

## **EVALUACION DE LA PERFORMANCE ENERGETICA Y EL ESTADO DE CONSERVACION DE UNA ENVOLVENTE A TRAVES DE LA TERMOGRAFIA**

**C. Filippín<sup>1</sup>, S. Flores Larsen<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> CONICET. Av. Spinetto 785 (6300) Santa Rosa, La Pampa, Argentina, Tel./Fax: 54-952-434222, E-mail: cfilippin@cpenet.com.ar

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Universidad Nacional de Salta - CONICET, Avenida Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina. E-mail: seflores@unsa.edu.ar

*Recibido 24/07/17, aceptado 26/09/17*

**RESUMEN:** la performance energética de la envolvente edilicia es un factor clave en el consumo energético de los edificios. Esta performance sufre un proceso de deterioro a lo largo de la vida útil del edificio, debido tanto al envejecimiento de los materiales como a la respuesta de los sistemas constructivos a la agresividad del ambiente externo. Las técnicas más utilizadas para realizar esta evaluación son la termografía infrarroja, como método cualitativo de detección de patologías, las mediciones in-situ y la simulación numérica. El presente trabajo describe la evaluación realizada en la envolvente de un edificio bioclimático perteneciente a la Universidad Nacional de La Pampa, de 22 años de antigüedad, mediante termografía infrarroja y simulación numérica bidimensional. A pesar de que el edificio no tuvo mantenimiento riguroso, no se encontraron patologías significativas en la envolvente, lo cual evidencia que los sistemas constructivos utilizados soportan adecuadamente el paso del tiempo.

**Palabras clave:** envolvente, auditoría energética, termografía infrarroja.

### **INTRODUCCIÓN**

El ciclo de vida de un edificio tiene tres fases: diseño, construcción y operación, cada fase con diferentes actores (Guerra-Santin y Tweed, 2015). La vida útil del edificio es, según ASTM (1988), el periodo de tiempo después de la construcción durante la cual todas las propiedades esenciales alcanzan o superan el valor mínimo aceptable con un mantenimiento rutinario. Para poder estimar este periodo, González Mora (2005) define la vida total como el promedio estadístico que refleja la esperanza de vida de un bien expresada en años, bajo condiciones normales de operación y mantenimiento. A su vez, y con respecto a la vida útil, considera que ésta representa la vida en la que se estima que un bien prestará servicio dentro de los límites de eficiencia económica. En general las edificaciones plantean una expectativa de vida aproximada a los 50/75 años luego de los cuales requieren para su sobrevivencia una intervención general. Esta intervención resultará necesaria en relación del edificio que se trate y su función, su uso y también el mantenimiento que de él se haya hecho a lo largo de su vida. Si esa rehabilitación integral no se realiza, el edificio sufre un deterioro progresivo y permanente como resultado de la mayor o menor agresividad del ambiente externo. Por otra parte, los diferentes componentes tecnológicos de un edificio tienen ciclos diferentes, como lo mencionan Dahlstrøm *et al.* (2012) que consideran ciclos de 8 y 10 años para la pintura de los paramentos en el interior y el exterior, respectivamente y 30 años para techos, tejados, ventanas y puertas.

Para reducir el consumo de energía en el ambiente construido es necesario testear la performance de la envolvente del edificio en etapas posteriores a la construcción, durante el avance de la vida útil. Esto permitiría en parte, entender las diferencias entre la expectativa de los diseñadores en la primera fase del ciclo de vida y la performance al momento que se evalúa. La mala praxis en la construcción puede generar lesiones y patologías que afectan el consumo de energía y las condiciones internas de confort. Tampoco se debe despreciar el comportamiento del usuario durante la operación del edificio.

La termografía infrarroja es una técnica no invasiva ideal para verificar el estado de aislaciones y puentes térmicos de la envolvente (Taylor *et al.*, 2014; González-Aguilera *et al.*, 2012; Vidas y Moghadam, 2013). Usualmente se complementa la inspección termográfica y visual con simulación numérica. Por ejemplo, Korniyenko (2015) evaluó la performance térmica de la envolvente de un edificio en tres edificios multifamiliares en Volgograd (Rusia). La termografía permitió evidenciar que más del 62% de las estructuras presentaron deficiencias, siendo en general problemas ocultos a la vista (defectos de la aislación térmica, problemas en los montajes de las carpinterías, etc.). La mitad de las estructuras fueron susceptibles a condensación y formación de hongos. Por otra parte, la simulación numérica permitió detectar condiciones de anomalías térmicas en las zonas de las columnas y proponer algunas soluciones en cuanto al espesor y montaje de la aislación. En relación al envejecimiento de la envolvente, es interesante la experiencia de Nardi *et al.* (2016), quienes estudiaron mediante termografía los efectos del envejecimiento de la envolvente sobre la eficiencia térmica, de dos viviendas energéticamente eficientes y bien aisladas con dos tecnologías diferentes de muros, que fueron construidas después del terremoto de L'Aquila (Italia). Dichas viviendas cumplieron en su momento con todas las normativas de eficiencia energética italianas, y luego de 7 años de uso los autores evaluaron su envolvente. En una de las viviendas, se encontró que la performance térmica de la aislación no varió significativamente, pero en la segunda se encontraron aumentos del 59% en la transmitancia térmica, con el consecuente impacto en el consumo energético. Los autores concluyen que los problemas son causados por envejecimiento de los materiales y los efectos del clima, y que deben ser estudiados con mayor profundidad.

