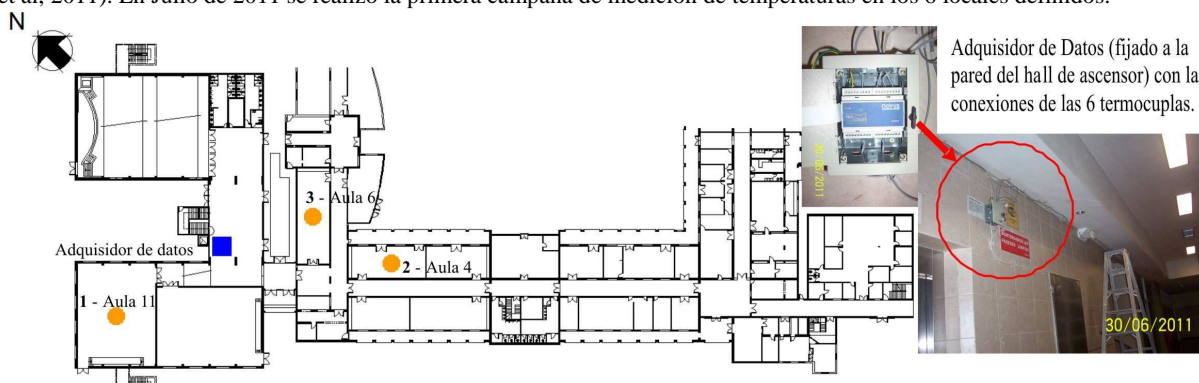


Figura 3: Esquema e imágenes de distribución de los sensores de temperatura y registrador en Planta Baja – FAU – UNNE.

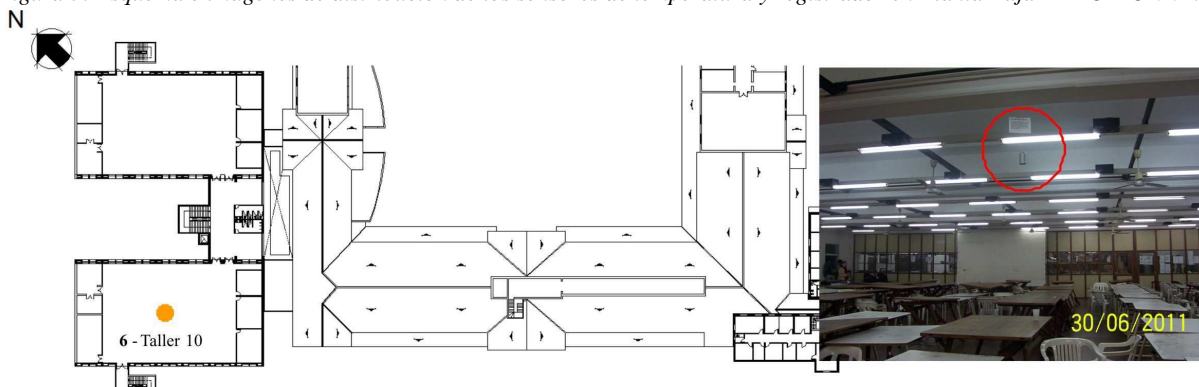


Figura 4: Esquema e imagen de distribución de los sensores de temperatura en Planta 1° piso – FAU – UNNE.

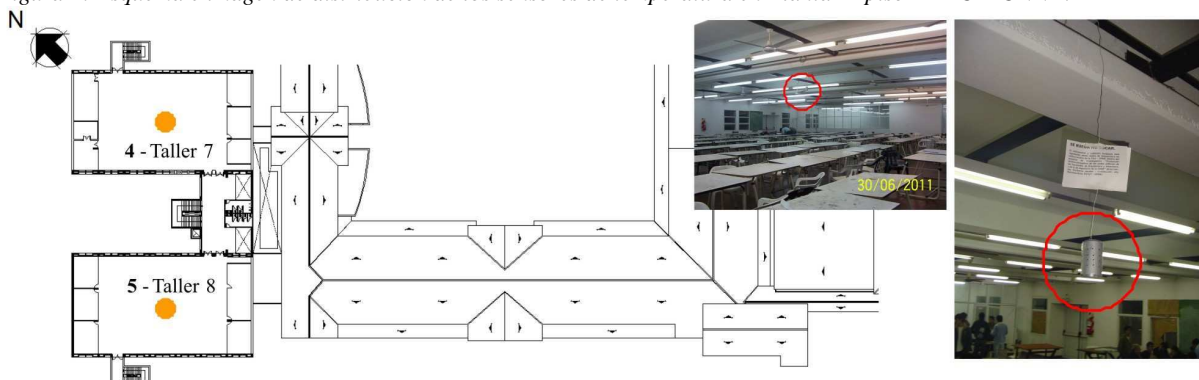


Figura 5: Esquema e imágenes de distribución de los sensores de temperatura en Planta 2° piso – FAU – UNNE.

