

# AUDITORÍAS HIGROTÉRMICAS DE EDIFICIOS SEGÚN SU DISEÑO TECNOLÓGICO - CONSTRUCTIVO: EL CASO DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNNE

*HYGROTHERMAL AUDITING OF BUILDINGS ACCORDING TO TECHNOLOGICAL-STRUCTURAL DESIGN. CASE STUDY: COLLEGE OF ARCHITECTURE AT UNNE*

**ALÍAS, Herminia M./ JACOBO, Guillermo J./ MARTINA, Pablo E./ CORACE, Juan J.**

Alías, Herminia M./ Jacobo, Guillermo J. Docentes - Investigadores SGCyT - UNNE. Cátedra ESTRUCTURAS II. Área de la Tecnología y la Producción. Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU). Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). E-mail: heralias@arq.unne.edu.ar / gjjacobo@arq.unne.edu.ar.

Martina, Pablo E./ Corace, Juan J. Docentes - Investigadores SGCyT - UNNE. Grupo de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables (GIDER). Dpto. de Termodinámica. Facultad de Ingeniería (FI) Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)

Palabras Clave: Evaluación Higrotérmica - Simulaciones - Monitoreo - FAU -UNNE  
*Keywords: Hygrothermal Assessment – Simulations – Surveillance – FAU-UNNE*

## RESUMEN

Se exponen los resultados de mediciones higrotérmicas, contrastadas con simulaciones mediante ECOTECT, de aulas del edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste, durante períodos de verano y de invierno, en la ciudad de Resistencia, Chaco. El objetivo fue detectar posibles problemas de discomfort y completar un diagnóstico de situación higrotérmica, cuya primera etapa la constituyó el relevamiento y análisis técnico – constructivo, funcional, situacional y espacial del citado edificio. También se buscó validar los resultados de las simulaciones realizadas y poder generalizar los resultados obtenidos, así como ampliar el análisis, incluyendo a locales no monitoreados.

## ABSTRACT

*Results are shown of hygrothermal measurements -contrasted with ECOTECT simulations- taken in classrooms at the Architecture and Urbanism College of the Universidad Nacional del Nordeste during summer and winter in Resistencia city, Chaco. The aim was to detect possible discomfort issues and complete a hygrothermal assessment, the first stage of which was the evaluation and technical analysis –structural, functional, situational and spatial– of said building. It was also sought to validate the results of simulations and make them public, as well as to broaden the analysis to include non-surveilled locations.*

## INTRODUCCIÓN

A partir de la consideración de metodologías aplicadas y resultados obtenidos en doce años de trabajos de investigación desarrollados por el equipo de la cátedra Estructuras II – FAU – UNNE en temáticas interrelacionadas referidas a la eficiencia energética y ambiental de la construcción, se considera haber acumulado cierta experiencia en el manejo de metodologías y herramientas diversas para el abordaje de la cuestión de la sustentabilidad de la construcción y para la operacionalización de diversas variables relacionadas con la cuestión higrotérmica, energética y ambiental, como para encarar la tarea de analizar, catalogar, sistematizar e interrelacionar resultados obtenidos, herramientas empleadas y desarrollos y avances generados, con miras al desarrollo de una metodología de evaluación edilicia, según criterios de sustentabilidad y eficiencia energético – ambiental en el Nordeste Argentino (NEA).

En el presente trabajo se expone puntualmente la temática del ahorro de energía eléctrica para climatización de edificios a partir de evaluaciones del diseño tecnológico e higrotérmico de sus envolventes constructivas perimetrales, su morfología, orientaciones y disposición de aventanamientos y áreas acristaladas, con verificaciones mediante mediciones experimentales *in situ*, contrastadas con simulaciones dinámicas.

De estas auditorías surgen, en instancias posteriores, los criterios de mejoramiento que hay que aplicar para efectivizar los ahorros de energía estimados. 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”, el cual dispuso que los diversos organismos oficiales del Estado participen en él y se adecuen a sus directivas.

En función de ello, el Ministerio de Educación y

Cultura de la Nación, en la Resolución N.º 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”, 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.

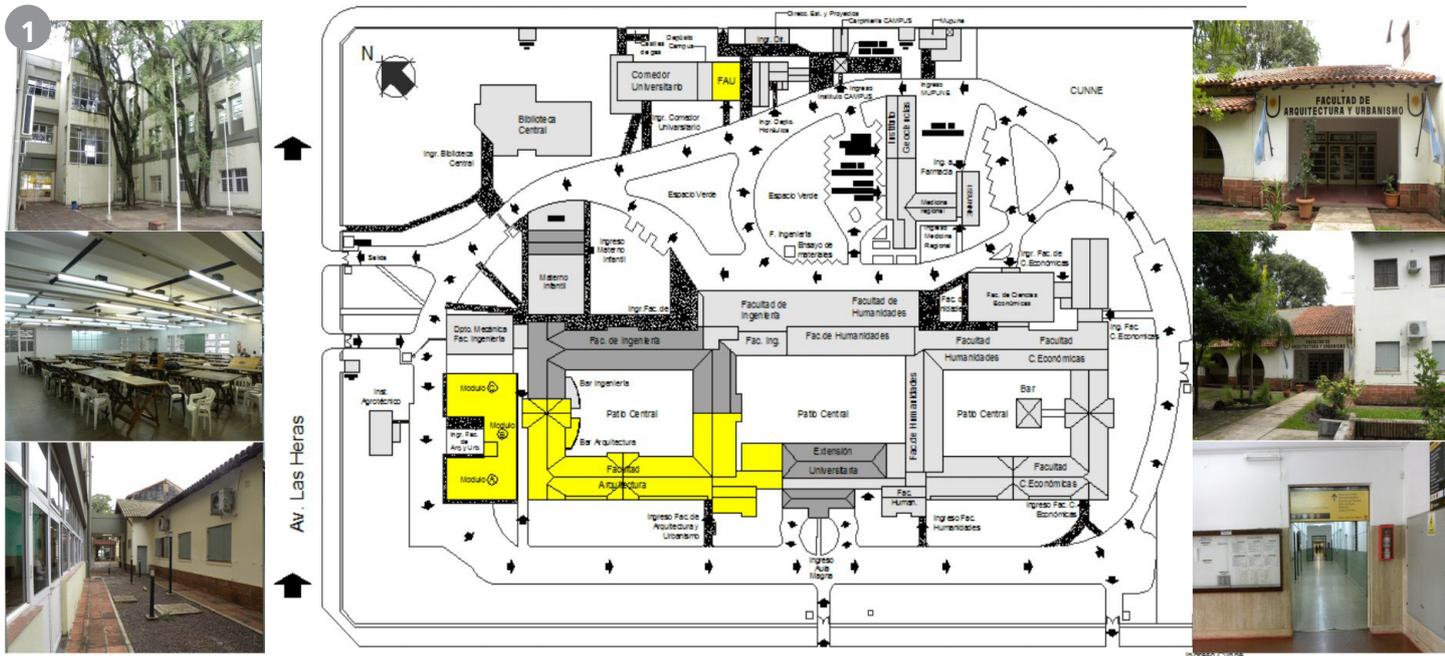
El objetivo del citado proyecto - macro es elaborar un diagnóstico de situación, para proponer, en función de esto, criterios de optimización tendientes a lograr una reducción del consumo anual de electricidad, sin disminuir las condiciones de habitabilidad de los espacios interiores.