En este contexto, se plantea como objetivo del trabajo evaluar la performance energética de la envolvente de un edificio bioclimático de 22 años de antigüedad, construido en 1994 en la provincia de La Pampa. Para ello se utilizó inspección visual, termografía infrarroja, simulación numérica bidimensional y cálculo de verificación de condensación superficial e intersticial.

## DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio bioclimático estudiado está emplazado en la región este de la provincia de La Pampa. Su construcción, en 1994, fue impulsada por la Arq. Alicia Beascochea, directora del Departamento de Arquitectura de la Universidad Nacional de La Pampa. Entre las estrategias de eficiencia energética se incluyeron sistemas solares pasivos, aislación térmica en la envolvente para conservación y ganancia solar directa combinada con masa de acumulación en pisos y paredes. Ventanas al norte en las seis oficinas y áreas transparentes en los quiebres de techo en los laboratorios ubicados en el sector sur, definen la superficie de ganancia directa (Figura 1). Un invernadero integrado en el eje central del edificio completa los 53 m<sup>2</sup> de área colectora, cifra que corresponde a un 17% del área útil del edificio. El edificio posee un área y un volumen de 315m<sup>2</sup> y 631.5m<sup>3</sup>, respectivamente (Filippín *et al.*, 1994).

En la fase de diseño hacia 1994, la elección de los métodos constructivos tuvo especial importancia debido a que se trataba de una obra pública con un presupuesto limitado y a que existían limitaciones del mercado de la construcción en la zona (disponibilidad de materiales y calidad de mano de obra). Por ello se optó por métodos tradicionales, siendo fundamental la facilidad y economía de mantenimiento futuro. Tecnológicamente, la inclusión de masa térmica del edificio se hizo a través de mampostería de “ladrillón mendocino” de 0.18m de espesor en los cerramientos verticales y las paredes interiores. Exteriormente, como estrategia de conservación de la energía, se incorporó a los muros de la envolvente una capa de aislación térmica de poliestireno expandido de 0.05 m de espesor, protegido por un tabique de “ladrillón mendocino” de panderete (R=1.66 °C m<sup>2</sup>/W). La estructura resistente de los cerramientos superiores quedó definida por una losa cerámica prefabricada y como medida de conservación de la energía, una capa de poliestireno expandido de 0.07 m de espesor

( $R=2.58 \text{ } ^\circ\text{C m}^2/\text{W}$ ). Las cubiertas fueron de dos tipos: cubiertas horizontales de tipo invertido, con aislación hidrófuga de membrana con film de aluminio, y cubiertas inclinadas, con chapa galvanizada como protección mecánica e hidrófuga. Las fundaciones del edificio -cimientos corridos con zapatas de hormigón- poseen aislación térmica de poliestireno expandido de 0.05 m de espesor y con una profundidad de 0,60m ( $R=1.66 \text{ } ^\circ\text{C m}^2/\text{W}$ ). La carpintería se construyó con perfilaría de aluminio standard sin ruptura de puente térmico, de hojas dobles corredizas y cortinas de enrollar de PVC con tapa-rollo exterior (tapa rollo aislado con 1plg de lana de vidrio,  $R=0.33 \text{ } ^\circ\text{C m}^2/\text{W}$ ). La fase de construcción se caracterizó por una inspección rigurosa y quedó perfectamente documentada a través de fotografías que se muestran en el presente trabajo.

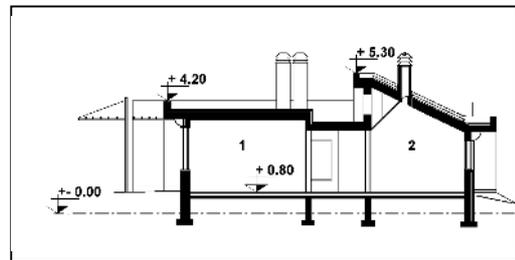
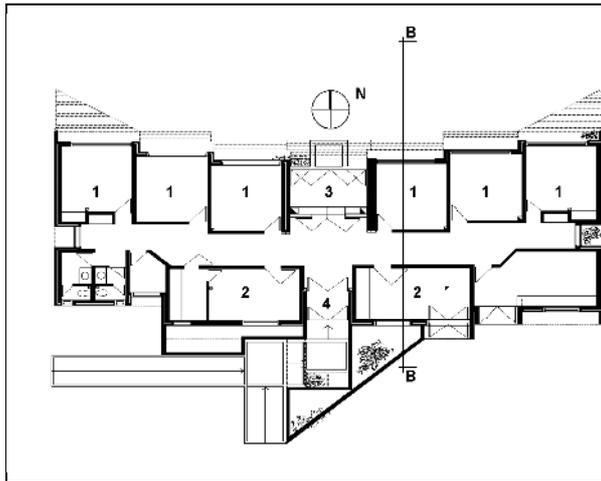


Figura 1: Planta, corte y vista norte (1995).

Según la información recogida sólo se re-pintaron los paramentos interiores de edificio, por lo que la pintura exterior es la original del año 1995. Es necesario aclarar también que la carpintería, sin ruptor de puente térmico y con dos ventanas corredizas de aluminio, era el elemento disponible hacia 1994 y lo económicamente factible con la disponibilidad presupuestaria para construir un edificio de construcción convencional.