Asimismo, se aplicaron las verificaciones higrotérmicas (según normas IRAM 11601, 11605, 11625, 11630, 11507-1 y 11507-4) a los componentes de las envolventes de los locales de la muestra definida, que se sintetizan en la tabla I. Básicamente, se verificó una baja resistencia térmica de la envolvente en general, la existencia de puentes térmicos (discontinuidades) importantes en muros y techos del sector “nuevo” y patologías en cuanto al estado de mantenimiento

(deterioro) y modalidad de uso de las carpinterías (apertura indiscriminada sin criterios de ventilación selectiva).

Locales	Muros exteriores	Transm. Térmica (W/m ² K)	Estación	Categoría (s/IRAM 11605)	Techos	Transm. Térmica (W/m ² K)	Estación	Categoría (s/IRAM 11605)	Carpinterías	Transm. Térmica (W/m ² K)	Categoría (s/IRAM 11507-4)
1 - Aula 11 (zona 1)	Ídem talleres 7, 8, 10	0,96	Verano	"C"	Entrepiso losa H°A°	-	-	-	Ídem talleres 7 - 8 y 10	6,00	No clasificable (K>4)
			Invierno	"C"							
2 - Aula 4 (zona 12)	Ladr. comunes (e=0,30 m), c/revoque en ambas caras.	1,87	Verano	"C"	Tejas coloniales s/estruct. madera. Cielorras o indep. a la cal.	0,94	Verano	No clasifica (K>0,72)	De 3 hojas de abrir, c/ vidrio simple 4mm. Marcos de chapa N°18, c/postigones madera semidura.	5,98	No clasificable (K>4)
Invierno			No clasifica (K>1,85)								
3 - Aula 6 (zona 7)											
4 - Taller 7 (zona 36)	Ladr. huecos 8x18x33+ CA+Ladr. comunes e=0,18m.	0,96	Verano	"C"	Azotea accesible losa H°A°	0,50	Verano	"C"	Marcos y hojas de chapa N°16 y vidrio simple 4mm repartido en hojas.	6,00	No clasificable (K>4)
5 - Taller 8 (zona 32)			Invierno	"C"							
6 - Taller 10 (zona 24)											

Tabla 1: Algunos parámetros tecnológicos e higrotérmicos de las envolventes de las aulas monitoreadas. Fuente: Aliás, H. M. et al (2011). Monitoreo térmico de aulas de la Facultad de Arquitectura de la UNNE (Resistencia, Chaco) en días de invierno y condiciones reales de ocupación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA), Vol. 15, pp 07.82 a 07.89. Argentina. ISSN 0329-5184.

MONITOREO TÉRMICO DE VERANO: METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El monitoreo térmico de la muestra definida, durante días con temperaturas representativas de la estación cálida, se realizó en el período comprendido entre el 08 y el 23 de Marzo de 2012 (16 días corridos, las 24 hs. de cada día). Las aulas estuvieron en condiciones de uso normal durante el monitoreo (los días 10 - 11 y 17 - 18 de marzo 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). De los 6 locales, sólo las Aulas 4 y 6 poseen equipos de climatización electromecánicos, aunque no estuvieron en funcionamiento durante el período de monitoreo. 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 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 (NOVUS FIELD LOGGER, de 8 canales analógicos, conversor y software de adquisición de datos). Las mediciones de datos de HR 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 termoelectrónico (marca EPPELEY, tipo PSP N° 30155 F3). Los sensores de temperatura se ubicaron "colgados" del centro del cielorraso de cada local, a una altura aproximada de 2,10 m. del piso.

Resultados. Hasta el 13 de marzo se registraron temperaturas exteriores de entre 29 °C y 40 °C, con valores de entre 42 y 62% HR ambiente exterior (fig. 6), representativas de días de verano extremo y moderados de la ciudad de Resistencia, en tanto que a partir del 13 de marzo en horas de la noche se produjo un descenso brusco de temperatura, con mínimas de 18°C y máximas de 33°C, con valores de HR de entre 35% y 85%. Se registraron valores de irradiación solar global (sobre sup. horizontal) máximos promedio de 900 W/m² (entre el 8 y el 19 de marzo, días de cielo claro) y extremos de 1035 W/m², para las 13,30 hs. aproximadamente. Entre el 20 y el 22 de marzo (días de cielo nublado) los valores de irradiación solar global no superaron máximas de 400 W/m².

