

02

Edificios patrimoniales argentinos: Los hogares – escuela.

Evaluación energética y criterios de rehabilitación para un desempeño optimizado.

ENVOLVENTES
CONSTRUCTIVAS
DIAGNOSTICO
HIGROTÉRMICO
ENERGETICO
MEJORAMIENTO
USO RACIONAL
DE LA ENERGIA

Ciertos edificios institucionales argentinos de valor patrimonial, como los “Hogares – Escuela”, implantados en diversas regiones argentinas, fueron concretados a través de una política social del peronismo de mediados de 1950 en centros urbanos como Resistencia, Corrientes, Mendoza, Salta y Buenos Aires. En Resistencia (Chaco), en el año 1957, el edificio del “Hogar - Escuela” fue transferido como patrimonio físico a la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) y desde entonces alberga las facultades del campus universitario. Mediante metodologías de evaluación de eficiencia energética, se estudió el comportamiento higrotérmico y lumínico y el consumo energético real de algunos edificios de este Campus (el que aquí se expone corresponde a la facultad de Arquitectura). Los resultados fueron usados en la formulación de un diagnóstico que permitió proponer medidas de rehabilitación de su desempeño energético global. Dichas propuestas fueron simuladas, verificándose mediante ellas un consumo de energía entre un 30% y un 50% menor al actual. Verificada esta reducción del consumo de electricidad, y garantizando al mismo tiempo adecuadas condiciones de habitabilidad interiores, quedan definidas las bases conceptuales de un eventual proceso de generación de políticas institucionales en la UNNE tendientes al URE en la edificación, que podría ser asimilada en otros edificios regionales.

Argentine heritage buildings: Old school home.

Energetic assessment. Rehabilitation criteria for an improved performance.

Argentina houses a number of buildings spread all over the country and built in capital cities like Buenos Aires, Mendoza, Salta, Corrientes and Resistencia. They constitute part of the Argentine historical, cultural, and national heritage once flourished in times of President Juan Domingo Peron's administration in the 1950s. Some of them were converted into important Institutions which function as venues for National organisms or departments. This is the case of the Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) located in the site of an Old school Home built in Resistencia, capital of Chaco, in the 1950's, which holds colleges on various fields such as Architecture, Engineering, or others alike. The present report outlines results of the research carried out in order to measure the barely adequate performance of the lighting and hydrothermal conditions that the current building of the Architecture College presents. A final diagnosis has allowed putting forward measures to implement thoro



Autores

Mg. Arq. Herminia María Alfás

Mg. Arq. Guillermo José Jacobo

Facultad de Arquitectura y Urbanismo,
Universidad Nacional del Nordeste,
Argentina.

Palabras clave

Envolventes constructivas

Diagnóstico higrotérmico/energético

Mejoramiento

Uso racional de la energía

Key words

Building envelopes

Hydrothermal/energetic diagnosis

Improvement

Rational energy use

Artículo recibido | Artigo recebido:

11 / 07 / 2014

Artículo aceptado | Artigo aceito:

01 / 09 / 2014

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Se expone la problemática del análisis y diagnóstico del consumo de energía para climatización, así como incipientes estudios de desempeño lumínico, de algunos sectores representativos del edificio del ex Hogar-escuela de la ciudad de Resistencia (Chaco, Argentina), actual sede del Campus Universitario de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) y algunos planteamientos y verificaciones de criterios de mejoramiento de las situaciones detectadas.

Los edificios públicos (nacionales, provinciales o municipales), como el de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo del Campus UNNE, representan un potencial de ahorro energético equiparable en determinados casos al del sector comercial, por lo que contribuir a su estudio y a la aplicación de metodologías para determinar el grado de eficiencia energética de dichos edificios resulta un importante aporte (PACHECO *et al.*, 2008). En el sector público de la construcción, a los parámetros de temperatura y humedad, que establecen las condiciones de habitabilidad de cualquier edificio, se agregan las condiciones lumínicas del ambiente, fundamentales para el adecuado desempeño de las tareas visuales (PATTINI y KIRSCHBAUM, 2006).

El clima¹ del nordeste argentino (NEA), al cual pertenece la provincia del Chaco, establece exigencias rigurosas, particularmente en la estación estival, verificándose situaciones climáticas combinadas de altas temperaturas con altos valores de humedad relativa, que provocan disconfort en los usuarios y un intensivo consumo de energía para climatización mediante equipos electromecánicos. En este contexto, y en función de la sostenida crisis energética nacional, el Estado Argentino implementó 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, se invitó a las universidades nacionales a adoptar políticas e instrumentos institucionales para el Uso Racional de la Energía (URE). Atendiendo a ello, en el Campus de la UNNE se desarrolló un proyecto de investigación titulado «Evaluación térmico-energética de las sedes edilicias de las Facultades de Arquitectura y de Ingeniería de la UNNE», que constituye el marco general del trabajo que aquí se expone.

EL EDIFICIO DEL EX HOGAR-ESCUELA

Se localiza en el sector centro-sur de la ciudad de Resistencia (Latitud: 27,45°; Longitud: 59,05° oeste; Altitud: 52msnm), en un área urbana de media densidad (fig. 1). El edificio se erigió originalmente a fines de la década de 1950 como Hogar-escuela (parte de las obras del segundo «Plan Quinquenal» del gobierno de Juan Domingo Perón) y en 1957 se convirtió en la sede universitaria de la UNNE (fig. 2). Este Campus alberga las sedes de las Facultades de Arquitectura, 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 (figs. 3 y 4).

Gran parte de la arquitectura construida por la Fundación Eva Perón y por el Ministerio de Obras Públicas en este período (el Primer Período Justicialista: 1946–1955), se identificó con el estilo del chalet californiano.² Los hogares-escuela se caracterizan por los partidos abiertos, la organización de los espacios en torno a patios centrales que funcionan como pulmón de los bloques (fig. 2) y a la vez sirven de expansión de los mismos.

1. La ciudad de Resistencia (prov. de Chaco) pertenece a la zona bioambiental «Ib», muy cálida (Norma 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.

2. Se puede describir como una construcción compacta con techos inclinados de tejas españolas, paredes blancas, importantes vigas de madera vistas, pisos de cerámica roja, galerías con arcadas. La función de estos edificios correspondía a colonias de vacaciones, hogares-escuela, hogares de ancianos y hogares de tránsito (JACOBO *et al.*, 2011).

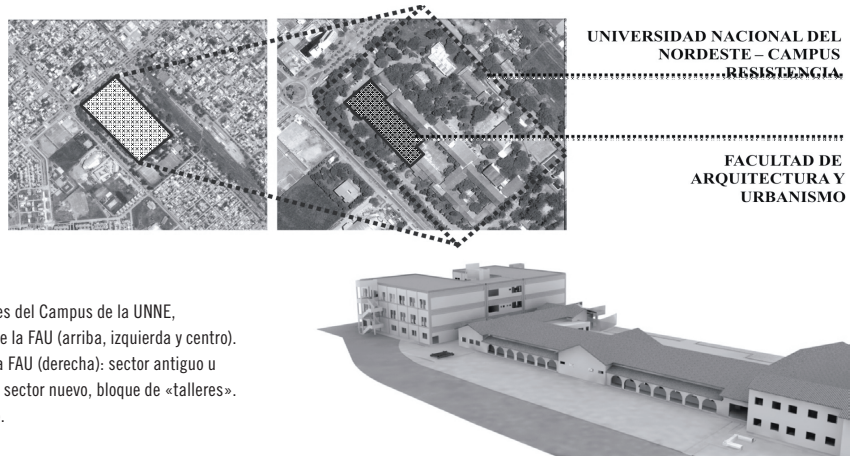


FIGURA 1 | Fotos satelitales del Campus de la UNNE, (Resistencia) y del edificio de la FAU (arriba, izquierda y centro). Perspectiva del edificio de la FAU (derecha): sector antiguo u original (cubierta de tejas) y sector nuevo, bloque de «talleres».

Fuente: ALÍAS *et al*, 2013, b.

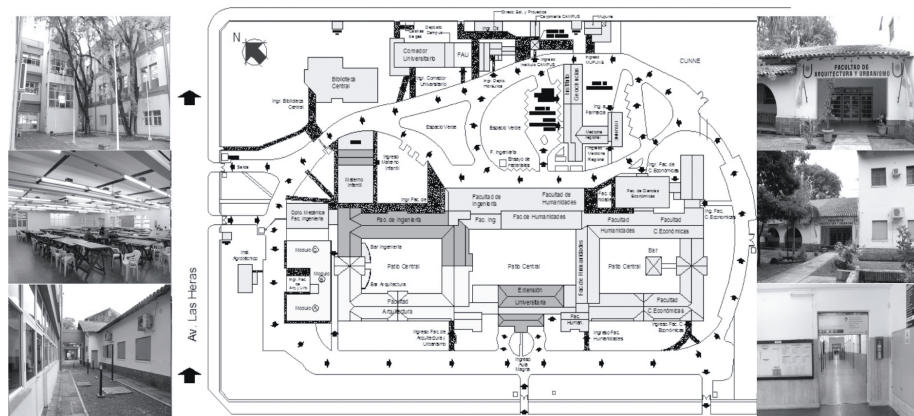


FIGURA 2 | Planimetría Campus UNNE, Resistencia (centro). Facultad de Arquitectura –FAU- (en amarillo). Fotografías FAU: sector antiguo u original (derecha) y sector nuevo, bloque de «talleres» (izquierda). Fuente: ALÍAS, *et al*, 2013, a.