#### *Historial del monitoreo en la fase de operación (1999)*

El edificio se habilitó en julio de 1995. Se inició en forma inmediata un plan de monitoreo en condiciones reales de ocupación con el objeto de evaluar su comportamiento térmico. A pesar de que la situación del edificio no era la óptima -por el alto contenido de humedad de construcción- y que el número de sensores no era el adecuado, estas mediciones permitieron conocer, en una primera aproximación, la respuesta térmica de una parte del edificio. Para conocer el ambiente exterior se dispuso de datos de una estación meteorológica ubicada a 100m del edificio. Con un Sistema de Adquisición de Datos METOS 93 facilitado por la Facultad de Agronomía y ante la disponibilidad, en principio, de un único sensor para temperatura y humedad, las primeras mediciones horarias por un período prolongado de tiempo correspondieron a una de las oficinas en condiciones reales de uso. Según lo informado por los ocupantes, no se usó calefacción auxiliar y las cortinas de enrollar se levantaron totalmente a las 8AM y se cerraron a las 18PM. Las amplitudes térmicas fueron de 6 y 19°C, en el interior y el exterior respectivamente. Las condiciones interiores de temperatura y humedad en la oficina se ubicaron, según el diagrama bioclimático de Givoni, dentro de la zona de confort de invierno. Para una velocidad promedio del aire interior de 0.03 m/seg, registrada a través de un termo-anemómetro de hilo caliente, 22°C de temperatura interior y 50% humedad relativa promedio, 1.2 met de actividad metabólica y 1.0 clo (nivel de vestimenta), corresponde una Temperatura Operativa de 21.5 °C. Para estas condiciones, el 80% de los usuarios estaría trabajando en condiciones térmicas aceptables (ISO 7730,1994).

En el verano se amplió el sector de mediciones a toda el ala Este del edificio. Con un Sistema de Adquisición de Datos BAPT del Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda de Mendoza, se monitoreó el ala Este durante 15 días, en febrero de 1996, sin refrigeración artificial. Se registraron temperaturas interiores de 27.4 y 26.6 °C (máxima y mínima, respectivamente). Según el diagrama de Givoni, el ambiente interior se ubicó en el límite del área de confort sin ningún tipo de acondicionamiento artificial. La incorporación de la ventilación como estrategia de refrescamiento favoreció la situación de bienestar. En función del diagrama de temperaturas efectivas y porcentajes de individuos confortables en verano, para una temperatura interior promedio de 27°C para el período monitoreado y una humedad relativa del 50% ,corresponde una temperatura efectiva de 22°C y un 90% de individuos confortables en verano (Filippín *et al.*, 1996; Filippín *et al.*, 1998).

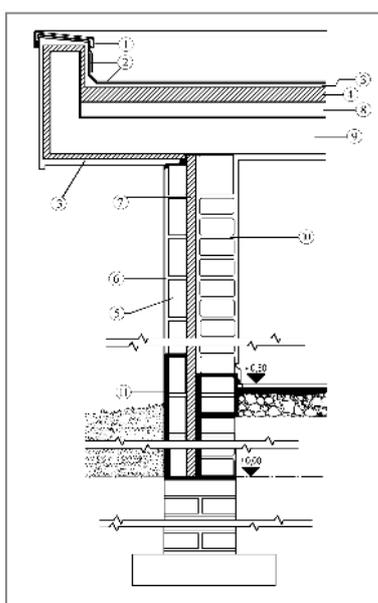
Durante el otoño de 1999 se midió el ala oeste del edificio, en el marco del proyecto BID 802/OC-AR-PICT N°13-00000-01895 ‘Sistemas Pasivos e híbridos de Refrescamiento’. Los resultados corresponden al período comprendido entre el 25 de marzo y 1° de abril de 1999, abarcando días soleados y nublados. Debido a la gran ganancia solar por ventanas y la importante aislación periférica del edificio las temperaturas medias de los locales ocupados se ubicaron entre 20 y 23 °C, cuando la media externa fue de sólo 15 °C. De acuerdo a la opinión de los ocupantes del edificio, la sensación térmica dentro de él fue confortable a lo largo de todo el año. Más detalles se encuentran en el trabajo de Hernández *et al.* (1999).

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE

La evaluación se realizó en la primera semana de junio de 2017 en el muro sur de edificio. Se eligió el muro sur y un sector en particular, por su mayor vulnerabilidad debido a la ausencia total de asoleamiento y a su exposición a condiciones ambientales externas más agresivas (vientos predominantes del SW). La Figura 2 muestra el sector estudiado (sector A), mientras que la Figura 3 muestra el detalle constructivo y su ejecución en obra.



Figura 2: Sector del edificio a estudiar.



**Referencias muro:**

- 6: revoque
- 5: ladrillón mendocino en panderete
- 7: aislación poliestireno expandido, 0.07m
- 10: ladrillón mendocino 0.18m

Figura 3: Detalle constructivo en fase de diseño, e imagen del mismo en fase construcción

El estudio termográfico para verificar la presencia de puentes térmicos y el estado de conservación del muro se realizó siguiendo las pautas para mediciones en edificios: a primera hora de la mañana para evitar objetos calientes en el entorno, con bajas velocidades de viento, sin lluvia ni humo o smog, sobre superficies no expuestas a la radiación solar directa ni reflejada. Las zonas monitoreadas estuvieron con la calefacción encendida, lo cual permite detectar mejor puentes térmicos. Se utilizó una cámara Testo 870 (FPA silicio amorfo), con banda espectral entre 7.5 y los 14  $\mu\text{m}$ , resolución de 160 x 120 píxeles, rango de medida entre -20 y 280°C y precisión de  $\pm 2$  °C o el 2% del valor medido. La cámara realiza automáticamente la captura de imágenes infrarrojas montada sobre su correspondiente imagen visible. Posee una pantalla LCD para pre-visualizar las imágenes en tiempo real, permitiendo obtener los primeros resultados orientativos in-situ. Para esto se deben ingresar de forma manual los datos de la emisividad de la superficie, la temperatura ambiente y la transmitancia del aire. Las imágenes infrarrojas se guardan en formato BMT (imagen con todos los datos de temperatura) y se analizan con el software IRSoft provisto por Testo en su página web.