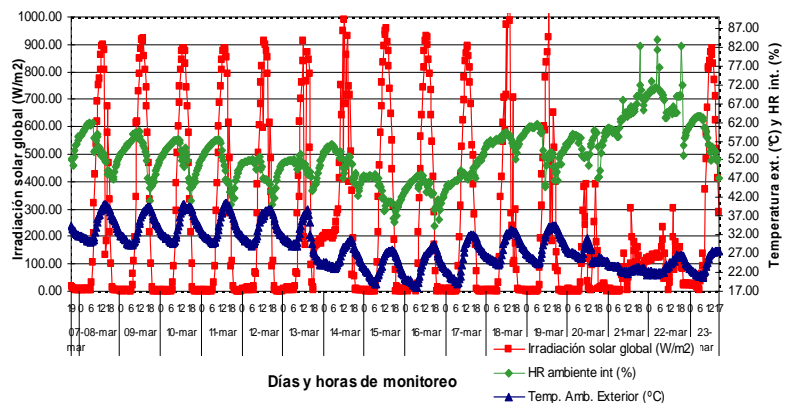


Figura 6: Registros de temperatura exterior, HR exterior e irradiación solar global en Resistencia, entre el 08/03/12 y el 23/03/12.

Los valores de temperaturas interiores de las 6 aulas monitoreadas, durante el período de registro, se exponen en la figura 7. Entre el 8 y el 13 de marzo, días de los registros térmicos exteriores más altos, las temperaturas de las 6 aulas se mantuvieron, durante las 24 hs. de cada día, entre los 32°C y los 37°C, esto es, entre 3 y 8°C por encima del límite superior de la banda de confort fijada (19°C - 29°C). Tan sólo entre el 15 y el 17 de marzo y luego a partir del 21 de marzo, las

temperaturas mínimas de los locales descendieron hasta los 26,5°C (en horas de mínima exterior, a las 6,00 hs. aprox.), en coincidencia, aunque con retraso de un día, con el brusco descenso de la temperatura exterior iniciado el 13 de marzo. No obstante, durante este lapso, las medias y máximas interiores se mantuvieron en el orden de los 30°C a 35°C respectivamente, es decir, por encima del límite superior confortable fijado.

Las máximas temperaturas interiores se registraron con un retraso de 3 a 4,5 hs. con respecto a las máximas exteriores (que ocurren a las 15,00 hs. aproximadamente). La *amplitud térmica exterior diaria* registrada fue de 10°C para el 8 de marzo (uno de los días más cálidos registrados) y de 5°C para el 15 de marzo (día menos cálido registrado); en tanto que la *amplitud térmica interior promedio diaria* registrada fue de 5°C. La figura 8 muestra la evolución de temperatura de las 6 aulas monitoreadas para los días más cálidos registrados (8, 9 y 10 de marzo).

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., ver figura 9), presentó en general las temperaturas más bajas con respecto a los otros locales, durante las 24 hs. El *Taller 7* (último piso, bloque nuevo) también presentó temperaturas levemente más bajas que el resto, especialmente en horas de la madrugada.

El *Taller 10*, presenta la particularidad de que registró picos de temperaturas mínimas mucho más bajas que las del resto de los locales, casi en coincidencia con las mínimas exteriores registradas, situación que, según la observación directa realizada durante los días de monitoreo, puede deberse a la apertura casi total de las ventanas exteriores durante las 24 hs. del día.

El *Taller 8* (último piso, bloque nuevo), al NO y SO, registró las temperaturas más altas de la serie monitoreada (de hasta 1°C más que las otras aulas), seguido por los *Talleres 10 y 11* (1° piso y planta baja, respectivamente, del bloque nuevo) y el *Aula 6* (sector antiguo). Hay que mencionar que los *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.

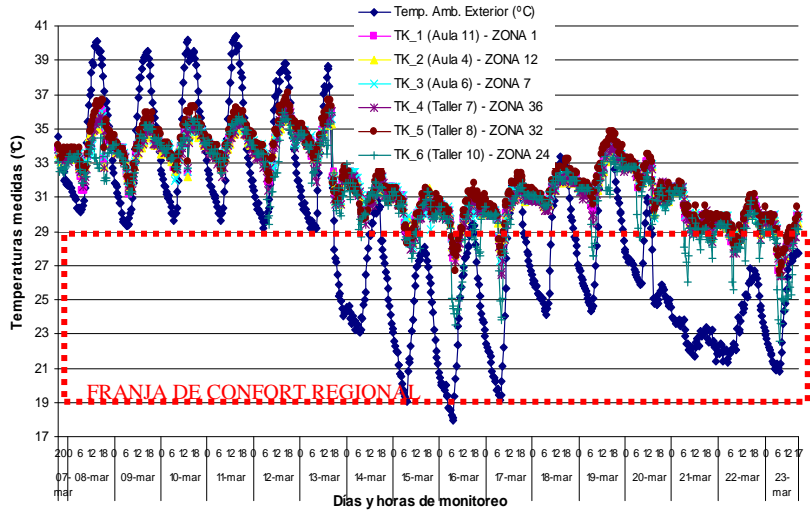


Figura 7: Evolución de temperaturas interiores medidas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante el periodo del 08/03 al 23/03/2012.