FIGURA 3 | (izquierda): Escuela Hogar. Provincia de Mendoza. Función actual: museo histórico. Fuente: <http://www.google.com/images/mendozahogarescuela>. Figura 3 (centro y derecha): Escuela Hogar. Provincia de Salta. Función actual: hogar–escuela. Fuente: <http://190.224.160.133:8080/salta/Salta/diario/2011/02/28/salta/>



FIGURA 4 | (izquierda): Escuela Hogar. Ubicación: Ezeiza, prov. de Buenos Aires. Función actual: hogar - escuela. Fuente: <http://190.224.160.133:8080/salta/Salta/diario/2011/02/28/salta/descartan-renuncias-en-el-hogar-escuela>. Figura 4 (derecha): Escuela Hogar. Ubicación: Corrientes, Prov. de Corrientes. Función actual: hogar–escuela. Fuente: <http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.mimercedes.com.ar>

Una vez consolidada la edificación del Hogar Escuela de Resistencia como sede de la UNNE, y junto con el proceso de masificación de la educación superior se debió incrementar la superficie de los edificios del Campus UNNE de Resistencia, así como anexarles nuevos edificios, con lo que se incorporaron otras soluciones constructivas a la edificación existente. Así, y tomando como muestra representativa de los edificios del Campus UNNE al edificio de la Facultad de Arquitectura (FAU), puede decirse que el mismo presenta, en cuanto a su tecnología constructiva, dos sectores muy diferentes:

I. 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. 5).

II. Un sector «nuevo», consistente 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. 5).

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación energética del edificio de la FAU, encara da a partir de análisis y verificaciones del diseño tecnológico e higrotérmico de sus envolventes constructivas perimetrales, su morfología, orientaciones y disposición de aventanamientos, incluyó verificaciones de condiciones higrotérmicas interiores mediante mediciones experimentales *in situ*, contrastadas con simulaciones dinámicas mediante el software «Ecotect» (Marsh, 2003), complementadas con evaluaciones mediante termografía de algunos sectores del edificio. Las técnicas empleadas permitieron desarrollar un diagnóstico de situación, tanto en cuanto a las condiciones de habitabilidad interiores, como en cuanto al consumo eléctrico demandado para mantener dichas condiciones dentro de las condiciones mínimas necesarias de confort. De estas auditorías y sus diagnósticos surgieron algunos criterios de mejoramiento de las envolventes del edificio, mediante los cuales podrían lograrse ahorros de energía para climatización. En función de dichos criterios, se realizó un estudio de alternativas para mejorar el nivel de aislación térmica de la envolvente (muros y techos)

de los sectores de aulas del edificio, considerándose la inversión necesaria para tales intervenciones y su recupero a corto plazo, utilizando una herramienta informática para la toma de decisiones en proyectos de energías renovables y eficiencia energética: el software «RETScreen». Además, se simuló mediante el software «Ecotect» las alternativas de mejoramiento propuestas, lo que permitió cuantificar los ahorros de energía potenciales a obtener mediante la aplicación de las alternativas propuestas.

Por otra parte, se realizaron monitoreos de desempeño lumínico de los mismos sectores para los cuales se realizaron los monitoreos y simulaciones higrotérmicos, configurándose un pantallazo general respecto al grado de cumplimiento de los niveles de iluminación requeridos por normativa, así como del grado de aprovechamiento de la iluminación natural³ para el uso habitual de los locales.

1. Situación higrotérmica general: verificaciones normativas y simulaciones validadas mediante monitoreos

Como instancia inicial, se efectuó 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 al.*, 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 figs. 6, 7 y 8 (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 al.*, 2011). 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.

3. Cabe comentar que el promedio de irradiación solar global diaria en la ciudad de Resistencia es de 6,5 kWh/m² en diciembre y de 2,5 kWh/m² en Agosto, mientras que la heliofanía efectiva promedio es de 7 horas en diciembre y 5 horas en agosto (Secretaría de Energía de la Nación, 2013; en Pividori *et al.*, 2013). La heliofanía relativa en la ciudad de Resistencia es de 50% en invierno y de 43% en verano (Norma IRAM 11603, 1996).

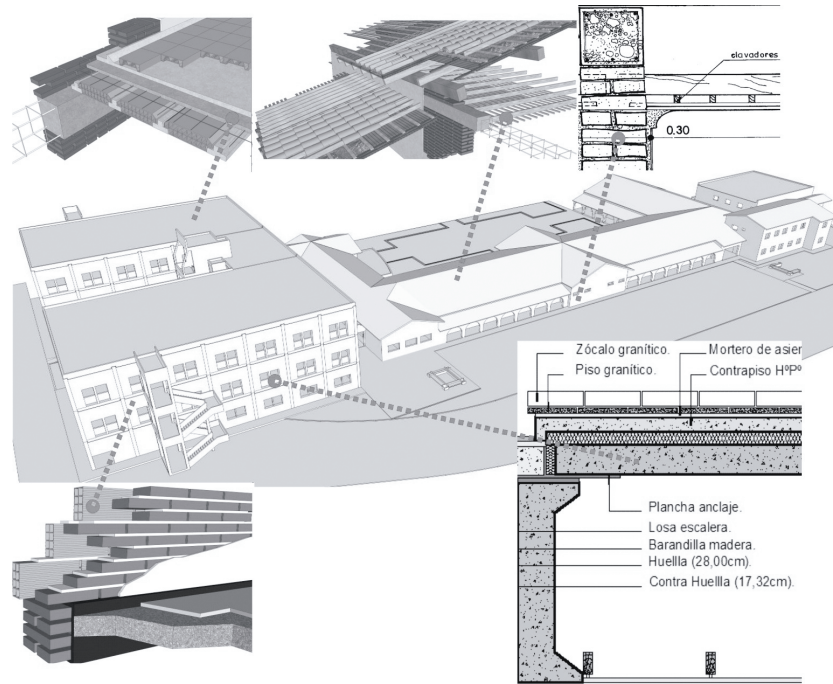


FIGURA 5 | Volumetría y resoluciones constructivas del edificio de la FAU–UNNE.
Fuente: ALÍAS *et al*, 2013, a.

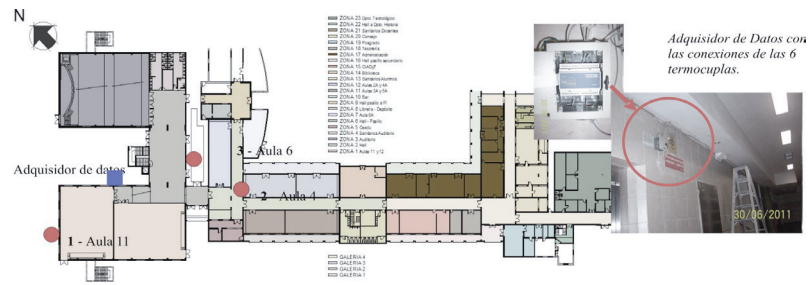


FIGURA 6 | Zonificación Planta Baja, FAU–UNNE y distribución de los sensores térmicos y módulo registrador.
Fuente: ALÍAS *et al*, 2011.

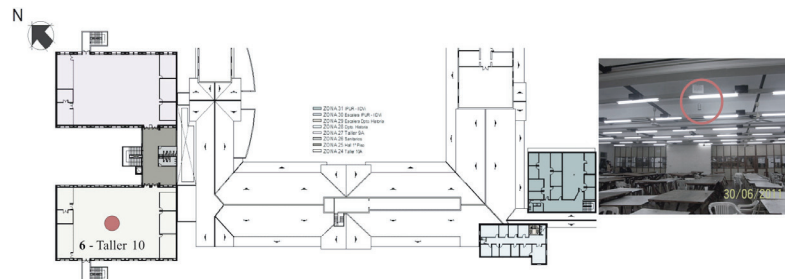


FIGURA 7 | Zonificación Planta 1º piso, FAU–UNNE y distribución de los sensores de temperatura. Fuente: ALÍAS *et al*, 2011.