Paralelamente, se sensaron las condiciones exteriores e interiores del aire y las temperaturas superficiales de muros. Se midió temperatura, humedad relativa y velocidad del aire en el ambiente exterior con un equipo Testo 435. Se registró temperatura y humedad relativa interior con un adquisidor de datos tipo HOB0. La temperatura superficial de los paramentos se tomó con un equipo láser Testo 830 T4 y un termómetro de contacto Testo 905-T2.

El cálculo por simulación computacional se realizó para el elemento más peligroso de la envolvente: el encuentro entre el muro y el techo. Para ello se utilizó el software THERM, software de modelado 2D de la transferencia de calor en componentes del edificio desarrollado por en LBNL, Lawrence Berkeley National Laboratory – USA, (THERM, 2017). Finalmente, para evaluar el riesgo de condensación superficial e intersticial se utilizó la planilla de cálculo CEEMA2CON (Gonzalo, 2013).

## **RESULTADOS DE LA TERMOGRAFÍA**

La temperatura, la humedad del aire exterior y la velocidad del aire a las 9:30AM fueron de 10°C; 85% y 1.5 m/s, respectivamente, con cielo claro. En el interior del sector estudiado, la temperatura del aire durante el monitoreo fue de 18°C. Las medidas directas superficiales fueron: en el paramento interior 17.8°C (junto a la ventana), 18.7°C (pared lindera con office), 18.9°C (pared lindera con pasillo), 22.5°C (cielorraso). En el paramento exterior, las temperaturas sensadas fueron: 12.4°C (a 2.6m de altura), 12.1°C (a mitad de la pared), 11.5°C (debajo de la ventana). Las figuras 4 a 10 muestran los resultados termográficos para el paramento, la carpintería y los techos del edificio en el sector estudiado.

### *Paramento exterior*

La Figura 4 muestra la esquina superior izquierda del paramento sur (desde el lado exterior). En la imagen visible se observa la presencia de moho en la esquina, lo cual podría asociarse en principio con un problema en la aislación térmica. Sin embargo, en la termografía se observa un ángulo caliente, situación que no indicaría un problema ausencia de aislación, porque en ese caso, al ser invierno, sería al revés (se lo debería ver más frío). El punto caliente se explica por el efecto de rebote de la radiación térmica en zonas convexas, que hace aparentar mayor temperatura. La temperatura del paramento hacia los 2.60m de altura es de alrededor de 9 °C. Merece recordar que, si bien los valores de temperatura obtenidos por termografía no son muy precisos (precisión de  $\pm 2$  °C en este caso), sí es precisa la medida de diferencias de temperatura entre dos puntos en un mismo termograma. En las secciones siguientes se analiza por simulación bidimensional el encuentro entre el muro y el techo.

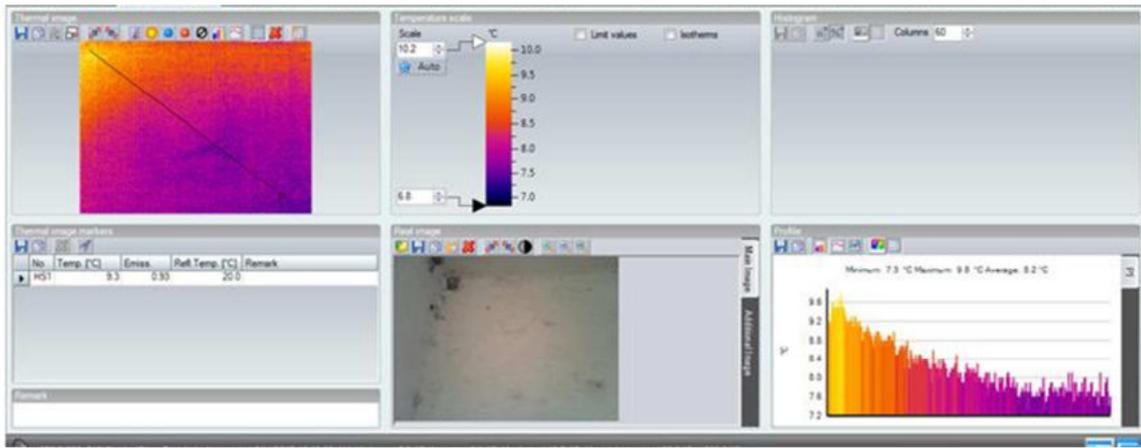


Figura 4: termografía de la esquina superior izquierda del paramento sur (lado interior).

### Carpintería

En la Figura 5, las termografías tomadas desde el exterior evidencian las pérdidas por el marco de la carpintería de aluminio. También se puede comparar la temperatura de la pared (alrededor de 8°C), con la del vidrio (alrededor de 9°C) y la del marco (11.5°C). La mayor temperatura del marco indica que existen pérdidas de calor por el mismo. En el sector del tapa-rollo la temperatura se aproxima a la temperatura de la pared y es bastante homogénea, situación que permite suponer que la aislación térmica de aquel aún se encuentra en buen estado de conservación. No se observa que el tapa-rollo hubiera sido removido para algún arreglo específico de la cortina. La figura 6 muestra el detalle del tapa-rollo externo.