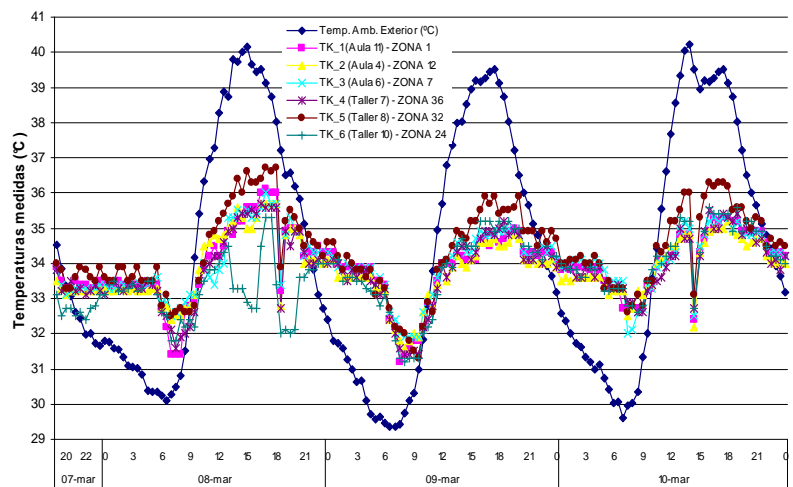


Figura 8: Evolución de temperaturas interiores monitoreadas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante los días 8, 9 y 10 de marzo de 2012.

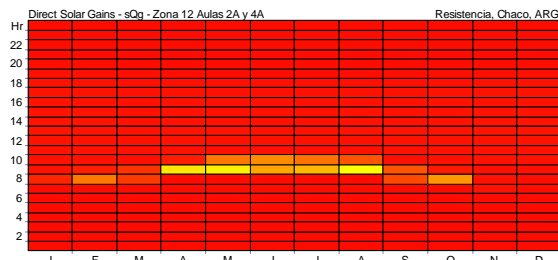


Figura 9: Representación estimativa de las escasas ganancias térmicas anuales por irradiación solar directa del Aula 4 (sector antiguo u original), según simulación mediante ECOTECH.

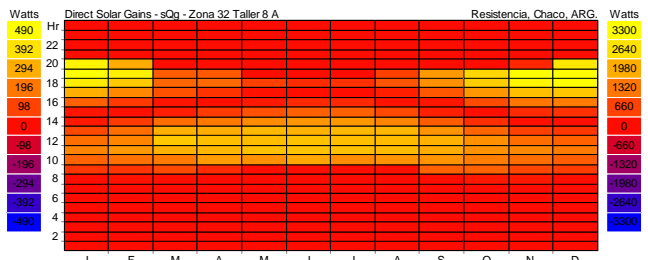


Figura 10: Representación estimativa de las ganancias térmicas anuales por irradiación solar directa del Taller 8 (último-piso del bloque nuevo), según simulación mediante ECOTECH.

SIMULACIÓN DE VERANO CON ECOTECH: MODELIZACIÓN, METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Se realizó una simulación dinámica de desempeño térmico del edificio de la FAU – UNNE con el programa ECOTECH (Marsh, 2003) para el mismo período monitoreado (del 08/03/2012 al 23/03/2012), según la zonificación ya planteada y ajustando los datos y parámetros, en el modelado de cada local, 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, patrón de apertura de carpinterías exteriores, según horas y días) durante los días de monitoreo in situ, a efectos de lograr mayor precisión del modelo físico. Se introdujeron los datos de variables ambientales de la ciudad de Resistencia (aportados por la estación meteorológica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE, situada en el mismo Campus), para el período del 04/03/12 al 25/03/12, al archivo de clima de dicha ciudad, a través del módulo *The Weather Tool*, de ECOTECH. Dichas variables ambientales fueron: valores horarios medidos de irradiación solar global sobre superficie horizontal, temperatura ambiente y HR exteriores. Esto se realizó con el objetivo de lograr un mayor ajuste de la simulación a las condiciones reales registradas durante el monitoreo.

Con el modelo físico ingresado a ECOTECH, según la distribución de locales expuesta (figs. 3, 4 y 5), 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. 10 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 08/03/2012 al 23/03/2012. 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. Las 6 aulas de la muestra definida presentaron temperaturas, hasta el día 13/03, que durante las 24 horas de cada día se mantuvieron entre 4°C y 10°C por encima de la máxima confortable definida para verano (29°C), registrando mínimas de 33 °C y máximas de 38,7°C (figura 11). A partir del 15/03 (luego de que la temperatura exterior iniciara un brusco descenso en la tarde del 13/03, hasta alcanzar una mínima de 18°C el 16/03), las temperaturas internas de las aulas empezaron a registrar máximas de 29 - 30°C y se mantuvieron casi las 24 hs. dentro de la franja prefijada de confort.