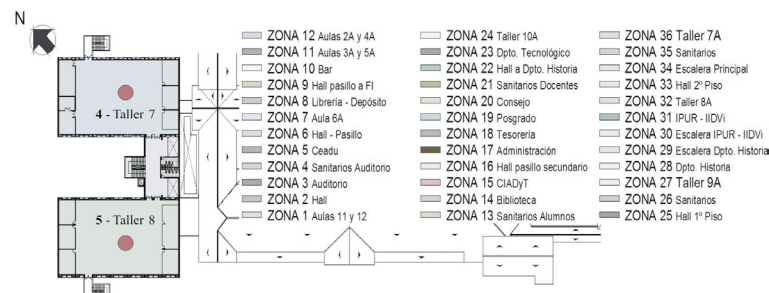


FIGURA 8 | Zonificación Planta 2º piso, FAU–UNNE y distribución de los sensores de temperatura. Fuente: ALÍAS *et al*, 2011.

Según verificaciones mediante la normativa de habitabilidad vigente (Tabla I) se comprobó una baja resistencia térmica de la envolvente en general (valores de transmitancia térmica de muros y techos que sitúan a dichos componentes de la envolvente en el nivel más bajo de confort propuesto por la norma IRAM 11605, el nivel «C» (mínimo), e incluso fuera de normativa por presentar valores de transmitancia térmica más altos que los máximos establecidos para dicho nivel mínimo.

Igualmente, se verificó la existencia de puentes térmicos (discontinuidades) importantes en muros y techos del sector «nuevo» del edificio analizado y patologías en cuanto al estado de mantenimiento (deterioro) y modalidad de uso de las carpinterías (apertura indiscriminada sin criterios de ventilación selectiva). Dichas carpinterías, según el análisis propuesto por la norma IRAM 11507-4, se encuentran fuera de la categorización de aislación térmica establecida, ya que en su totalidad presentan valores de transmitancia térmica superiores a $4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

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 exámenes), habiéndose relevado tales condiciones de uso (cantidad de usuarios, tipo de actividad, patrón de apertura de aventanamientos y utilización de la iluminación artificial, equipamientos y artefactos en funcionamiento).

Las variables registradas durante el monitoreo⁴ (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 *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 8 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 exámenes), habiéndose relevado tales condiciones de uso (cantidad de

usuarios, tipo de actividad, patrón de apertura de aventanamientos y utilización 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, así como la frecuencia de muestreo, fueron las mismas que las correspondientes al monitoreo de invierno.

En la figura 9 se exponen las evoluciones de temperaturas ambiente horarias obtenidas mediante los monitoreos, para cada aula, durante las 24 hs. de cada día del período invernal, en tanto que en la figura 10 se expone dicha evolución térmica registrada para el período estival. Se fijó la franja o zona de confort⁵ regional entre los 18 y los 28°C, con una humedad relativa de entre 55 y 60%.

Por otra parte, se realizaron *simulaciones dinámicas* de comportamiento higrotérmico del edificio de la FAU-UNNE con el programa ECOTECT 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 6, 7 y 8 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 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 al programa de simulación, 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,

4. El instrumental consistió en sensores de temperatura (termocoplas 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).

5. Los márgenes de temperatura dentro de los cuales la gente se siente cómoda dependen en gran parte de la ropa que usa, el grado de actividad física que realiza y el contenido de humedad de la atmósfera, pero para las personas ocupadas en actividades ligeras, puertas adentro, los límites del confort están entre los márgenes siguientes: para invierno (con vestimenta normal), entre 18 y 23 °C, y para verano (con vestimenta normal), entre 22 y 28 °C. Por su parte, los márgenes de humedad relativa dentro de los cuales la gente se siente cómoda oscilan entre 30 y 70%, considerándose como valor óptimo 50%, tanto en invierno como en verano (Czajkowski, 2006).

TABLA 1 | Algunos parámetros tecnológicos e higrotérmicos de las envolventes de las aulas monitoreadas.

| 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) | | | | |
| 2. Aula 4 (zona 12) | | | Invierno | "C" | | | | | | | | | | | |
| 3. Aula 6 (zona 7) | Ladr. comunes (e=0,30 m), c/revoque en ambas caras. | 1,87 | Verano | "C" | Tejas coloniales s/estruct. madera. Cielorraso 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) | | | | |
| 4. Taller 7 (zona 36) | | | Invierno | No clasifica (K>1,85) | | | | | | | | | | | |
| 5. Taller 8 (zona 32) | 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) | | | | |
| 6. Taller 10 (zona 24) | | | Invierno | "C" | | | | | | | | Entrepiso losa H°A° | 0,51 | Invierno | "B" |
| | | | | | | | | | | | | | | - | - |

Fuente: ALÍAS, H. M. *et al.*, 2011.

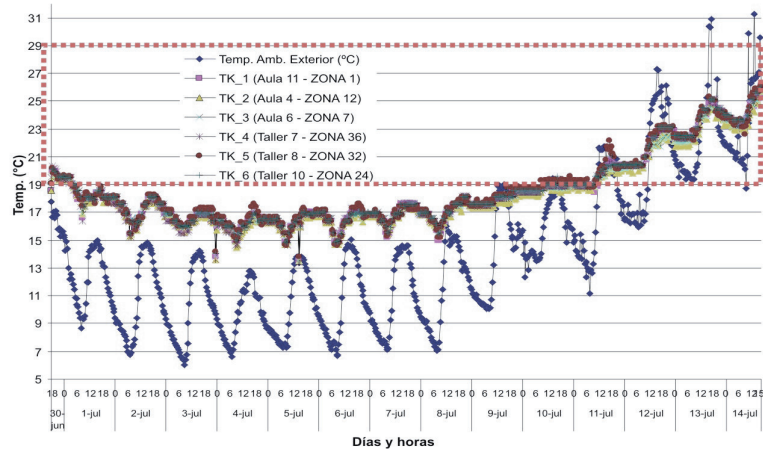


FIGURA 9 | Evolución de temperaturas interiores medidas en 6 aulas del edificio de la FAU – UNNE, durante el período del 30/06 al 14/07/2011. Fuente: ALÍAS, H. M. *et al.*, 2013.

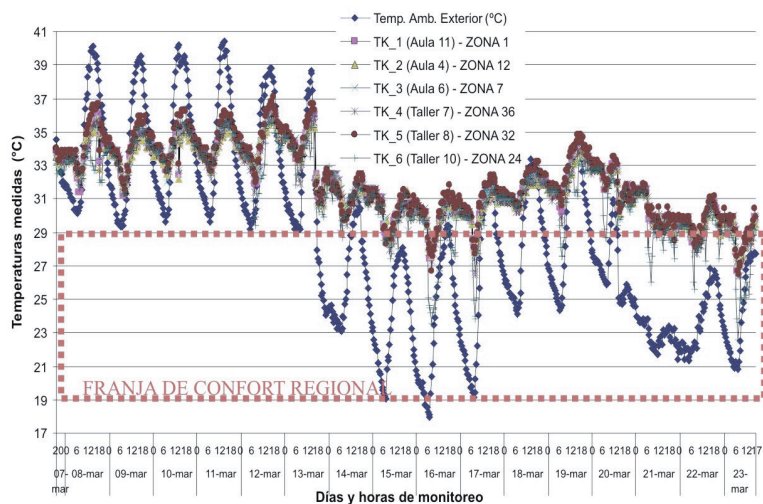


FIGURA 10 | Evolución de temperaturas interiores medidas en 6 aulas del edificio de la FAU – UNNE, durante el período del 08/03 al 23/03/2012. Fuente: ALÍAS, H. M. *et al.*, 2012.

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. Las condiciones de confort para el análisis térmico en el programa simulador se mantuvieron entre 18°C y 28°C, con 55 a 65% HR (CZAJKOWSKI, 2006).

2. Evaluaciones complementarias mediante termografía

Como complemento de las verificaciones según normativa y las simulaciones dinámicas de los desempeños higrotérmicos y energéticos de las zonas del edificio (validadas mediante las mediciones in situ de temperaturas y humedades en las mismas zonas), se tomaron registros térmicos de las superficies de las envolventes constructivas del edificio mediante termografía.⁶ Para ello, la metodología consistió en tomar imágenes termográficas de diferentes sectores del edificio bajo análisis (figs 11, 12 y 13), seleccionándose algunas de las zonas más representativas, tanto del sector original como del bloque nuevo. Los registros obtenidos mediante termografía permitieron detectar algunos factores que podrían estar incidiendo altamente en el desempeño térmico regular a deficiente registrado (ALÍAS *et al.*, 2013b) mediante los otros procedimientos desarrollados:

- Diferencias térmicas significativas entre las superficies de una misma pared o techo, según su material constitutivo básico: en este sentido las estructuras de H°A° del sector nuevo, por ejemplo, presentan temperaturas de entre 15 y 18 °C mayores que las superficies adyacentes de mampostería revocada (figs. 11 y 12).
- Diferencias térmicas significativas entre las superficies de un mismo elemento según su color superficial (variaciones de emisividad y de coeficiente de absorción).
- Diferencias térmicas significativas entre superficies según su grado de asoleamiento.
- Efecto protector y amortiguador de las galerías, en el sector antiguo (fig.13).