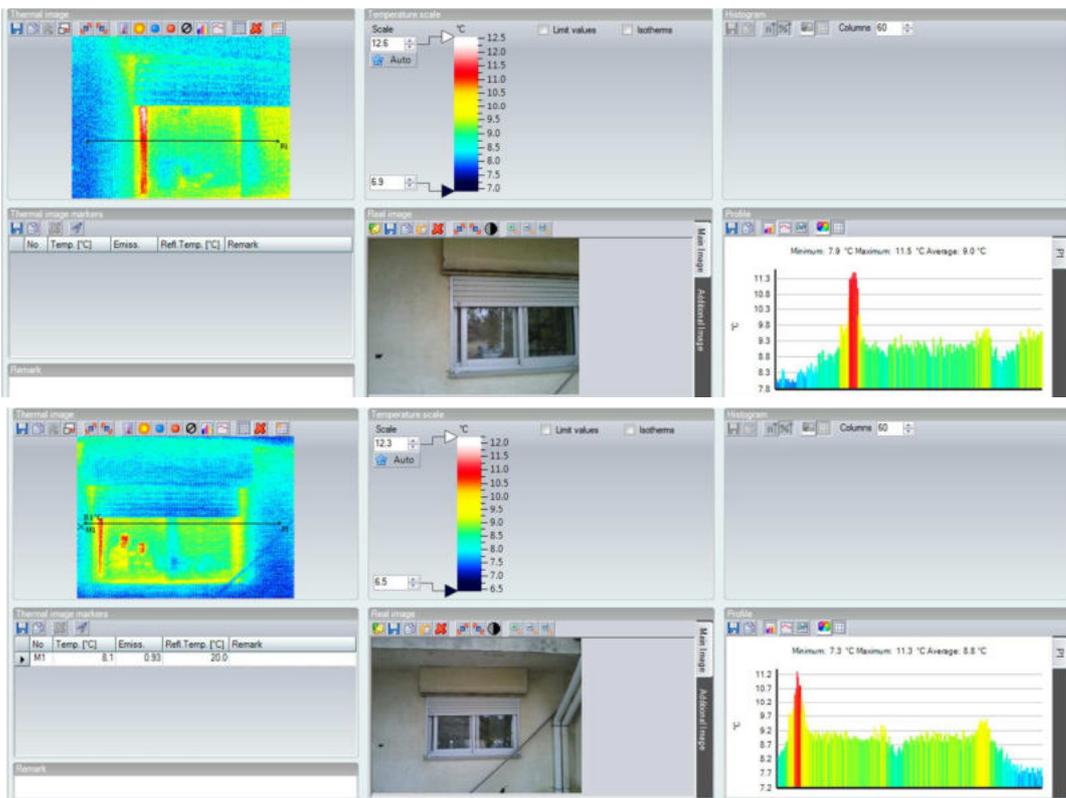


Figura 5: Imágenes de la carpintería del muro sur.

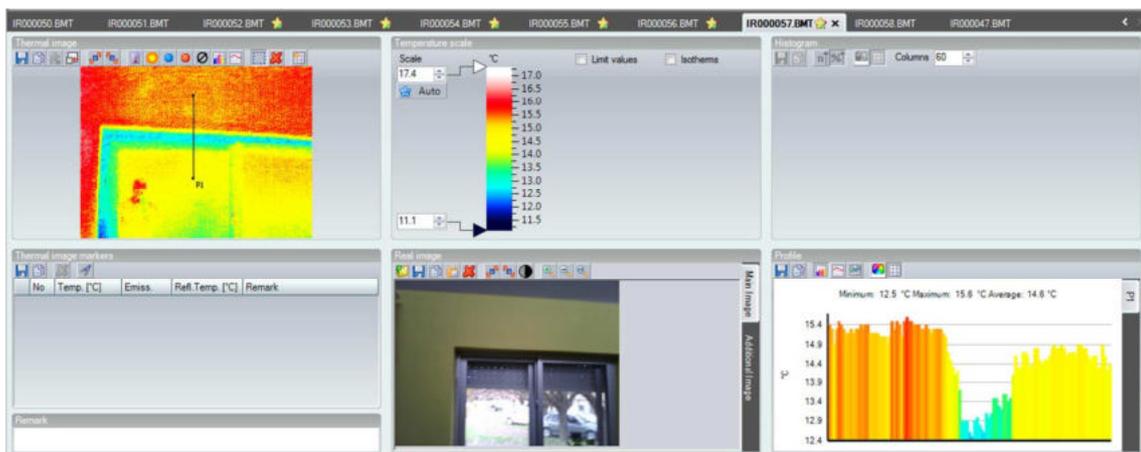


*Figura 6 Ventanas en fachada norte para mostrar el detalle del tapa-rollo externo y su cobertura (se repite en la carpintería del muro sur)*

En la figura 7 se observa una imagen en el interior del laboratorio en su pared sur. La ventana desde el interior del edificio muestra, nuevamente, las pérdidas por el marco de aluminio. Al tener la carpintería de aluminio dobles ventanas corredizas (única tecnología disponible al momento de la construcción), se mejora enormemente la hermeticidad y se minimiza la pérdida de calor respecto de si se hubiera usado vidrio simple. Por esta razón, la temperatura del vidrio (14.6°C) es bastante parecida a la pared (15.3°C). Se observa además un buen cierre entre las dos hojas corredizas de la carpintería (buena hermeticidad), puesto que no hay zonas más frías en el centro de la ventana a la altura de la unión de las hojas. También es posible observar que, a la altura del tapa-rollo, la temperatura está 1°C por debajo de la temperatura de la pared hacia la izquierda (16°C), debido al efecto del calefactor (ubicado hacia la derecha).