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 (ALÍAS *et ál*, 2011).

Por otra parte, se intentan 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 períodos 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.

Cabe aclarar que 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

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” (izq.).



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.

## OBJETIVOS

El objetivo del trabajo que aquí se expone, como contribución al proyecto en el que se inserta, es detectar posibles problemas de disconfort y completar un diagnóstico de situación higrotérmica del edificio de la FAU - UNNE, cuya primera etapa la constituyó el relevamiento y análisis técnico – constructivo, funcional, situacional y espacial del citado edificio. También se buscó validar los resultados de las simulaciones realizadas y poder generalizar los resultados obtenidos.

## EL 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. 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 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 (ALÍAS *et ál*, 2011). (Fig. 1).

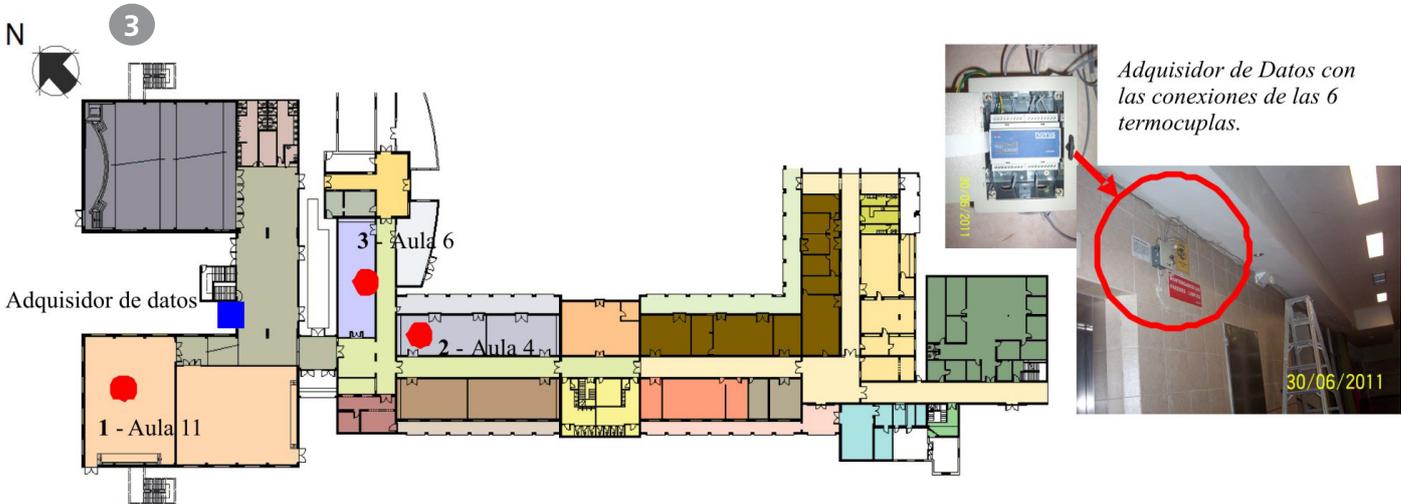
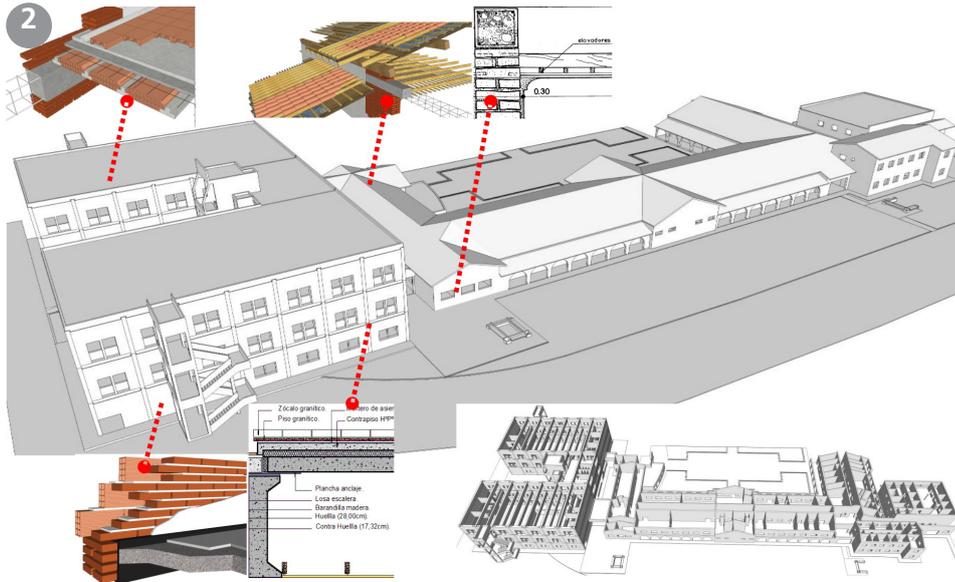
**En cuanto a su tecnología constructiva, presenta:**