3. Monitoreos de desempeño lumínico

Para el desarrollo del monitoreo lumínico se seleccionaron 6 locales del edificio de la FAU, buscando incluir aquellos que resultaran representativos de las distintas situaciones (ubicación, orientación, tecnología, aberturas, etc.). Se seleccionaron 3 locales del sector original (2 aulas y la biblioteca, todos ubicados en planta baja) y 3 en el sector «nuevo» (aula y aulas-taller, en planta baja, primer y segundo piso, respectivamente). Las características tecnológico-constructivas de los locales seleccionados, sus aberturas y vanos (dimensiones, orientación, materiales, dispositivos de protección, etc.) y de los dispositivos de iluminación empleados en cada local, etc., se sintetizan en la Tabla II (PIDVORI *et al.*, 2013).

Las mediciones de iluminancia se realizaron en dos períodos: diciembre de 2012 (días 10 al 17) y julio/agosto de 2013 (días 29 de julio al 2 de agosto), con la intención de verificar el nivel de iluminación de los locales en los momentos del año donde el sol posee mayor y menor altura, respectivamente. Las mismas se realizaron en los horarios de uso habituales de los locales durante el período de clases: a las 8:00 hs. y 11:00 hs. por la mañana y a las 16:00 hs. y 19:00 hs. El protocolo de monitoreo consistió en el registro de datos horarios a través de mediciones con un luxómetro digital⁷ de:

- a) niveles de luz natural;
- b) niveles de luz artificial y
- c) niveles de luz natural y artificial simultáneamente.

Las mediciones de iluminación artificial se realizaron luego de la puesta del sol. Las intensidades de radiación solar (W/m^2) para los días en que se efectuaron las mediciones se indican en la figura 14.

Antes de iniciar los monitoreos, se definieron puntos de medición en las aulas seleccionadas. La cantidad de los mismos se estableció en relación a las dimensiones del local. El plano horizontal de las mediciones se estableció a 0,80 m de altura desde el nivel de piso, altura que constituye el plano de trabajo establecido por la Norma IRAM AADL J 20-02.

6. La termografía infrarroja es un método no destructivo que permite determinar la distribución superficial de la temperatura del área a analizar. Utilizada en conjunto con las técnicas tradicionales de monitoreo de edificios, se convierte en una valiosa herramienta para detectar defectos en la envolvente de los edificios, puentes térmicos, infiltraciones de aire y humedad (Balas y Argiriou, 2002; en Flores Larsen y Hongn, 2012). Esta técnica, como complemento de las auditorías térmico-energéticas, es particularmente importante para evaluar el confort térmico a través de la medición de temperaturas superficiales de muros, pisos y techos. Una cámara termográfica es un dispositivo capaz de formar imágenes visibles a partir del espectro electromagnético infrarrojo medio: percibe la radiación infrarroja emitida de los cuerpos detectados y la transforma en imágenes luminosas visibles para el ojo humano.

7. Para la medición de iluminancias se utilizó un multímetro digital autorran-go 5 en 1 –MS8229– MAS-TECH, con foto detector (4000Lux/40000Lux±5.0%), facilitado por el Departamento de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería, GIDER-FI-UNNE.

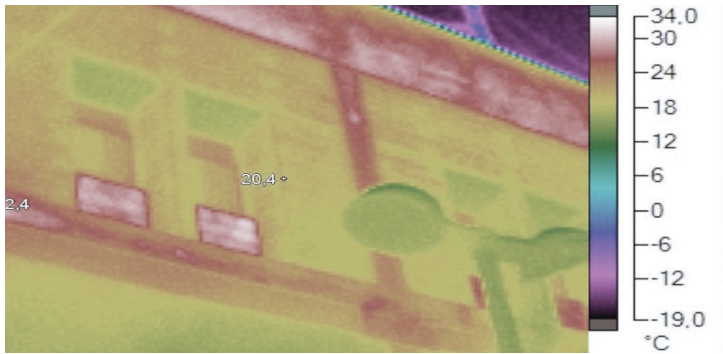


FIGURA 11 | Exterior Sector Nuevo. 03/07/2013 9:16:00. Fuente: Alias *et al.* (2013b).

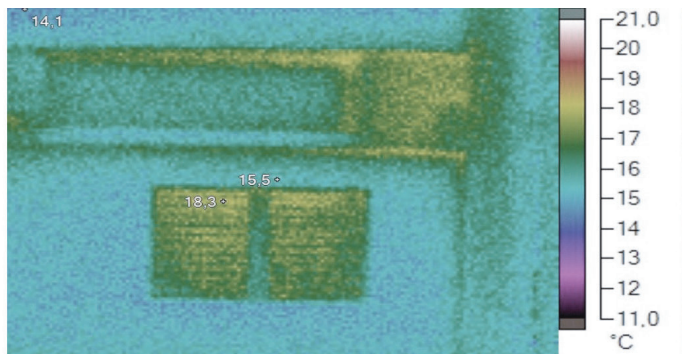


FIGURA 12 | Exterior Sector Nuevo. 03/07/2013 9:01:38. Fuente: Alias *et al.* (2013b).

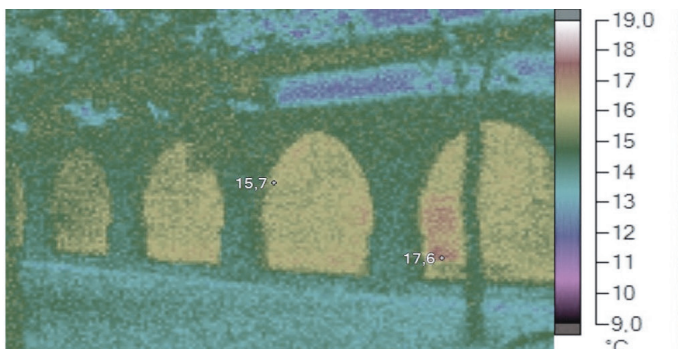


FIGURA 13 | Exterior Sector Antiquo. 03/07/2013 8:53:13. Fuente: Alias *et al.* (2013b).

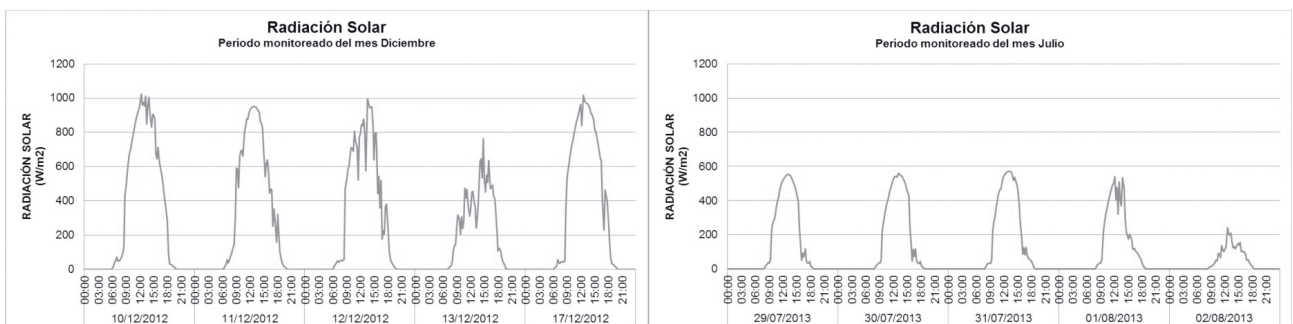


FIGURA 14 | Radiación Solar en la ciudad de Resistencia en los meses de diciembre de 2012 y agosto de 2013. Fuente: Pividori *et al.* (2013).