La diferencia más notoria respecto al monitoreo reside en que las temperaturas simuladas se mantuvieron muy cercanas, durante todo el período simulado, a los picos máximos de temperatura exterior, lo que representó, por un lado, peores condiciones para el período más caluroso registrado (del 08 al 13/03, por obtenerse temperaturas internas 2 a 3°C más elevadas que las monitoreadas) y por el otro, mejores condiciones para el período menos riguroso (del 15 al 17/03, por obtenerse temperaturas máximas internas que descendieron casi junto al descenso de las máximas exteriores, quedando diariamente dentro de las condiciones confortables definidas). Otra diferencia respecto del monitoreo, es que las evoluciones térmicas de cada local acusaron diferencias más marcadas entre sí, de hasta 2,5°C, a igualdad de día y horario (figura 12).

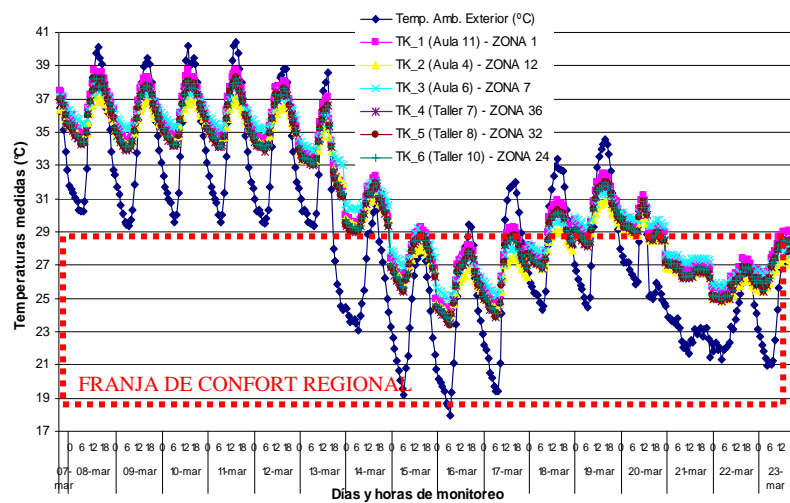


Figura 11: Evolución de temperaturas interiores simuladas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante el período del 08/03 al 23/03/2012.

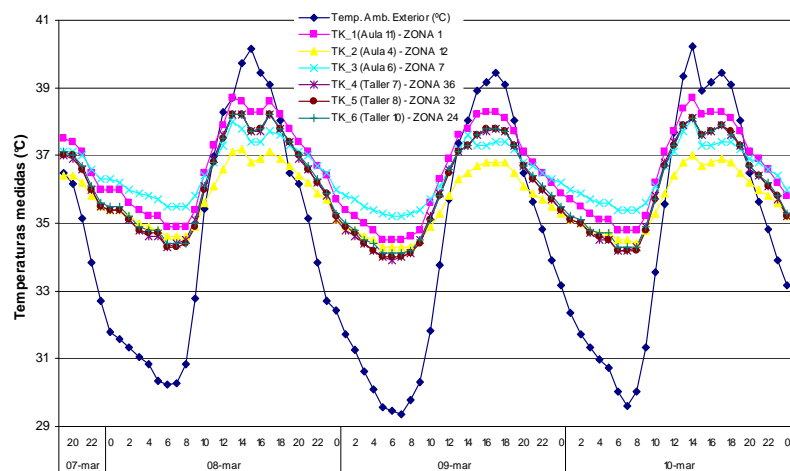


Figura 12: Evolución de temperaturas interiores simuladas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante los días 8, 9 y 10 de marzo de 2012.

La simulación arrojó la situación más desfavorable (temperaturas más altas) para el Taller 11 (a diferencia del monitoreo, en que las temperaturas más altas correspondieron al Taller 8), seguido por el Taller 8 (que entre las 10 y las 22 horas ocupa el segundo lugar en cuanto a temperaturas más altas, pero entre las 0 y las 10 hs. presenta, con el Aula 4, las temperaturas más bajas del registro) y por el Aula 6 (que presenta en la simulación una situación térmica bastante más desfavorable con respecto al monitoreo). Las temperaturas más bajas se presentaron para el Aula 4 (en concordancia con el monitoreo) y el Taller 8, éste último con la particularidad ya expuesta (mínimas de la serie sólo durante la franja horaria comprendida entre la 0 y las 10 hs.).

La mayor discrepancia de los resultados de la simulación respecto a los del monitoreo lo constituye el hecho de que las temperaturas máximas de toda la serie simulada resultan entre 2 y 3,5°C más altas que las temperaturas máximas de la serie de temperaturas medidas.