**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. (Fig. 2).

**2. Un sector “nuevo”,** anexo 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. (Fig. 2).

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°. Fuente: ALÍAS, H. M. et ál; 2012.

3. Zonificación Planta Baja – FAU – UNNE y distribución de los sensores térmicos y módulo registrador.



## ANÁLISIS PREVIOS Y VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS HIGROTÉRMICOS NORMATIVOS

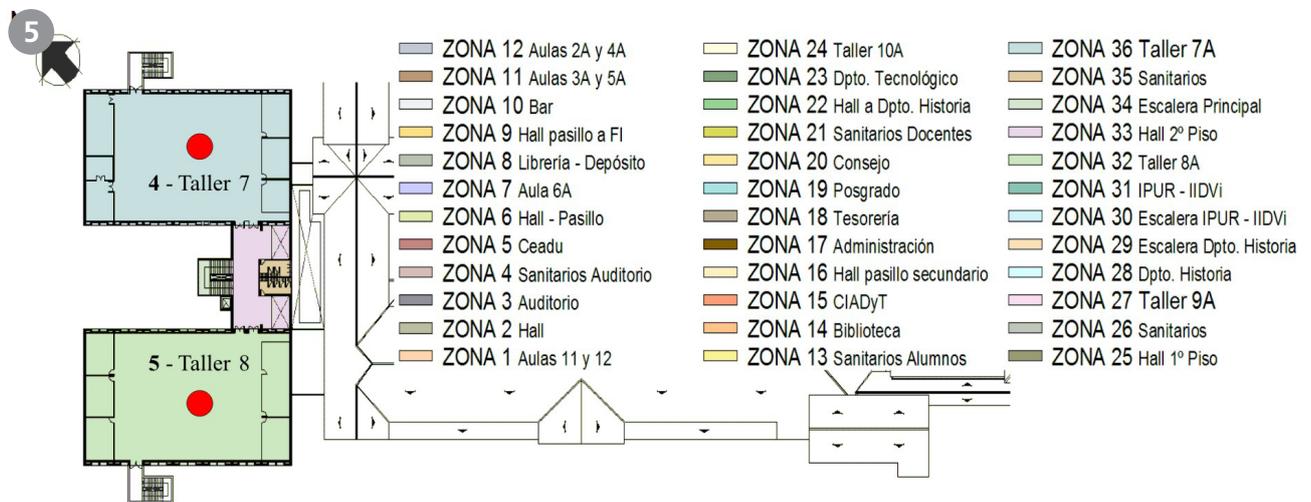
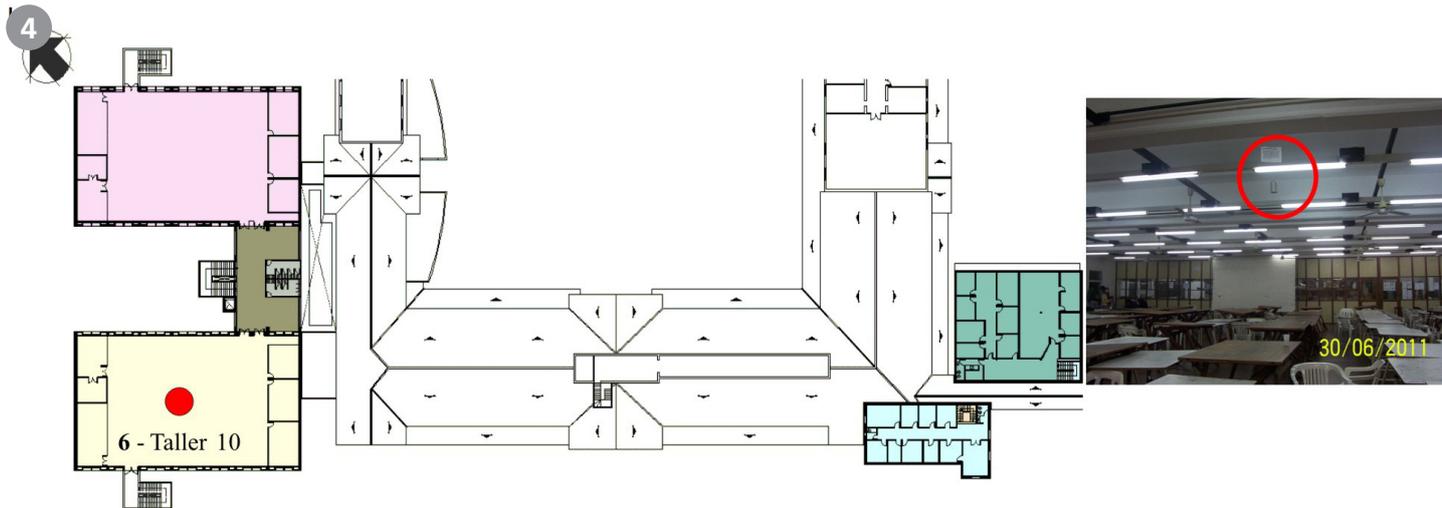
Se realizó un análisis funcional, espacial y técnico – constructivo del edificio, que permitió definir diferentes paquetes de locales y sectores, agrupando funciones, patrones de ocupación y tecnologías constructivas homogéneas (CORONEL *et ál.* 2011). A partir de dicha zonificación básica se definió una muestra de locales representativos de las diferentes zonas, y quedó 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 (ALÍAS *et ál.*, 2011). (Fig.3).