TABLA 2 | Características técnicas de los locales seleccionados para el monitoreo lumínico, en el edificio de la FAU–UNNE

| | AULA 6 | | AULA 3 | | BIBLIOTECA | | AULA 11 | TALLER 10A | TALLER 7A | | | |
|-------------|---|----|---|--|---|--|---|--|---|---|--|--|
| | | | | | Biblioteca | Sala Lectura | | | | | | |
| Medidas | 6 x 17 m | | 6 x 14,95 m | | 8 x 12,6 m | | 6 x 8,1 m | 14,9 x 19,2 m | 18,60 x 34,60 m | 18,6 x 34,60 m | | |
| Superficie | 102 m ² | | 89,7 m ² | | 100,8 m ² | | 48,6 m ² | 286,08 m ² | 643,56 m ² | 643,56 m ² | | |
| Aberturas | Dimensiones | | 1,33 x 1,95 m | | 1,33 x 1,95 m | | 1,33 x 1,95 m | 2,50 x 1,90 m | 1,20 x 1,59 m | 1,15 x 1,54 m | 1,15 x 1,54 m | |
| | Cantidad | | 4 | | 4 | | 3 | 1 | 1 | 14 | 25 | 25 |
| | Superficie total | | 10,37 m ² | | 10,37 m ² | | 7,78 m ² | 7,34 m ² | 26,71 m ² | 44,28 m ² | 44,28 m ² | |
| | Sup. de vidrio | | 6,2 m ² | | 6,2 m ² | | 4,65 m ² | 2,55 m ² | 17,9 m ² | 26,17 m ² | 31,1 m ² | |
| | Elementos de control | | Postigones de madera | | Postigones de madera | | Postigones de madera | Postigones de madera | Cortinas de paño | No posee | No posee | |
| Orientación | | NO | | SO | | NE | | NE | NE, NO | NE, SO | NE, SO | |
| Luminarias | Tipo | | Luminarias Fluorescentes de aplicar (0,32x1,24 m) | Luminarias Fluorescentes de aplicar para lámparas T8 | Luminarias Fluorescentes de aplicar (0,32x1,24 m) | Luminarias Fluorescentes de aplicar para lámparas T8 | Luminarias Fluorescentes de embutir para tubos T5 (0,30x1,22 m) | Luminarias de embutir con lámparas halógenas | Luminarias Fluorescentes de embutir para tubos T5 (0,60x0,60 m) | Tubos fluorescentes | Tubos fluorescentes | Tubos fluorescentes |
| | Distribución | | Filas normales al pizarrón | Sobre el pizarrón | Filas normales al pizarrón | Sobre el pizarrón | Filas normales a las aberturas. | En cielorraso tipo – Durlock | Filas paralelas a las aberturas | Filas en dirección normal al pizarrón | Filas en dirección normal a los pizarrones | Filas en dirección normal a los pizarrones |
| | Cantidad | | 10 | 4 | 10 | 4 | 10 | 7 | 6 | 42 | 98 | 126 |
| Galería | NO | | SI | | NO | | SI | NO | NO | NO | NO | |
| Ubicación | Sector Antiguo | | | | | | Sector Nuevo | | | | | |
| Piso | Mosaicos graníticos de color bordo oscuro | | | | Mosaicos graníticos de color gris claro | | Mosaicos graníticos de color bordo oscuro | | Mosaicos graníticos de color gris claro | Mosaicos graníticos de color bordo oscuro | | |
| Muro | Mampostería de ladrillos macizos comunes (e=30 cm) | | | | | | | | Mampostería de ladrillos comunes macizos de 12 cm + ladrillos huecos, con cámara de aire intermedia (e=35cm) | | | |
| Revoque | MAR exterior e interior. Pintura color blanco interior y color crudo en el exterior | | | | | | | | MAR exterior e interior. Pintura color blanco interior y color crudo en el exterior | | | |
| Cielorraso | Independiente, con estructura de madera, malla sima, y capas de MAR, terminación al yeso | | | | | | | | Suspendido de placas de roca de yeso, tipo durlock, arriostrado a losa | | | |
| Cubierta | Estructura de madera (cabreada, correas, tirantes más listoncillos), membrana plástica y tejas coloniales, clavadas a la estructura de listoncillos | | | | | | | | Entrepiso de losa prefabricada de H ² A, sobre estructura independiente, losa, aislaciones, contrapiso | | | |
| | | | | | | | | | Piso | | Loseta cerámica superior | |

Fuente: PIVIDORI et al, 2013.

- ◆ 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) R² = 0.80
- Lineal (Simuladas Aula 4) R² = 0.81
- Lineal (Simuladas Aula 6) R² = 0.80
- Lineal (Simuladas Taller 7) R² = 0.80
- Lineal (Simuladas Taller 8) R² = 0.80
- Lineal (Simuladas Taller 10) R² = 0.77

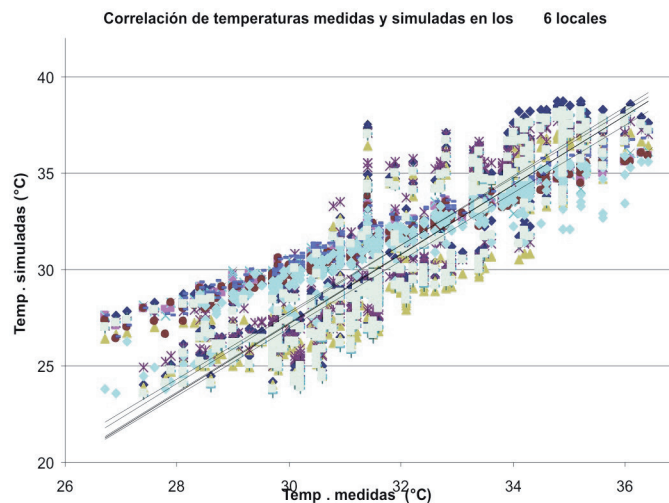


FIGURA 15 | Correlación entre temperaturas medidas y simuladas, para las seis aulas de la muestra definida, durante el período del 08/03 al 23/03/2012. **Fuente:** Alias et al. (2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Resultados de las instancias de monitoreos, simulaciones y verificaciones normativas de desempeño higrotérmico

Habiéndose realizado una simulación higrotérmica mediante el programa ECOTECT de 6 aulas del edificio de la FAU–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 las siguientes situaciones 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 ($18^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$), 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 (ALÍAS *et al.*, 2011).

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 ($18^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$), 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, aún en horas del mediodía y la siesta, cuando las temperaturas externas experimentan los picos máximos (ALÍAS *et al.*, 2012).

En cuanto al grado de ajuste entre los resultados monitoreados (medidos in situ) y los simulados, la contrastación de los valores 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), que indicó el porcentaje de ajuste de ambas series (fig. 15). En general,

se obtuvieron razonables niveles de ajuste, aunque mayores para invierno:

Invierno: los mayores ajustes (coeficientes de correlación R^2 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 con relación a 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 respecto de las medidas en los períodos sin ocupación, y resta poder determinar si el desajuste se debe a errores del modelo físico–geométrico ingresado o al método de cálculo del programa), 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 (ALÍAS *et al.*, 2013a).

Verano: se observó 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 con relación al ajuste obtenido durante el monitoreo invernal previo realizado. De ello se infiere que la modelización física utilizada para las simulaciones es válida, si bien susceptible de ser optimizada (se detectan diferencias de hasta $\pm 4-5^{\circ}\text{C}$ entre las temperaturas simuladas y 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 (ALÍAS *et al.*, 2013a).

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 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, y a la vez se trata de un caso de *desempeño térmico deficiente durante días de verano* típicos de la zona, lo que demandaría refrigeración artificial durante los horarios de ocupación. Este desempeño térmico durante el período caluroso evidencia peores condiciones que las registradas para el período frío.

Ante este panorama, se hacen necesarias propuestas de mejoramiento de las envolventes de los locales que optimicen su desempeño térmico, sobre todo en la época cálida, que contribuyan a la reducción del consumo eléctrico para climatización artificial, y a la vez que resulten transferibles al mejoramiento de las condiciones de habitabilidad de otros edificios del Campus UNNE. En este sentido, a través de la evaluación de los registros obtenidos mediante termografía, se infiere que factores de diseño en los que resulta muy sencillo incidir sin ningún costo económico, como la elección del color de una superficie de la envolvente constructiva edilicia, tienen influencia importante en las temperaturas de dichas superficies (y por ende de los espacios interiores que ellas delimitan), por lo que resultaría fundamental tenerlos en cuenta en el proceso proyectual. Otro factor de diseño, relacionado con el grado de exposición de los volúmenes y sus diferentes caras a la radiación solar, también repercute significativamente en las temperaturas superficiales de las envolventes y de los espacios que ellas albergan, así como la cantidad de tiempo y horario en que dicha exposición tiene lugar, por lo que es necesario estudiarlo a fondo para la regulación de las cargas térmicas (ALÍAS *et al.*, 2013b).

2. Resultados de las instancias de monitoreos de desempeño lumínico

Los resultados obtenidos determinan un desempeño lumínico de regular a deficiente en los sectores monitoreados, tanto en cuanto a la iluminación natural como a la artificial, según el rango impuesto por normativa IRAM AADL vigente para edificios educativos.⁸ Los niveles de iluminación natural son muy bajos, en especial en las aulas del sector antiguo del edificio (fig. 16) y, si bien en las aulas del sector nuevo se registran valores mayores de iluminación natural, los mismos no son uniformes en el local, presentan descensos muy importantes hacia el interior (centro) del local (figs. 17 y 18). Asimismo, se han observado casos de incidencia solar directa en las aulas y talleres monitoreados, situación desventajosa que obliga a los usuarios, en los locales que cuentan con medios de oscurecimiento, a mantenerlos cerrados durante las horas de incidencia solar directa (PIVIDORI *et al.*, 2013).