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. Se ha verificado reiteradas veces el patrón ingresado en la modelización respecto a superficie y horarios de apertura de carpinterías exteriores, que resulta uno de los factores de más difícil modelización y de gran incidencia en las cargas por infiltraciones (“ventilación”), no habiéndose podido determinar aún la causa del desajuste expuesto.

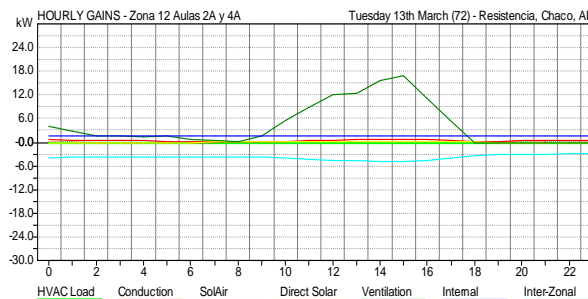


Figura 13: Cargas térmicas horarias para el Aula 4, el día 13/03.

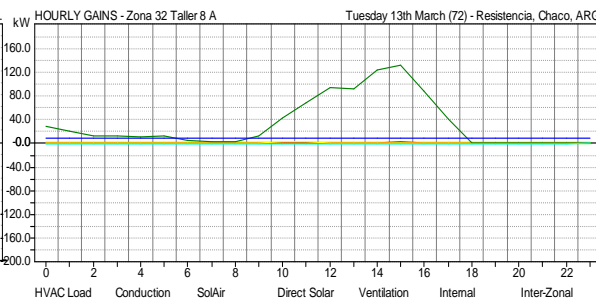


Figura 14: Cargas térmicas horarias para el Taller 8, el día 13/03.

Las figuras 13 y 14 muestran las cargas térmicas horarias (ganancias y pérdidas), según ECOTECT, para el día 13/03 (uno de los más cálidos del período monitoreado, previo al descenso térmico brusco que se produjo ese mismo día en horas de la noche), para el Aula 4 y el Taller 8 respectivamente, locales que resultaron con las temperaturas mínimas (el Aula 4, tanto para el monitoreo como para la simulación) y máximas (Taller 8, sólo 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 (ver figura 9), las ganancias térmicas (figura 13) están representadas fundamentalmente por la ventilación (apertura de ventanas exteriores entre las 10 y las 18 hs, es decir, en horarios en que las temperaturas exteriores son máximas) y en muy baja proporción por los aportes internos (presencia de los alumnos, encendido de luminarias y equipos, etc.). También para el Aula 4, se registraron pérdidas térmicas considerables por las “adyacencias interzonales”, es decir, por la transmisión de la temperatura a las zonas adyacentes que la rodean (otra aula y espacios circulatorios –pasillos-). Para el Taller 8 (figura 14), las mayores ganancias se deben a la ventilación, siendo menores, en proporción, las debidas a aportes internos, y muy reducidas las debidas a “adyacencias interzonales” (este taller presenta una situación de perímetro casi completamente libre).

GRADO DE AJUSTE ENTRE MONITOREO Y SIMULACIÓN

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 15). En general, se obtuvieron razonables niveles de ajuste para el período simulado y monitoreado (que no obstante resultaron menores a los obtenidos para el período invernal monitoreado y simulado en Julio de 2012):

- ◆ Simuladas Aula 11
- ◆ Medidas Aula 4
- ▲ Simuladas Aula 4
- × Medidas Aula 6
- × Simuladas Aula 6
- Medidas Taller 7
- + Simuladas Taller 7
- Medidas Taller 8
- Simuladas Taller 8
- Medidas Taller 10
- Simuladas Taller 10
- Lineal (Simuladas Aula 11) $R^2 = 0.80$
- Lineal (Simuladas Aula 4) $R^2 = 0.81$
- Lineal (Simuladas Aula 6) $R^2 = 0.80$
- Lineal (Simuladas Taller 7) $R^2 = 0.80$
- Lineal (Simuladas Taller 8) $R^2 = 0.80$
- Lineal (Simuladas Taller 10) $R^2 = 0.77$

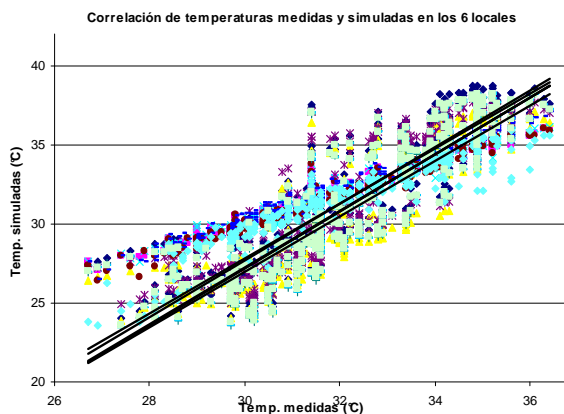


Figura 15: Correlación entre temperaturas medidas y simuladas, para las seis aulas de la muestra definida, durante el período del 08/03 al 23/03/2012.