Asimismo, se aplicaron las verificaciones higrotérmicas (según normas IRAM 11601, 11605, 11625, 11630, 11507-1 y 11507-4) a los componentes de

4. Zonificación Planta 1.º piso – FAU – UNNE y distribución de los sensores de temperatura.

5. Zonificación Planta 2.º piso – FAU – UNNE y distribución de los sensores de temperatura.



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). (Fig. 4).

## MONITOREOS TÉRMICOS EN INVIERNO Y EN VERANO: METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El monitoreo térmico invernal de la muestra definida de locales 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 (can-

Tabla i: algunos parámetros tecnológicos e higrotérmicos de las envolventes de las aulas monitoreadas. Fuente: Alías, h. M. Et ál, 2011.

LOCALES	MUROS EXTERIORES	TRANSM. TÉRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	ESTACIÓN	CATEGORÍA (S/IRAM 11605)	TECHOS	TRANSM. TÉRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	ESTACIÓN	CATEGORÍA (S/IRAM 11605)	CARPINTERÍAS	TRANSM. TÉRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	CATEGORÍA (S/IRAM 11507-4)
1- AULA 11 (ZONA I)	Ídem taller 7/ 8/ 10	0,96	Verano	"C"	Entrepiso losa H° A°	-	-	-	Ídem taller 7/ 8/ 10	6.00	No clasificable (K>4)
			Invierno	"C"							
2- AULA 4 (ZONA 12)	Ladr. comunes (e=0,30m), c/revoque en ambas caras.	1,87	Verano	"C"	Tejas coloniales s/ estruct. madera Cielorr. indep. a la cal.	0.94	Verano	No clasifica (k>0.72)	De 3 hojas de abrir, c/ vidrio simple 4 mm. Marcos de chapa N° 18 c/postigones madera	5.98	No clasificable (K>4)
3- AULA 6 (ZONA 7)			Invierno	NO clasifica (K>1,85)		1.08	Invierno	No clasifica (k>1.00)			
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 4 mm repartido en hojas	6.00	No clasificable (K>4)
5- TALLER 8 (ZONA 32)				"B"		0,51	Invierno	"B"			
6- TALLER 10 (ZONA 24)			Invierno	"C"	Entrepiso losa H° A°	-	-	-			

tividad 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; Irradiancia 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).

El monitoreo térmico estival de la muestra definida de locales, 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, solo 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, así

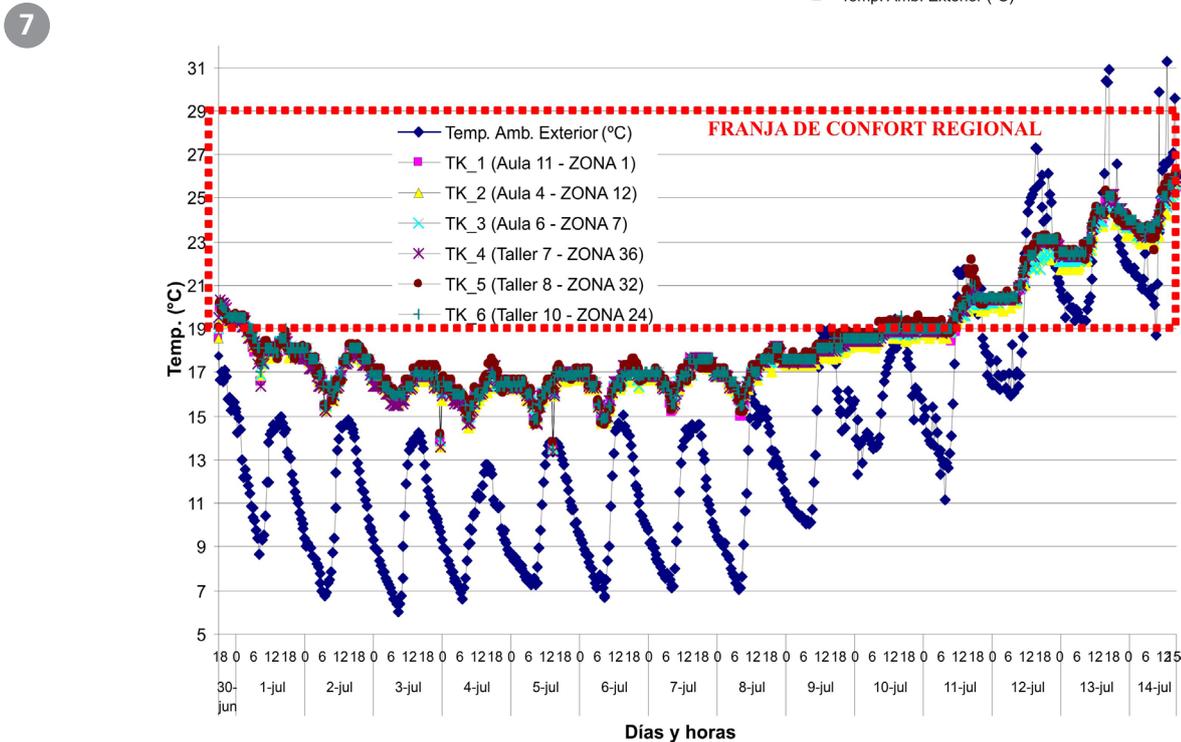
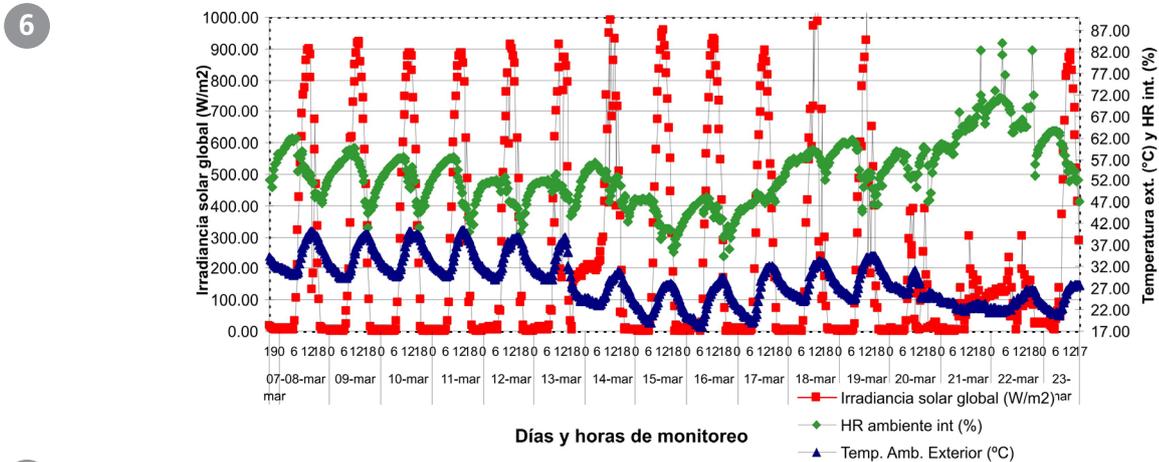
como la frecuencia de muestreo, fueron las mismas que las registradas durante el monitoreo de invierno, habiéndose utilizado el mismo instrumental ya detallado.