Además, se demostró que el mayor nivel de iluminación alcanzado en las aulas se logra mediante la utilización de iluminación natural y artificial de manera conjunta, siendo igualmente insuficiente en comparación a lo requerido por la normativa vigente. La distribución de la iluminación artificial determina la uniformidad de la iluminación en las aulas, por lo que se debe prestar mayor atención a la misma debido a que durante los monitoreos se evidenciaron numerosas luminarias y lámparas fuera de funcionamiento.

3. Criterios de mejoramiento higrotérmico de las envolventes

En función de los diagnósticos desarrollados, se plantearon propuestas de mejoramiento de las envolventes de los sectores más críticos detectados, que en la casi totalidad de los casos fueron los correspondientes a las ampliaciones al edificio original. Básicamente las propuestas apuntaron a optimizar el desempeño térmico, tanto estival como invernal, así como a contribuir a la reducción del consumo eléctrico para climatización. Entre dichas mejoras se incluyeron la reducción de puentes térmicos y de pérdidas por carpinterías en general y el aumento de resistencia térmica del conjunto envolvente.

8. La Normativa IRAM AADL vigente fija un mínimo de 500 lux para las aulas comunes, 400 lux para las bibliotecas y 750 lux para las aulas especiales (aulas donde se realizan trabajos prácticos). Establece asimismo que en las aulas donde la escritura se realiza con lápiz, el valor medio del servicio de la iluminación se debe incrementar en un 20%, requiriéndose por lo tanto un mínimo de 900 lux para los talleres del edificio de la FAU-UNNE.

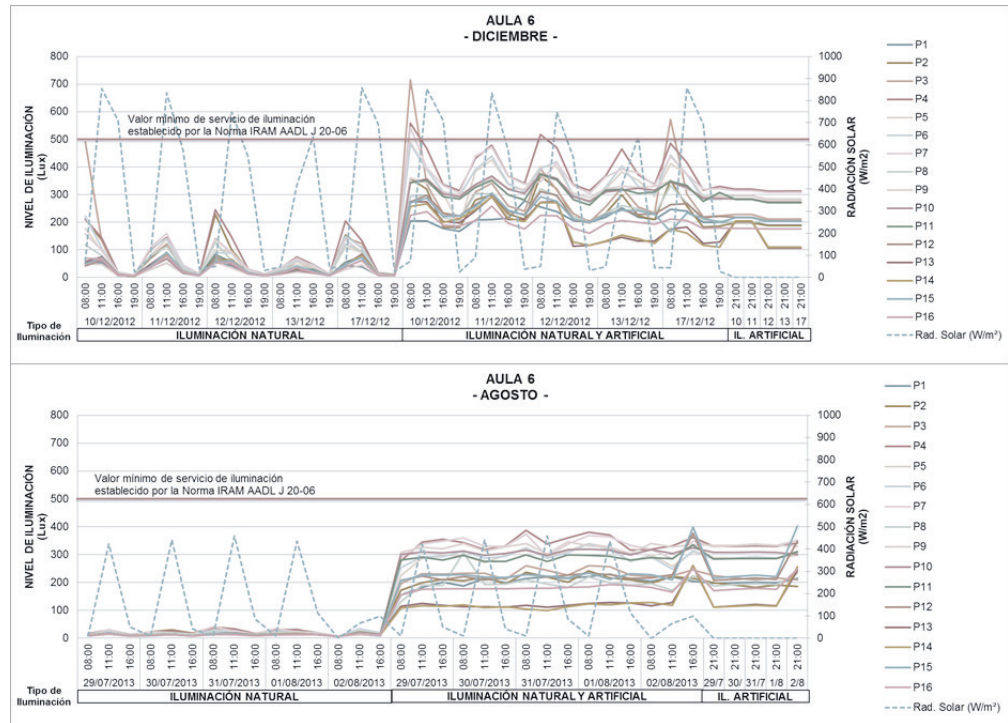


FIGURA 16 | Mediciones lumínicas de meses de diciembre y agosto, en el aula 6. Fuente: PIVIDORI, *et al.* (2013).

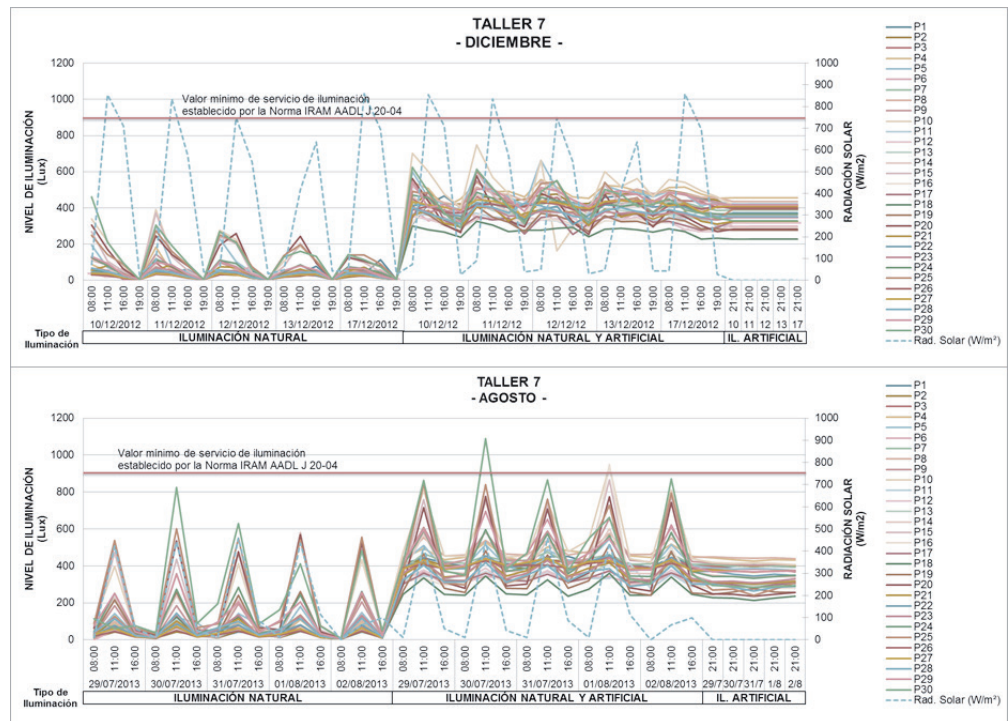


FIGURA 17 | Mediciones lumínicas de meses de diciembre y agosto, en el taller 7. Fuente: PIVIDORI, *et al.* (2013).

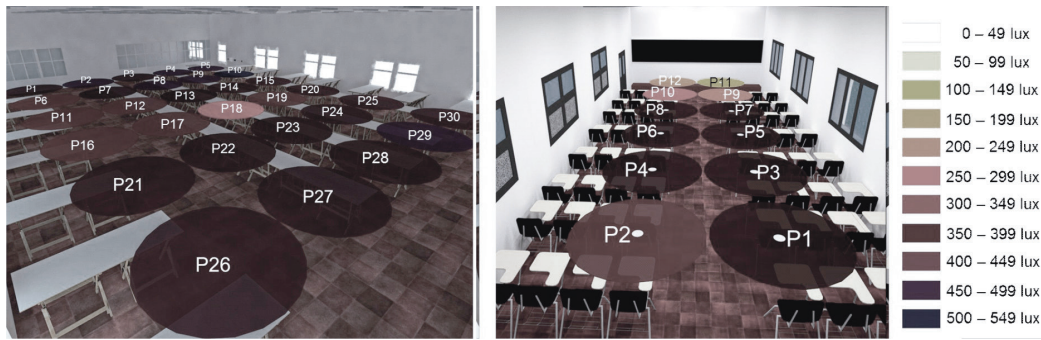


FIGURA 18 | Izquierda: niveles de iluminación natural y artificial promedio por punto en diciembre, taller 7. Derecha: niveles de iluminación natural y artificial promedio por punto en diciembre, aula 3. Fuente: Pividori, *et al.* (2013).