#### *Techos*

La figura 8 muestra con claridad el puente térmico que genera la losa prefabricada, aún con la aislación térmica de 7cm y una cámara de aire resultado del espacio que genera la correa para anclar la chapa de la cubierta inclinada del área sur (ver detalle de obra en construcción figura 9). El puente térmico es causado por las viguetas (no por las correas metálicas, que van en sentido perpendicular al observado). Las diferencias de temperatura entre la zona del puente térmico y el resto del área es de aproximadamente 1°C. Además se observa que las temperaturas del cielorraso son mayores a las de los muros y ventanas, debido a la estratificación del aire caliente proveniente de la calefacción.



*Figura 7: Imagen desde el interior del laboratorio.*

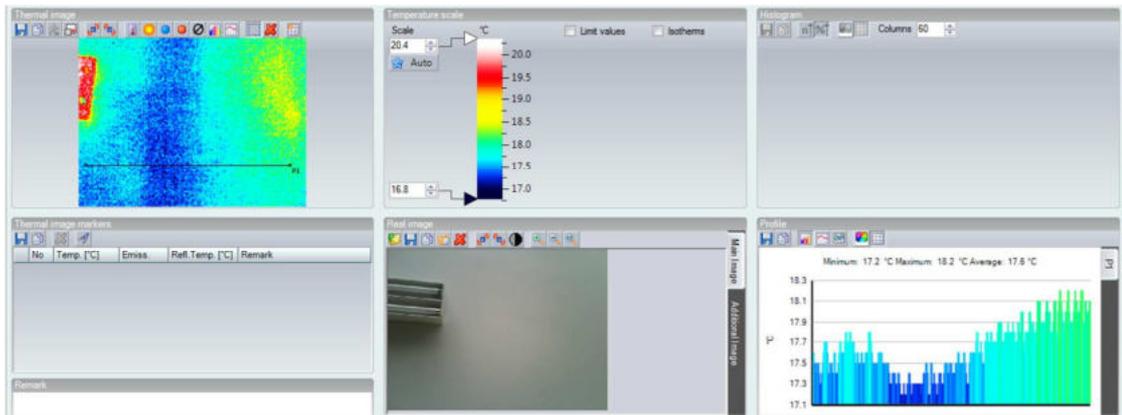


Figura 8: Termografía del cielorraso en donde se observa un puente térmico.



Figura 9: detalle de la cubierta en el área laboratorio durante su construcción.

#### Otros elementos

La Figura 10 muestra la conexión entre el laboratorio y el pasillo (pared y puerta). El muro es de ladrillón macizo de 0.18m de espesor, revocado en ambas caras. La ventanilla en la parte superior de la puerta fue planteada en su oportunidad como elemento para maximizar el movimiento del flujo de aire entre el sector sur y el pasillo tratando de disminuir la zonificación térmica entre áreas funcionales solarizadas y no solarizadas. Se observa estratificación térmica.

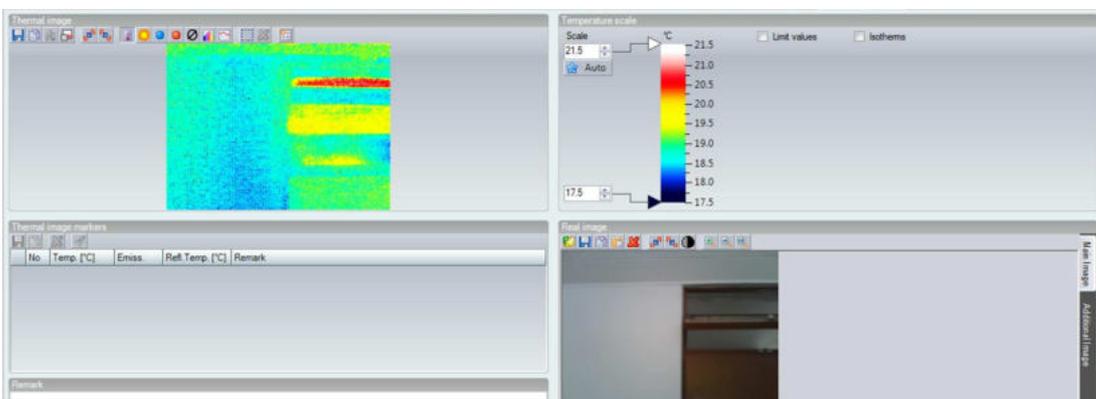


Figura10: Imagen en la pared interior conexión entre laboratorio y el pasillo

## RESULTADOS DEL CÁLCULO DE RIESGO DE CONDENSACIÓN

A partir de los valores medidos de temperatura y humedad relativa y velocidad de viento en el exterior, se calculó mediante la planilla CEEMA2CON la temperatura de cada capa y el riesgo de condensación. Este cálculo es estimativo, puesto que supone estado estacionario que en la realidad no se verifica con exactitud. Sin embargo, permite conocer si existirá riesgo de condensación. La planilla calcula la temperatura sobre el revoque interior en alrededor de 17.4°C, valor que se aproxima a la temperatura de contacto registrada con equipo. Con estos valores el muro no condensa ni superficialmente ni intersticialmente. Es de suponer que la transmisión de calor luego de 22 años no se ha modificado sustancialmente acorde con los resultados de una inspección visual que no indican deterioro en los paramentos interiores aunque si cierto envejecimiento en el revoque exterior propio de su exposición a la agresividad del ambiente, intensificado por la orientación al sur de la pared.