Los coeficientes de correlación, si bien resultan razonables, evidencian menor ajuste que los obtenidos para el monitoreo y simulaciones de invierno, que resultaron del orden de 0,82 a 0,88 (Alfías et al, 2011). El mayor ajuste se logró para el Aula 4 (coeficiente de correlación de 0,81), en tanto que el menor resultó para el Taller 10 (coeficiente de correlación de 0,77), por lo que deberá continuarse el estudio de la optimización necesaria en la modelización física de estos locales.

Las figs. 16 y 17 muestran la correlación entre temperaturas medidas y simuladas para dos de los locales auditados (Aula 4 y Taller 8), destacándose en ambos casos las mayores amplitudes térmicas obtenidas mediante la simulación, así como la tendencia de la serie simulada a mantener las máximas temperaturas casi coincidentes con los picos máximos exteriores. Se observan diferencias térmicas significativas de hasta +4 °C y -5 °C de las temperaturas simuladas con respecto a las

monitoreadas, independientemente de la tecnología constructiva de la zona edilicia de que se trate (la del del sector “original” o la del bloque “nuevo”).

Tales diferencias máximas, si bien no registran un “patrón horario de ocurrencia” (como sí se detectó en el monitoreo invernal, en que los desajustes máximos se registraron entre las 3 y las 6 hs., en concordancia con los horarios de registro de las mínimas temperaturas exteriores y sin ocupación de los locales), se manifiestan con las siguientes particularidades:

- **Hasta el 13 de marzo** (día en que se produjo el descenso brusco de temperatura en horas de la tarde – noche): las mayores diferencias entre las temperaturas simuladas y las medidas ocurren en las horas de máximas temperaturas exteriores (entre las 13 y las 16 hs. aproximadamente), en que las temperaturas simuladas resultan hasta 3°C superiores a las temperaturas medidas y muy próximas a las máximas exteriores (y con menor retraso que las temperaturas medidas), posiblemente por el hecho de que las ventanas exteriores de los locales se mantuvieron abiertas durante todo este lapso, circunstancia que fue ingresada, con sucesivos ajustes, a la modelización física con ECOTECT (que se verifica en las cargas térmicas por “ventilación” mostradas en las figuras 13 y 14), aunque sin lograr aumentar el ajuste de los resultados simulados con respecto a las mediciones efectuadas.
- **A partir del 14 de marzo:** las mayores diferencias entre las temperaturas simuladas y las medidas ocurren en las horas de mínimas temperaturas exteriores (entre la 1 y las 6 hs. aproximadamente), en que las temperaturas simuladas resultan hasta 4°C inferiores a las temperaturas medidas y aproximadamente unos 4°C por debajo de las máximas exteriores (que en este lapso, luego del descenso térmico del 13 de marzo, se mantuvieron entre 28 y 34°C) y con mayor amplitud térmica respecto a las temperaturas medidas. También ello sería atribuible al estado de apertura casi permanente de las ventanas exteriores.

Estos desajustes conducen a nuevas líneas de investigación respecto al funcionamiento del programa, a fin de detectar si el desajuste se debe a errores del modelo físico-geométrico ingresado o al método de cálculo en sí mismo del programa ECOTECT.

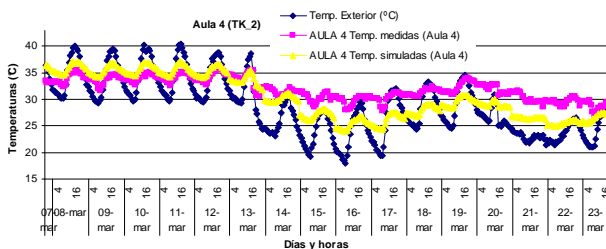


Figura 16: Comparación entre temperaturas medidas y simuladas en el Aula 4, entre el 08/03 y el 23/03/2012.

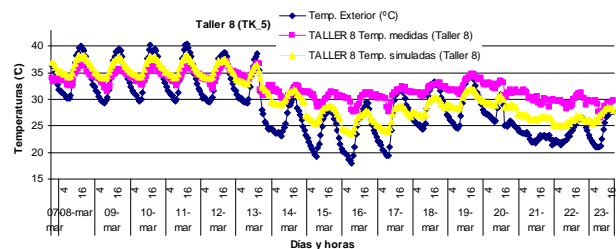


Figura 17: Comparación entre temperaturas medidas y simuladas en el Taller 8, entre el 08/03 y el 23/03/2012.