**Resultados.** Con respecto a la campaña de medición durante el período frío, hasta el 9 de julio de 2011 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%. Se registraron valores de irradiancia solar global (sobre sup. horizontal) máximos promedio de 660 W/m<sup>2</sup> (para días de cielo claro) y extremos de 825 W/m<sup>2</sup>, para las 13,30 hs. aproximadamente. Durante el período cálido de monitoreo, hasta el 13 de marzo de 2012 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 se produjo un descenso de temperatura, con mínimas de 18°C y máximas de 33°C, con valores de HR de entre 35% y 85%. (Fig.6).

Los valores invernales de temperaturas interiores de las 6 aulas monitoreadas, durante los días de registro, se exponen en la figura 7. 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. por debajo del límite inferior de la banda de confort, fijada entre 19°C y

6. Registros de temperatura exterior, HR exterior e irradiancia solar global en Resistencia, entre el 08/03/12 y el 23/03/12. Fuente: ALÍAS, H. M. et al, 2012.

7. Evolución de temperaturas interiores medidas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante el período del 30/06 al 14/07/2011. Fuente: ALÍAS, H. M. et al, 2011.



29°C (JACOBO, 2001), registrando mínimas de 14°C y máximas de 18°C. Tan solo 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 16 hs.

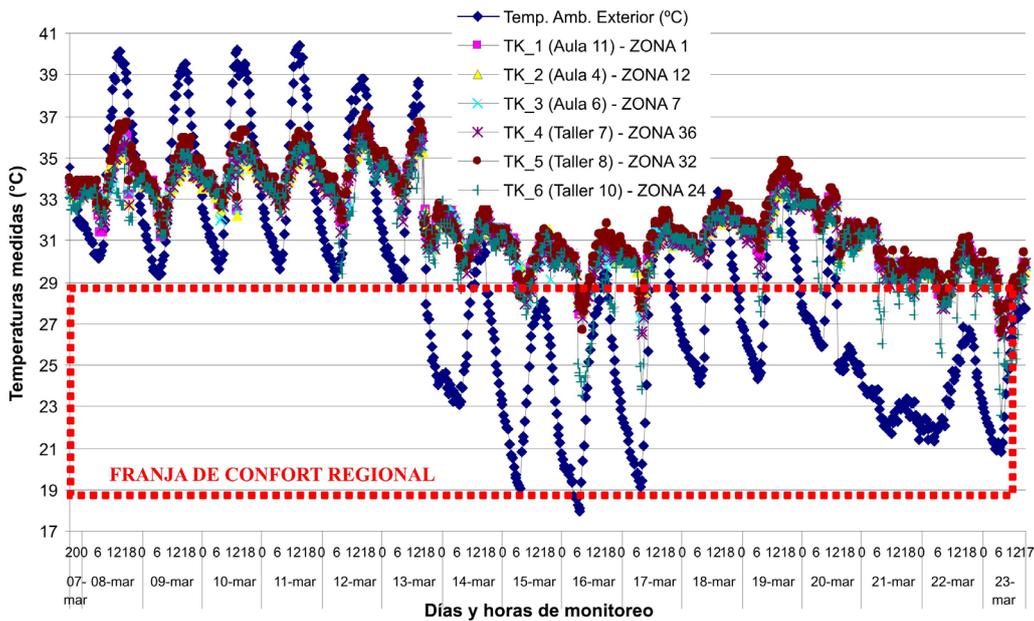
En estos días de invierno típicos, los picos de temperatura interiores se registran con un retraso de 3,5 a 5 hs. con respecto a los exteriores (que ocurren a las 15,00 hs. aproximadamente). La amplitud térmica exterior diaria registrada fue de 8°C para el 3 de julio (uno de los días más fríos regis-

trados, junto con el 4 de julio) y de 12,5°C para el 14 de julio (día más cálido); 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. (Fig.7).