VERIFICACION CONDENSACION INTERSTICIAL			
Nº CAPA	TEMP.	TEMP.ROCÍO	VERIFICACIÓN
Aire interior	18.00		
REVOQUE INTERIOR	17.45	4.75	NO CONDENSA
LADRILLO COMUN	17.39	4.86	NO CONDENSA
PINTURA ASFALTICA	16.79	5.39	NO CONDENSA
POLIESTIRENO EXPANDIDO	16.76	5.71	NO CONDENSA
LADRILLO COMUN DE PANDERETE	10.76	6.72	NO CONDENSA
REVOQUE EXTERIOR	10.43	6.98	NO CONDENSA
0	10.38	7.08	NO CONDENSA
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
Superficie exterior	10.00	#N/A	#N/A
Aire exterior	10.00		

Tabla 1: Estimación de la temperatura en cada una de las capas a través del programa CEEMA2CON (Gonzalo, 2013)

VERIFICACION CONDENSACION INTERSTICIAL			
Nº CAPA	TEMP.	TEMP.ROCÍO	VERIFICACIÓN
Aire interior	18.00		
REVOQUE INTERIOR	16.36	4.75	NO CONDENSA
LADRILLO COMUN	16.16	4.28	NO CONDENSA
PINTURA ASFALTICA	14.36	1.88	NO CONDENSA
POLIESTIRENO EXPANDIDO	14.27	0.26	NO CONDENSA
LADRILLO COMUN DE PANDERETE	-3.73	-6.03	NO CONDENSA
REVOQUE EXTERIOR	-4.70	-7.93	NO CONDENSA
0	-4.87	-8.70	NO CONDENSA
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
Superficie exterior	-6.00	#N/A	#N/A
Aire exterior	-6.00		

Tabla 2: Estimación de la temperatura en cada una de las capas a través del programa CEEMA2CON con temperatura mínima de diseño -6°C y 73% de humedad relativa según Norma IRAM 11603, Esquema 1, 2011(Gonzalo, 2013)

La norma IRAM 11605 (1996) recomienda valores máximos de K para evitar condensación en condiciones críticas, para aristas superiores y rincones. Según nivel de confort, recomienda 1.15 W/m<sup>2</sup>K para el nivel A, y 1.20 W/m<sup>2</sup>K para el nivel B.

## SIMULACIÓN BIDIMENSIONAL DEL ENCUENTRO MURO-TECHO

Por último con el software THERM se estudió térmicamente el encuentro entre muro y techo. La Figura 11 muestra un esquema de los detalles constructivos del encuentro entre el doble muro (desde el exterior: ladrillo macizo en panderete+aislación+ladrillo macizo) y el techo (desde el exterior: aislación hidrófuga de membrana con film de aluminio+ poliestireno expandido de 0.07 m de espesor + contrapiso de hormigón pobre + losa cerámica prefabricada). La simulación en la Figura 11 muestra que no hay puente térmico debido a que la aislación térmica envuelve el encuentro

muro-techo. Los valores superficiales de temperatura sobre los paramentos están en el rango de las mediciones realizadas con distinto equipamientos.

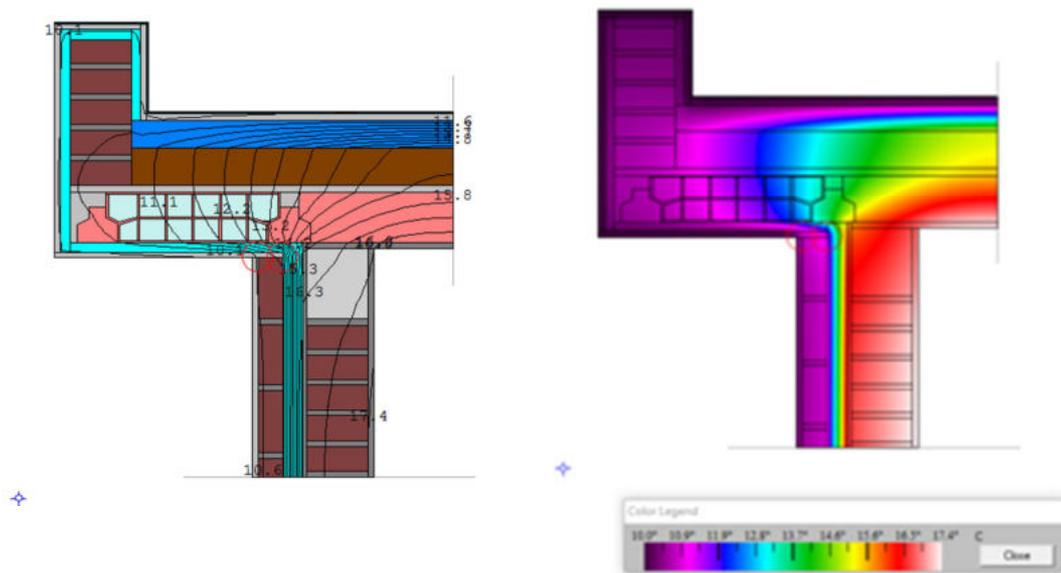


Figura 11: Encuentro entre muro exterior aislado y techo aislado (izquierda: detalle constructivo, derecha: análisis con THERM).

La Figura 12 muestra la simulación realizada para los techos inclinados. Estos techos están compuestos por chapa galvanizada como protección mecánica e hidrófuga, cámara de aire, aislación térmica de 0.07m de poliestireno expandido y losa cerámica prefabricada. No se observa tampoco puente térmico del techo (área laboratorio), situación que sí se observó en la imagen termográfica, quizás asociada alguna patología que requiera un análisis particularizado.