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 16 días corridos de la estación estival, se han detectado problemas o deficiencias higrotérmicas, con temperaturas interiores que, durante el 95% del período de registro se hallaron por encima del límite superior de la franja de confort regional definida (19°C – 29°C), tanto según el monitoreo como según las simulaciones. Por los resultados obtenidos, el edificio monitoreado, 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 deficiente durante días de verano típicos de la zona “I” (muy cálida), subzona “b” (amplitudes térmicas menores a 14°C), que demandaría climatización artificial durante los horarios de ocupación. Este desempeño térmico durante el período caluroso evidencia condiciones más deficientes que las registradas para el período frío, detalladas en trabajos anteriores (Alfías et al, 2011), en que el porcentaje de tiempo fuera de las condiciones de confort definidas no superó el 64%.

Se ha encontrado que el grado de ajuste y aproximación entre los resultados simulados respecto de los monitoreados, si bien aún resulta razonable (R^2 del orden de 0,77 a 0,81), es inferior respecto al ajuste obtenido durante el monitoreo invernal previo realizado (R^2 del orden de 0,82 a 0,88). De ello se infiere que la modelización física utilizada para las simulaciones es válida, aunque susceptible de ser optimizada (se detectan diferencias de hasta +4/-5°C entre las temperaturas simuladas respecto a las medidas, en los períodos 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). Aún así, se infiere que es posible generalizar los resultados obtenidos mediante la simulación, incluyendo en el análisis a los locales no monitoreados, con un razonable nivel de confiabilidad, aunque aplicando a los horarios sin ocupación, que son aquéllos en los que se producen las mayores discrepancias, un factor de corrección.

En función de los resultados obtenidos, se hacen necesarias propuestas de mejoramiento de las envolventes de los locales, que optimicen el desempeño térmico del edificio, sobre todo en la época cálida, y que contribuyan a la reducción del consumo eléctrico para climatización artificial, 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, así como la provisión de dispositivos de control de incidencia de radiación solar, especialmente en aberturas.

Se detectaron situaciones derivadas de un desconocimiento de las ventajas de una ventilación selectiva, como la apertura permanente de ventanas, aún en horas del mediodía y la siesta, cuando las temperaturas externas experimentan los picos

máximos. Por ello 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.

Actualmente se está concluyendo el monitoreo térmico invernal, con ocupación efectiva, del edificio de la Facultad de Ingeniería de la UNNE, ubicada en el mismo Campus que la de Arquitectura, estando prevista también la realización en él de un próximo monitoreo durante la época cálida (que en nuestra zona bioambiental representa la estación más crítica, en términos de confort higrotérmico) durante períodos de similar extensión a los ya realizados para la FAU.

Se espera que estos estudios experimentales constituyan una base de validación de modelos teóricos mediante simulación dinámica, útiles para la evaluación, tanto de locales como de períodos del año no monitoreados. Se prevé que la metodología empleada permitirá completar un diagnóstico de situación, en función del cual sea posible orientar propuestas de diseño para una 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 de edificios educativo - institucionales, como el del caso analizado.

REFERENCIAS

- Alías, H. M. et al (2011). *Monitoreo térmico de aulas de la Facultad de Arquitectura de la UNNE (Resistencia, Chaco) en días de invierno y condiciones reales de ocupación*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA), Vol. 15, pp 07.82 a 07.89. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Alías, H. M. et al (2011). *Simulaciones de desempeño térmico de aulas de la Facultad de Arquitectura de la UNNE y contrastación con mediciones en días de invierno*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA), Vol. 15, pp. 05.37 a 05.45 Argentina. ISSN 0329-5184.
- Boutet, M. L. et al (2010). *Monitoreo higrotérmico del jardín materno infantil de la UNNE y simulación mediante ECOTECH, en condiciones reales de uso*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 14. Argentina. ISSN 0329-5184. Pp. 05.17 - 05.24.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM). Normas Técnicas Argentinas: 11601: 1996; 11603: 1996; 11605: 1996; 11625: 2000; 11630:2000; 11507-1:2001; 11507-4:2010. Buenos Aires, Argentina.
- Marsh, A. J. (2003). ECOTECH Tutorials. Square One research Pty Ltd. Traducción propia.

ABSTRACT: This work presents the thermal monitoring's results, contrasted with simulations by ECOTECH, of six classrooms of the building of Architecture and Urbanism Faculty (FAU) of Northeast National University (UNNE) during a period of 15 summer days, in Resistencia city. The objective was to validate the results of the simulations and to detect potential thermal discomfort problems and complete a diagnosis of hygrothermal situation, whose first stage was the previous monitoring and simulations of the same building during a period of July 2011. As the results, the monitored building, which is a traditional building type, representative of many institutional buildings of the '50s (on active duty in several Argentine provinces), is a case of poor thermal performance during typical summer days in the "Ib" zone, with indoor temperatures above the upper defined comfort limit, during 95% of monitoring time.

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