Los valores estivales de temperaturas interiores de las 6 aulas monitoreadas, durante el período de registro, se exponen en la figura 8. 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. entre los 32°C y los 37°C, esto es, entre 3 y 8°C por encima del límite supe-

8. Evolución de temperaturas interiores medidas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante el período del 08/03 al 23/03/2012. Fuente: ALÍAS, H. M. et al, 2012

8



rior de la banda de confort fijada (19°C - 29°C). Tan solo 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. En estos días de verano, las máximas temperaturas interiores se registraron con un retraso de 3 a 4,5 hs. con respecto a las máximas exteriores (que se registraron 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. (Fig.8).

## SIMULACIONES CON ECOTECT: MODELIZACIÓN, METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Se realizaron simulaciones dinámicas de desempeño térmico del edificio de la FAU – UNNE con el programa ECOTECT (MARSH, 2003) para los mismos períodos monitoreados (invernal: del 30/06/2011 al 14/07/2011; estival: del 08/03/2012 al 23/03/2012), según la zonificación planteada en las figuras 3, 4 y 5 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, ho-

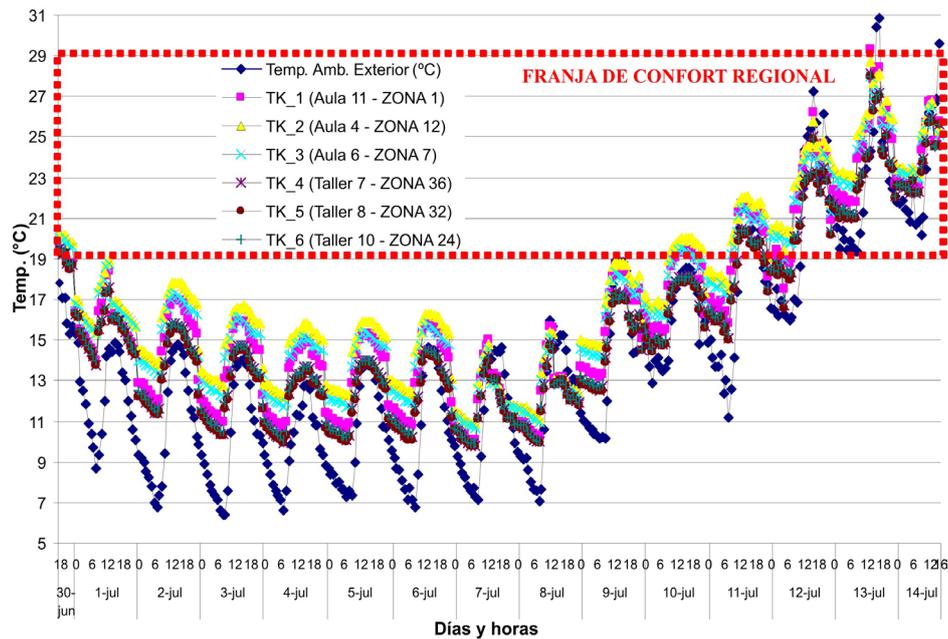
rarios de encendido de luminarias y otros equipos, patrón de apertura de carpinterías exteriores, según horas y días) durante los días de monitoreo *in situ*, a efectos de lograr mayor precisión del modelo físico ingresado al programa informático.

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 ambos períodos monitoreados (invernal y estival), al archivo de clima de dicha ciudad, a través del módulo The Weather Tool, de ECOTECT. Esta edición del archivo de clima de la ciudad de Resistencia se realizó con el objetivo de lograr un mayor ajuste de las simulaciones a las condiciones reales registradas durante los dos períodos de monitoreo.

Con el modelo físico ingresado a ECOTECT, según la distribución de locales expuesta, 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 invernal, en tanto que en la Fig. 10 se expone dicha evolución térmica simulada para el período estival. 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.

9. Evolución de temperaturas interiores simuladas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante el período del 30/06 al 14/07/2011. Fuente: ALÍAS, H. M. et al, 2011

9



## RESULTADOS

Al igual que los registros del monitoreo invernal, en los resultados de la simulación invernal, 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 9). 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.

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 situación más favorable se obtuvo 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 se presentan para el taller 8 (2.º piso), que en el monitoreo fue el local que demostró la situación inversa (temperaturas más altas de la serie), 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. (Fig.9).

En la simulación estival, las 6 aulas de la muestra presentaron temperaturas, hasta el día 13/03, que durante las 24 horas de cada día se mantuvieron

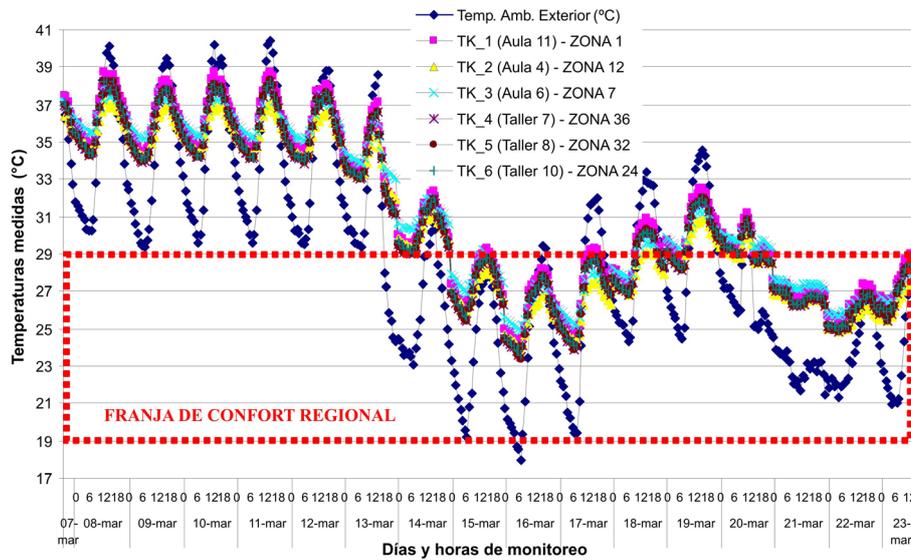
entre 4°C y 10°C por encima de la máxima confortable definida para verano (29°C), registrando mínimas de 33 °C y máximas de 38,7°C (figura 10). A partir del 15/03 (luego de que la temperatura exterior descendiera desde la tarde del 13/03), las temperaturas internas de las aulas empezaron a registrar máximas de 29 - 30°C y se mantuvieron casi las 24 hs. dentro de la franja prefijada de confort. La diferencia más notoria respecto del 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. Para la simulación de verano, la mayor discrepancia de los resultados de la simulación respecto de 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.