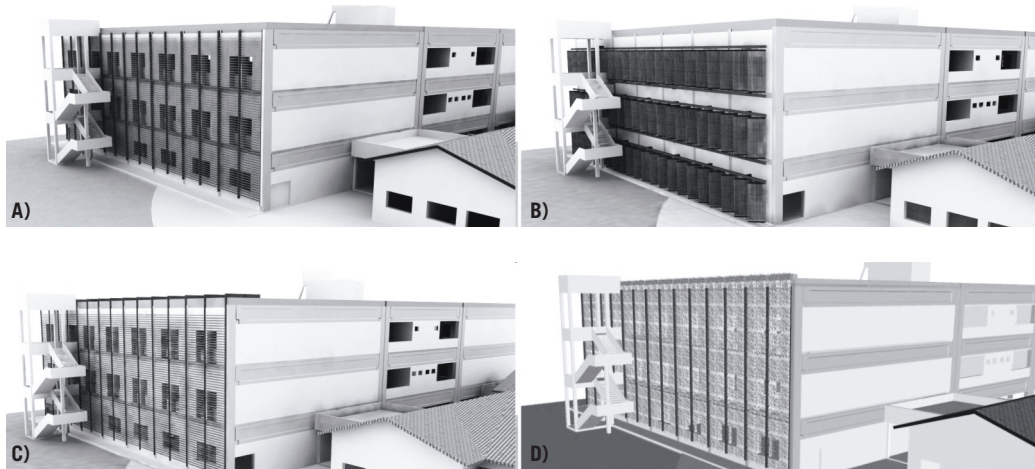


FIGURA 19 | Propuestas de fachada más expuesta con parasolados de distintas tecnologías. Fuente: ESCOBAR *et al.* (2013).
A) Parasoles fijos de madera. **B)** Parasoles giratorios de madera. **C)** Parasoles fijos metálicos o de PVC. **D)** Parasolado vegetal.

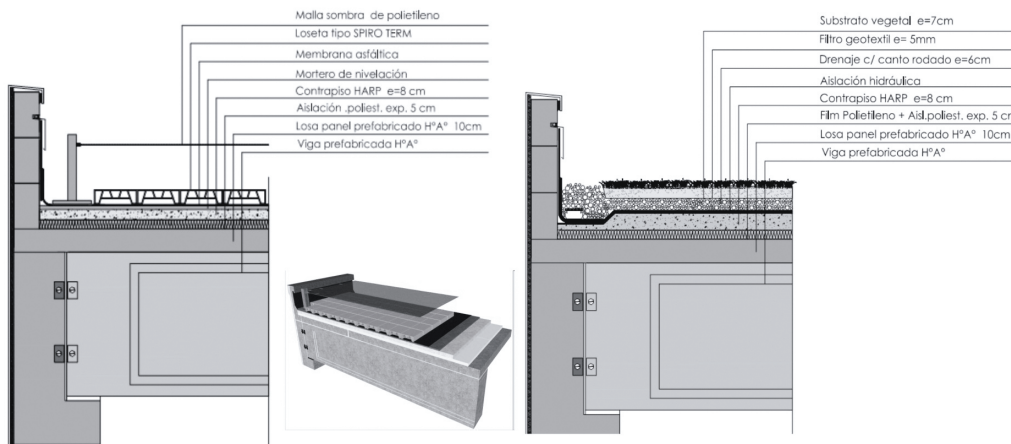


FIGURA 20 | Dos alternativas de optimización del desempeño higrorémico de las cubiertas (azoteas) del bloque nuevo del edificio de la FAU. Fuente: ESCOBAR *et al.* (2013). *Izquierda:* Techo, sombra sobre azotea. *Derecha:* Transformación de la azotea en cubierta «verde».

| CUBIERTAS DE LA FAU : SITUACIÓN REAL Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO . Verificación de parámetros higrotérmicos | | | | | | | |
|---|---|--------------------------|---|---|---|---------------------------|--|
| Tipología de Techo | Material | Situación real existente | Ubicación | Parámetros Higrotérmicos Verificados (transm. térmica y riesgo condens. invernales) | Material | Propuesta de mejoramiento | Parámetros Higrotérmicos Verificados (transm. térmica y riesgo condens. invernales) |
| Plano, de Hormigón Armado | 1. Losa Pre-Tensada con Tejuelines tipo Sombrilla | | Sobre talleres FAU | Nivel "A" (óptimo) K=0.48. Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) Fuera de Normativa (K muy alto) Con Riesgo de Condensaciones Invernales | Losa pre-tensada convertida en terraza "verde". | | K=0.23. Nivel "A" (óptimo) Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) % reducción de "K" a partir de las mejoras Sin riesgo de Condensaciones Invernales |
| | 2. Losa Aliviada de Viguetas Pre-Tensadas y ladrillones Cerámicos | | Sobre sector bares FAU | Nivel "A" (óptimo) Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) K=1.41. Fuera de Normativa (K muy alto) Con Riesgo de Condensaciones Invernales | Losa aliviada de viguetas mejorada con agregado de cubierta superior tipo "sombra". | | Nivel "A" (óptimo) K=0.50. Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) % reducción de "K" a partir de las mejoras Sin riesgo de Condensaciones Invernales |
| En pendiente | 3. Tejas Tipo Colonial con estructura de madera | | Sobre Pasillos, Biblioteca, aulas y área Administr. FAU | Nivel "A" (óptimo) Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) K=1.29. Fuera de Normativa (K muy alto) Con Riesgo de Condensaciones Invernales | Cubierta de tejas coloniales mejorada con agregado de poliuretano proyectado del lado interior. | | Nivel "A" (óptimo) K=0.46. Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) % reducción de "K" a partir de las mejoras Sin riesgo de Condensaciones Invernales |
| | 4. Cubierta metálica y estructura metálica | | Sobre área institutos IPUR y el IIDVI (FAU) | Nivel "A" (óptimo) Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) K=1.08. Fuera de Normativa (K muy alto) Sin riesgo de Condensaciones Invernales | Cubierta de chapa mejorada con agregado de poliuretano proyectado del lado interior. | | Nivel "A" (óptimo) K=0.43. Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) % reducción de "K" a partir de las mejoras Sin riesgo de Condensaciones Invernales |

Tabla 3 | Propuestas de mejoramiento de las cubiertas del edificio de la FAU–UNNE, en sus distintos sectores, y mejoras comparativas en los parámetros higrotérmicos según normativa, respecto de las situaciones originales existentes. Fuente: BORGES y ALÍAS (2013).

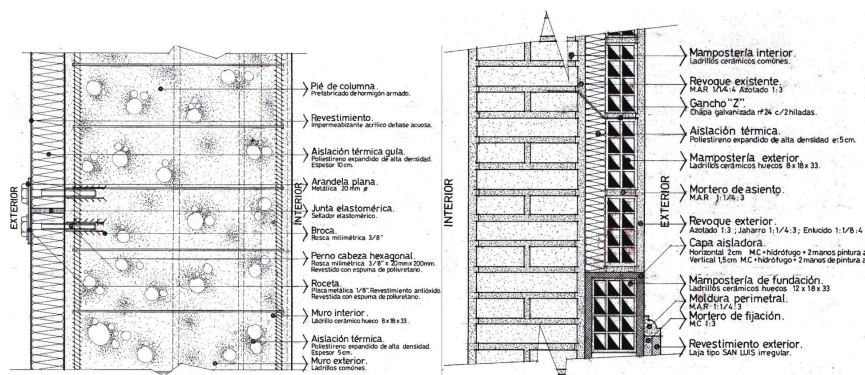


Figura 21 | Propuestas de mejoras a muros del edificio de la FAU. A la izquierda, mejoras a muros del sector nuevo; a la derecha, mejoras a muros del sector edificio antiguo. Fuente: Coronel Gareca et al. (2011).

Algunas de las propuestas para los muros exteriores de los bloques edilicios nuevos (ampliaciones) se basaron en el control solar, por medio del parasolado y del sombreado, en distintas versiones (fig. 19). En el caso de las azoteas de este sector nuevo, se planteó su ajardinamiento (fig. 20), (ESCOBAR et al., 2013). Otra de las propuestas para el bloque edilicio nuevo consistió en atenuar los puentes térmicos (generados

por las columnas de los pórticos y por las vigas de cierre perimetrales) con la incorporación de una capa de 100mm de poliestireno expandido de alta densidad (fig. 21, izquierda), sobre el cual se extenderían 2 capas de revestimiento plástico acrílico de base acuosa (CORONEL et al., 2011). En los sectores del edificio original se propuso añadir un paramento paralelo a los muros existentes (fig. 21,

TABLA 4 | Reducción de la energía eléctrica necesaria para acondicionar los ambientes de distintos sectores del edificio en un día de verano y en un día de invierno típicos, con la implementación de las medidas de mejoramiento higrotérmico de la envolvente.

| Zonas características | Sin Corrección | | Con corrección | | Reducción del consumo energético (%) | |
|-------------------------------|------------------------|----------|------------------------|----------|--------------------------------------|----------|
| | Consumo Energía Diario | | Consumo Energía Diario | | Verano | Invierno |
| | Verano | Invierno | Verano | Invierno | | |
| Zona 2 Aulas 11 y 12A | 1107,12 | 83,73 | 532,75 | 31,33 | 48.12 | 37.42 |
| Zona 13 CIADYT | 178,43 | 3,64 | 69,80 | 1,07 | 39.12 | 29.31 |
| Zona 19 Dpto. Tecnológico | 451,55 | 36,69 | 190,10 | 13,80 | 42.10 | 37.60 |
| Zona 20 Aulas 9, 10A | 2481,18 | 33,47 | 1275,33 | 10,76 | 51.40 | 32.14 |
| Zona 23 Dpto. Historia | 638,47 | 49,70 | 229,15 | 17,24 | 35.89 | 34.68 |
| Zona 27 Aulas/Talleres 7 y 8A | 2570,43 | 123,16 | 463,62 | 53,65 | 54.20 | 43.56 |
| Zona 29 Escalera Ppal. | 1393,17 | 74,79 | 218,97 | 30,84 | 47.23 | 41.23 |

Fuente: CORONEL GARECA *et al.*, 2010.

derecha). Se trata de agregar una capa de material aislante y luego un muro de ladrillos huecos de 8x18x25, una capa de 50mm de poliestireno expandido, un film de polietileno como barrera de vapor, y por último un muro contiguo de ladrillos huecos de 8x18x25 que será revocado en su cara exterior.