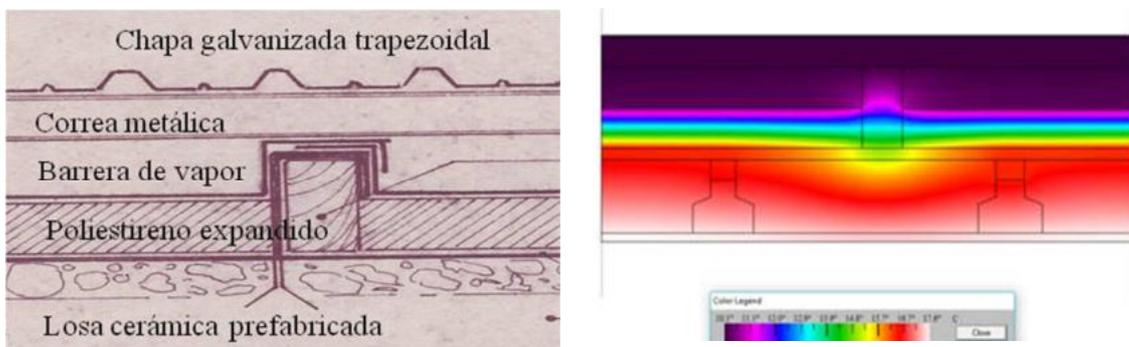


Figura 12: Losa cerámica. Aislación térmica, cámara de aire y cubierta de chapa.

## CONCLUSIONES

El análisis realizado sobre el sector A de la envolvente del Pabellón de Ecología muestra que no hay patologías constructivas relevantes, luego de 22 años de uso. Este resultado permite inferir que el sistema constructivo utilizado en muros y techos fue adecuado y que soporta adecuadamente el paso del tiempo, a diferencia de otros sistemas constructivos aislados como el descrito en Nardi *et al.* (2016), que en menos de 7 años ya evidenció considerables deficiencias. Consideramos que fue crucial la inspección meticulosa en obra al momento de la instalación de las aislaciones, lo cual aseguró la correcta instalación de las mismas. En cuanto a las propiedades térmicas de los materiales debido al envejecimiento natural de los mismos, para poder establecer el grado de deterioro de su capacidad de aislación sería necesario complementar con medidas in-situ de la resistencia térmica. La termografía infrarroja muestra, nuevamente, su excelente capacidad para ser utilizada como herramienta de diagnóstico.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto ANPCYT PICT 2014-2605. Las autoras agradecen a la Arq. Pía Mazzocco por los cálculos con el software THERM y al Sr. Armando Haberkon por su colaboración en la toma de las imágenes termográficas. Nuestro agradecimiento al Sr. Decano de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, Dr. Ing. Agr. Gustavo Fernandez y al Profesor, Dr. Daniel Estelrich, aún es un usuario e impulsó el diseño y la construcción de este edificio experimental en 1994. .

## REFERENCIAS

- ASTM – American Society for Testing and Materials – Comité G-3. Book of ASTM Standards (1988).
- Filippín C., Esteves A., De Rosa C., Pattini A., Beascochea, A., (1994). Diseño de un Gabinete de Investigación Ecológica para la Universidad Nacional de La Pampa. Actas de la XVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar. Rosario, Argentina. 1: 119-126.
- Filippín C., Beascochea A., Esterlich, D. (1995). Gabinete de Investigación Ecológica para la Universidad Nacional de La Pampa. Primeros Resultados. Actas de la XVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar. San Luis, Argentina. 1: 02.53-02.60.
- Korniyenko S. (2015). Evaluation of Thermal Performance of Residential Building Envelope. *Procedia Engineering* Volume 117, 2015, Pages 191-196.
- González-Aguilera, D., Rodríguez-González, P., Armesto, J., Lagüela, S. (2012). Novel approach to 3D thermography and energy efficiency evaluation. *Energy and Buildings*, 54, pp. 436–443.
- González Mora, R. (2005). Vida Útil Ponderada de Edificaciones. Tesis Profesional Ingeniería Universidad de San José, Costa Rica.
- Gonzalo, G. (2003). Manual de Arquitectura Bioclimática. Programa para el cálculo de transmitancia térmica, CEEMA, IAA, FAU, UNT. Editorial Nobuko.
- Guerra Santin O., Itard L., Visscher H. (2009). The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock, *Energy and Buildings* 41 (11), 1223 - 1232.
- Hernández A., Salvo N., Filippín C., Lesino, G., (1999). Medición del comportamiento térmico del ala oeste del edificio de ecología de la Facultad de Agronomía de la UNLPam. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 3 (1), 08.113-0.8.116.
- Nardi I., de Rubeis T., Perilli S. (2016). Ageing Effects on the Thermal Performance of Two Different Well-insulated Buildings. *Energy Procedia* 101, pp. 1050-1057.
- Taylor, T., Counsell, J., Gill, S. (2014). Combining thermography and computer simulation to identify and assess insulation defects in the construction of building façades *Energy and Buildings*, 76, pp. 130–142.
- THERM (2017). Two-Dimensional Building Heat-Transfer Modeling. Disponible en: <https://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>. Último acceso: 20/07/2017.
- Vidas, S., Moghadam, P. (2013). HeatWave: A handheld 3D thermography system for energy auditing. *Energy and Buildings*, 66, pp. 445– 460.

## ABSTRACT

The energy performance of the building envelope is a key factor in the energy consumption of buildings. This performance undergoes a process of deterioration throughout the life of the building, due to both the aging of the materials and the response of the building systems to the aggressiveness of the external environment. The usual techniques that perform this evaluation are infrared thermography, as a qualitative method of detection of pathologies, in-situ measurements and numerical simulation. The present work describes the evaluation of a bioclimatic building belonging to the National University of La Pampa, a 22 years old building, using infrared thermography and two - dimensional numerical simulation. Although the building did not have rigorous maintenance, no significant pathologies were found in the envelope, which shows that the construction systems properly supported the time course.

**Keywords:** building envelope, energy auditing, infrared thermography.