Las temperaturas más altas se obtuvieron 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

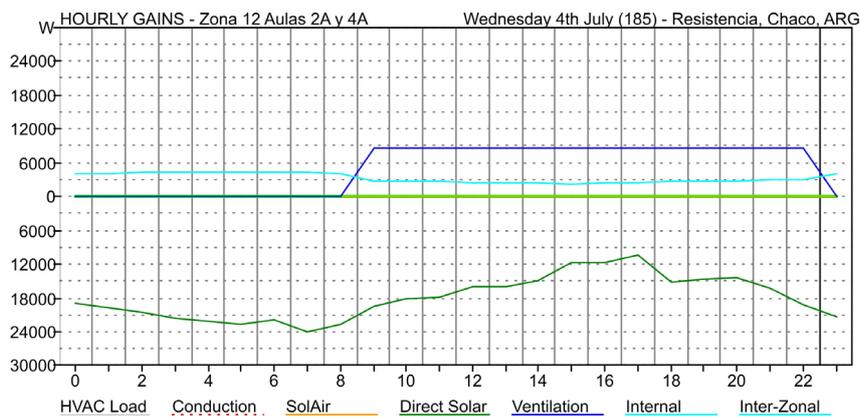
10. Evolución de temperaturas interiores simuladas en 6 aulas del edificio de la FAU - UNNE, durante el período del 08/03 al 23/03/2012. Fuente: ALÍAS, H. M. et al, 2012.

11. Cargas térmicas horarias para el Aula 4, el día 04/07.

10



11



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 más desfavorable que la monitoreada). Las temperaturas más bajas se presentaron para el Aula 4 (en concordancia con el monitoreo) y el Taller 8 (este último con las mínimas de la serie solo entre la 0 y las 10 hs.) (Fig. 10).

Las figuras 11 y 12 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 trans-

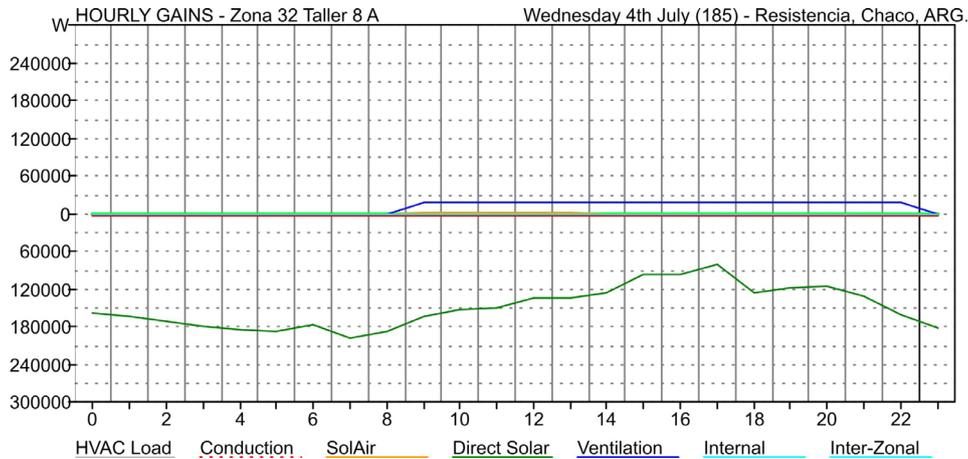
misión de la temperatura de las zonas adyacentes que la rodean (otra aula y espacios circulatorios -pasillos-). Para el taller 8, las ganancias se deben casi exclusivamente a los aportes internos durante el período de uso, siendo muy reducidas las debidas a "adyacencias interzonales" (este taller presenta 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 ellas permanecieron abiertas en horas de la noche, pese a las bajas temperaturas. (Fig. 11 y 12).

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 temperatu-

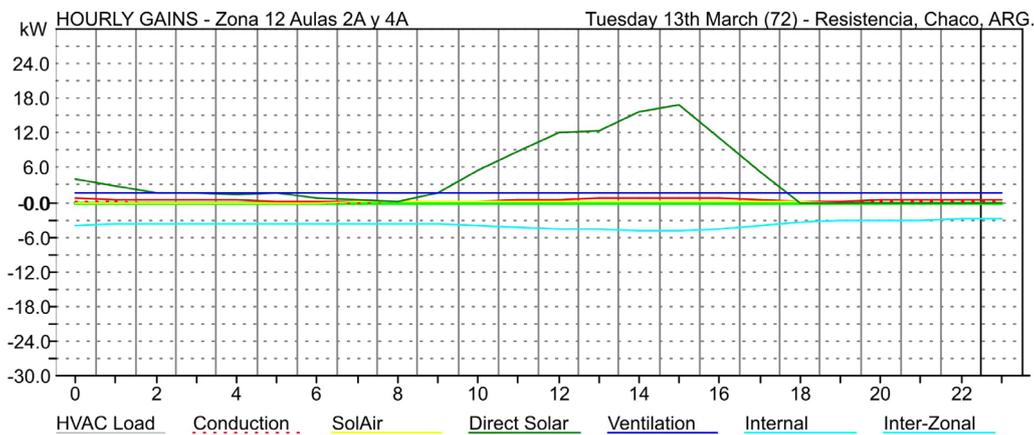
12. Cargas térmicas horarias para el Taller 8, el día 04/07.