En lo referente a las propuestas de mejoramiento de las cubiertas existentes, además del ajardinamiento propuesto a las azoteas del bloque nuevo del edificio, se plantearon otras, a distintos sectores del edificio original, según se expresa en la Tabla III. Con las propuestas de optimización se lograrían aumentos de las resistencias térmicas de las cubiertas analizadas y, por lo tanto, disminuciones en el coeficiente de transmitancia térmica de las mismas, que aumentarían el nivel o categoría de confort (propuesto según Norma IRAM 11605) de dichas cubiertas, situándolas en general en un nivel «B» (medio), frente al nivel «C» (mínimo) o a la situación fuera de normativa en que dichas cubiertas se sitúan en su situación actual real relevada (según la cual las cubiertas presentan valores de transmitancia térmica muy altos, superiores incluso al máximo establecido para el nivel de confort mínimo).

DESEMPEÑO ENERGÉTICO ESTIMADO CON LAS MEJORAS PROPUESTAS

Se desarrolló un diagnóstico comparativo del «caso base» (la situación actual del edificio de la FAU) con el «caso propuesto» (la situación potencial, con el mejoramiento de las condiciones de la envolvente constructiva). Mediante la aplicación del software de simulación (ECOTECT), así como mediante el software RETScreen, se verificó que la energía ahorrada aplicando los criterios propuestos, tanto en techos como en muros, representa entre un 30 y un 55% menos que la del «caso base» (fig.22) en la estación crítica (verano), en comparación con los niveles iniciales de consumo energético.

Se comprobó que la inversión inicial para ejecutar dichas mejoras, si bien resulta alta en una primera instancia, se amortiza en el tiempo, ya que prevalece una reducción sostenida en los pagos de los servicios energéticos. Las pautas propuestas permitirían en conjunto obtener un menor costo operativo durante la vida útil del edificio y una mejora en la calidad térmica de los ambientes.

Por otra parte, y en función de las evaluaciones realizadas de desempeños lumínicos, se verificó tanto el desaprovechamiento de las posibilidades que brinda la iluminación natural como la necesidad de propuestas de mejoramiento, a través del adecuado planteo (orientaciones, dimensiones, dispositivos de protección, etc.) de las aberturas y vanos de las aulas para que imposibiliten el ingreso de luz solar directa y permitan el ingreso de luz solar indirecta. Actualmente se está trabajando en el desarrollo de tales propuestas.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El presente trabajo desarrolla conceptos y elabora propuestas que vinculan al consumo de energía y su uso racional con las características constructivas actuales de edificios institucionales puntuales de la ciudad de Resistencia, representativa de buena parte de los principales centros urbanos del nordeste argentino. Dichos edificios, en el caso analizado, revisten además gran interés en cuanto a su valor patrimonial y representan cualitativamente a un universo mayor de edificios institucionales, puesto que corresponden a prototipos que se repiten en otras ciudades y regiones del país.

Las cuestiones expuestas y las metodologías de abordaje de los procesos de investigación llevados a cabo configuran un marco instrumental en cuanto al aporte de herramientas de análisis de la eficiencia energético-ambiental del sector edilicio de la provincia del 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, H.; JACOBO, G.; CORONEL GARECA, C.; MARTINA, P.; CORACE, J.; GALLIPOLITI, V.:** «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, Argentina, 2011. pp. 05.37–05.45.
- ALÍAS, H.; JACOBO, G.; MARTINA, P. y CORACE, J.:** «Auditorías higrotérmicas de edificios según su diseño tecnológico–constructivo: el caso de la Facultad de Arquitectura de la UNNE.» En *ADNea, Revista de Arquitectura y Diseño del nordeste argentino*, Vol. 1, Nº 1, diciembre, 2013a. pp. 63–76.
- : (2013b). «Aplicación cualitativa de la termografía en el diagnóstico higrotérmico edilicio: caso de la sede de la Facultad de Arquitectura de la UNNE.» En *Actas de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente 2013 (ASADES)*, Vol. 1, Argentina, 2013b. pp. 05.105–05.114.
- ALÍAS, H.; JACOBO, G.; MARTINA, P.; CORACE, J.; AEBERHARD, R.; CORONEL GARECA, C.; BORGES, R. y YACCUZZI, I.:** «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, Argentina, 2011. pp. 7.81–7.89.
- ALÍAS, H.; JACOBO, G.; MARTINA, P.; CORACE, J.; BORGES, R.; YACCUZZI, I.; ÁLVAREZ PALAZZO, F. y LÓPEZ, F.:** «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, Argentina, 2012. pp. 05.17–05.25.
- BORGES, R. y ALÍAS, H.:** *Desempeño Higrotérmico de Cubiertas de los Edificios de las Facultades del Campus UNNE–Resistencia. Diagnóstico y Pautas de Optimización según Eficiencia Energética y Valoración Económica.* Informe Final Beca de Investigación. Secretaría General de Ciencia y Técnica. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, 2013.
- CORONEL GARECA, C.; JACOBO, G. y ALÍAS, H.:** «Estudio de desempeño termoenergético del edificio sede de la FAU–UNNE (Resistencia–Chaco–Argentina) con aplicación de una herramienta informática.» ENTAC (XIII Encuentro Nacional de Tecnología do Ambiente Construido). Canela, Brasil, 2010.
- CORONEL GARECA, C.; JACOBO, G. y ALÍAS, H.:** «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, 2011.
- CZAJKOWSKI, J. D.:** *Aire Acondicionado I: Definiciones y conceptos básicos.* Publicación didáctica cátedra Instalaciones II – Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de La Plata, 2006.

- ESCOBAR, M. L.; TOLEDO, M. y ALÍAS, H. M.:** «Herramientas informáticas para toma de decisiones en proyectos arquitectónicos de eficiencia energética: aplicación del software «RETScreen» al edificio de la FAU–UNNE.» 6° Congreso Regional de Tecnología de las Facultades del Arquisur. Instituto de Tecnología Arquitectónica, FAU – UNT, 2013.
- FLORES LARSEN, S. y HONGN, M.:** «Termografía infrarroja en la edificación: aplicaciones cualitativas.» *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, Vol. 16, Argentina, 2012. pp. 08.25–08.32.
- INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACIÓN DE MATERIALES (IRAM) y ASOCIACIÓN ARGENTINA DE LUMINOTECNIA (AADL).** *Norma IRAM-AADL J 20-02: Iluminación Natural en Edificios. Condiciones generales y requisitos especiales.* Buenos Aires, 1969.
- 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.
- JACOBO, G.; ALÍAS, H.; PESO, L. y CORONEL GARECA, C.:** «Edificios de los Hogares–Escuela: hitos urbanos y tecnológicos en el NEA.» XXX Encuentro y XV Congreso Arquisur. FAU–UNNE. Resistencia, Chaco, 2011.
- JACOBO, G. J.:** *El confort en los espacios arquitectónicos de la Región Nordeste de Argentina. ITDAHu–FAU–UNNE.* Corrientes: Moglia Ediciones, 2001.
- MARSH, A. J.:** *ECOTECH Tutorials.* Square One research Pty Ltd., 2003. Traducción propia.
- PATTINI, A. y KIRSCHBAUM, C.:** «Iluminación natural en edificios solares. El caso del control y distribución lumínica en aulas de un edificio escolar construido en Mendoza». *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, Vol. 10, Argentina, 2006. p. 05.197.
- PIVIDORI, V.; ALÍAS, H.; JACOBO, G. y MARTINA, P.:** «Condiciones de iluminación natural y artificial en el edificio de la Facultad de Arquitectura de la UNNE. Monitoreo para su diagnóstico según normativa vigente». *Actas de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente 2013 (ASADES)*, Vol. 1, Argentina, 2013. pp. 05.11–05.20.
- RETScreen. Software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia:** Herramienta de apoyo para la toma de decisiones, desarrollada por el gobierno de Canadá a través del centro de investigación de Canmet ENERGY de Recursos Naturales, Varennes, Quebec. Disponible en: <http://www.etscreen.net>, www.nrcan.gc.ca