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

12



13



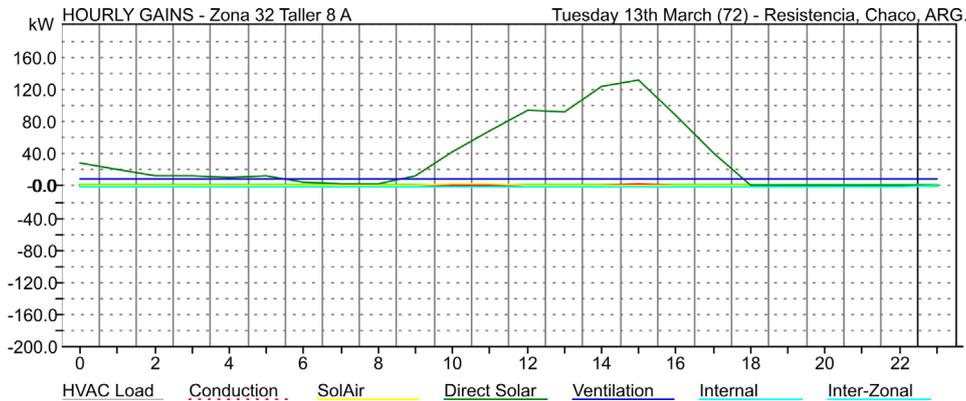
ras mínimas (el Aula 4, tanto para el monitoreo como para la simulación) y máximas (Taller 8, solo según el monitoreo). Para el Aula 4, cuya única pared al exterior se halla protegida por una galería perimetral, por lo que la incidencia de radiación solar directa es mínima, las ganancias térmicas (figura 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). (Fig. 13 y 14).

## 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 (R2) resultante, que indica el porcentaje de ajuste de ambas series. En general, se obtuvieron razonables niveles de ajuste, aunque mayores para invierno: **Invierno:** los mayores ajustes (coeficientes de correlación R2 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. La aproximación entre los resultados simulados respecto de los monitoreados 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 respec-

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

14



to de 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), y 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.

**Verano:** se ha encontrado que el grado de ajuste y aproximación entre los resultados simulados respecto de los monitoreados, si bien aún resulta razonable (R2 del orden de 0,77 a 0,81), es inferior respecto del ajuste obtenido durante el monitoreo invernal previo realizado. 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 de las medidas, en los períodos sin ocupación). Aun 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 en los que se producen las mayores discrepancias un factor de corrección.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El presente trabajo desarrolla conceptos que vinculan al consumo de energía y su uso racional con la calidad constructiva actual de los edificios de los centros urbanos del Nordeste Argentino.

Habiéndose realizado una simulación higrotérmica 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 fría de 2011 y de 16 días corridos de la estación cálida en 2012, se han detectado algunos problemas o deficiencias higrotérmicas:

**En invierno:** 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. En función de haberse detectado situaciones derivadas de un mal uso de los locales, como la apertura permanente de ventanas (aun 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.

**En verano:** 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. Al igual que en invierno, durante el período cálido de monitoreo se detectaron situaciones derivadas de un desconocimiento de las ventajas de una ventilación selectiva, como la apertura permanente de ventanas, aun en horas del mediodía y la siesta, cuando las temperaturas externas experimentan los picos máximos. Por los resultados obtenidos, el edificio monitoreado, que es 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" (muy cálida, con amplitudes térmicas menores a 14°C), que demandaría calefacción artificial durante los horarios de ocupación, a la vez que constituye un caso de desempeño térmico deficiente durante días de verano típicos de la zona, que demandaría refrigeración artificial durante los horarios de ocupación. Este desempeño térmico durante el período caluroso evidencia peores con-

diciones que las registradas para el período frío.

En función de los resultados obtenidos, se hacen necesarias propuestas de mejoramiento de las envolventes de los locales, que optimicen su desempeño térmico, 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 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. 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 como el del caso analizado. Las cuestiones expuestas configuran un marco instrumental en cuanto al aporte de herramientas de análisis de la eficiencia energético - ambiental del sector edilicio de las provincias de Corrientes y Chaco en particular, y de la región Nordeste de Argentina en general, a la vez que demuestran la potencialidad de los métodos de análisis aplicados para la evaluación energética y ambiental de alternativas proyectuales en el sector edilicio, constituyéndose en una perspectiva contributiva a la evaluación de la sustentabilidad del sector de la construcción. Mediante esta perspectiva de análisis, es factible analizar la manera en que las modificaciones en el diseño edilicio, especialmente de la envolvente perimetral, generan importantes diferencias en el consumo energético final del edificio de que se trate y en su desempeño ambiental, y determinar cuáles son las estrategias de optimización de las variables de mayor incidencia en dicho desempeño involucradas en el diseño de edificios.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- Alías, Herminia. M. *et ál* (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. ISSN 0329-5184. Pp. 05.37 a 05.45. Argentina.
- Alías, Herminia. M. *et ál* (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. ISSN 0329-5184. Pp. 07.81 a 07.89. Argentina.
- Alías, Herminia. M. *et ál* (2012). 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. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, Vol. 16. ISSN 0329-5184. Pp. 05.17 a 05.25. Argentina.
- Coronel, Carlos. A. *et ál* (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: 11601: 1996; 11603: 1996; 11605: 1996; 11625: 2000; 11630:2000; 11507-1:2001; 11507-4:2010. Buenos Aires, Argentina.
- Jacobo, Guillermo. J. (2001). El confort en los espacios arquitectónicos de la Región Nordeste de Argentina. ITDAHU–FAU–UNNE. Moglia Ediciones SRL. ISBN: 987 – 43 – 4155 - 6. Corrientes, Corrientes, Argentina.
- Marsh, A. J. (2003). ECOTECT Tutorials. Square One research Pty Ltd. Traducción propia.