

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TERMO ENERGÉTICO DE LAS ENVOLVENTES. Termografía y simulación de puentes térmicos del edificio oeste, FAUD, UNC.

Eje 3: Diseño y ahorro energético para la sustentabilidad: Eficiencia energética.
Energías renovables y energías limpias Diseño bioclimático. Certificaciones.
Etiquetación. Sistemas e instalaciones sustentables.

SÁNCHEZ, Gabriela; CALVO, María Lucía; ÁVALOS, Ana Sofía; GATANI, Mariana.
Mail: mgatani@hotmail.com, marialuciacalvo@gmail.com, gabysan@hotmail.com
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, UNC. Av. Vélez Sarsfield 264 –
Córdoba.

Palabras clave: TERMOGRAFÍA, ENVOLVENTES, SIMULACIÓN, PUENTES
TÉRMICOS.

RESUMEN

El diseño de las envolventes determina el desempeño con eficiencia energética y bajo impacto ambiental de edificios. La conformación de las envolventes otorga diferentes condiciones de confort, calidad para la conservación de energía, valores de conductancia y transmitancia térmica, y comportamientos de absorptividad y reflectividad solar. Además, las envolventes se componen tanto de materiales opacos como transparentes a la radiación solar, con consecuentes variaciones en valores de emisividad y capacidad térmica.

El presente artículo es resultado de los proyectos SECyT 2016-2017 y 2018-2021 titulados “Evaluación del desempeño energético y de la viabilidad de diseño, dimensionado y aplicación de energía fotovoltaica en el edificio FAUD, UNC” y “Evaluación energética de edificios institucionales. Simulaciones, monitoreo y cálculo de cargas térmicas, demandas y consumos”. Mediante evaluación instrumental y simulación con software se analizó el comportamiento térmico energético del edificio, para validar herramientas y resultados, aplicar una metodología completa de análisis y proponer estrategias de mejora de las condiciones de habitabilidad, confort térmico, calidad de vida de los usuarios, ahorro y eficiencia energética.

El objetivo del artículo es detectar y evaluar los puentes térmicos de las envolventes del edificio oeste de la FAUD-UNC.

La metodología adoptada incluyó un análisis cualitativo termográfico de las envolventes este y oeste utilizando una cámara Testo 875 y el procesamiento de los termogramas con el software IrSoft. A partir de la detección de encuentros críticos mediante la termografía, se evaluaron los puentes térmicos con simulación, utilizando el software Therm 7.6. Se diseñaron y evaluaron propuestas de mejora.

INTRODUCCIÓN

La performance energética de la envolvente edilicia es un factor clave en la demanda energética 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 elementos constructivos a la agresividad del ambiente externo. Las técnicas más utilizadas para realizar esta evaluación son termografía infrarroja, como método cualitativo de detección de patología, y evaluación de puentes térmicos, mediciones in situ y simulación con softwares (C. Filippin; S. Flores Larsen, 2017).

Se define como puente térmico a una heterogeneidad en una pared o techo que ocasiona un mayor flujo de calor, favoreciendo así la posibilidad de que se produzca condensación superficial, relacionada ésta con las condiciones de salubridad de los ocupantes del edificio, y la durabilidad de las envolventes. Las condensaciones producidas por puentes térmicos generalmente se localizan en: pisos, juntas esquinas, instalaciones, marcos de carpinterías y estructuras como vigas, columnas y encadenados (Norma IRAM 11.549, 2002). La Ley Nacional 13.057 (2003) regula la aplicación de la Norma IRAM 11605 que establece que en todos los casos la transmitancia térmica correspondiente a un puente térmico, no puede ser mayor que una vez y medio el valor de la transmitancia térmica del cerramiento opaco.

La Norma IRAM 11.625 regula el control del riesgo de condensación bajo condiciones de uso corriente para sectores centrales y opacos de las envolventes. La Norma IRAM 11.630 y el anexo A de la IRAM 11.605 considera el riesgo de condensación en los puntos más comprometidos, tales como las aristas interiores, piso-pared, pared techo.

La termografía infrarroja es una técnica no invasiva para verificar el estado de aislaciones y puentes térmicos de la envolvente, permitiendo determinar la distribución superficial de la temperatura del área a analizar y detectar diferencias de temperatura entre elementos que pertenecen a un mismo cerramiento (S. Flores Larsen, M. Hong, 2012).

METODOLOGÍA

La tabla 1 describe la metodología de trabajo adoptada

Tabla 1: metodología del trabajo

1 Breve caracterización climática Córdoba	Definición de condiciones higrotérmica exteriores e interiores según Norma IRAM 11.603 (2011), TMD y TID de IRAM 11.625 (Tabla 2). Cálculo de las condiciones de la humedad interior de diseño.
2 Análisis del caso de estudio	Análisis de las envolventes: composición y encuentros.
3 Termografía	Detección de puntos críticos donde se genera un puente térmico. Instrumento utilizado: cámara termográfica Testo 875 – $1i < 50$ mK para tomar mediciones infrarrojas de los sectores de interés. Procesamiento de los termogramas mediante el software IRSoft, con método de comprobación simplificada según EN 13.187. Termogramas obtenidos durante el solsticio de invierno.
4 Simulación de puentes térmicos	Con el software THERM 7.6 para modelado 2D de la transferencia de calor en componentes del edificio (LBNL-USA- Therm, 2017) se realiza la simulación de los puntos críticos detectados con la termografía infrarroja. Solsticio de invierno: se toma como condición de borde interior 18°C, exterior -2,9 °C y condición de borde adiabática para elementos en contacto. Los valores de resistencia térmica interior se consideran según la IEA (Agencia Internacional de Energía) R_{si} (m ² K/w) = 0,25, valores indicados para puntos singulares como aristas y rincones, R_{si} (m ² K/w) = 0,04 para los paños centrales de las envolventes. Las condiciones de contorno determinadas utilizando la opción simplificada de 4 encuentros críticos.

5 Propuestas de mejoras en puntos críticos de envolventes.	Propuesta de mejora en la envolvente a partir del análisis de la simulación con Therm de los puentes térmicos.
6 Evaluación de mejoras.	Simulación de las propuestas de mejoras con el software Therm 7.6.
7 Conclusiones	Discusión de resultados y recomendaciones.

CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA DE CÓRDOBA Y ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio es el edificio oeste de la FAUD-UNC, ubicado en ciudad universitaria, Córdoba. Se encuentra en la zona Bioambiental IIIa de clima templado cálido húmedo. En esta zona los inviernos son relativamente benignos, con valores de temperaturas mínimas medias de 3,5 °C y los veranos son calurosos con máximas medias de 34,1 °C y amplitudes térmicas mayores a 14 °C. Los requerimientos de grados días son para calefacción 1.000 y para refrigeración 900.

Se definieron las condiciones higrotérmicas exteriores, se considera como temperatura mínima de diseño para Córdoba (TMD) de invierno -2,9 °C (IRAM 11603-2011). En tanto, para definir las condiciones higrotérmicas interiores, se considera la temperatura interior de diseño (TID) según tabla 2- IRAM 11625 con destino enseñanza 18 °C. Las condiciones de humedad relativa (%) interior de diseño según cálculo es 65% y la exterior es 90%.

El edificio está resuelto con sistema constructivo de H°A° y vidrio. Las envolventes verticales están constituidas con muros de H°A° macizo a la vista de 0,20m de espesor sin aislación térmica, con diferentes resoluciones formales en las distintas orientaciones. La cubierta es tradicional sobre losas casetonadas de H°A, en primer piso y losa maciza en techo.

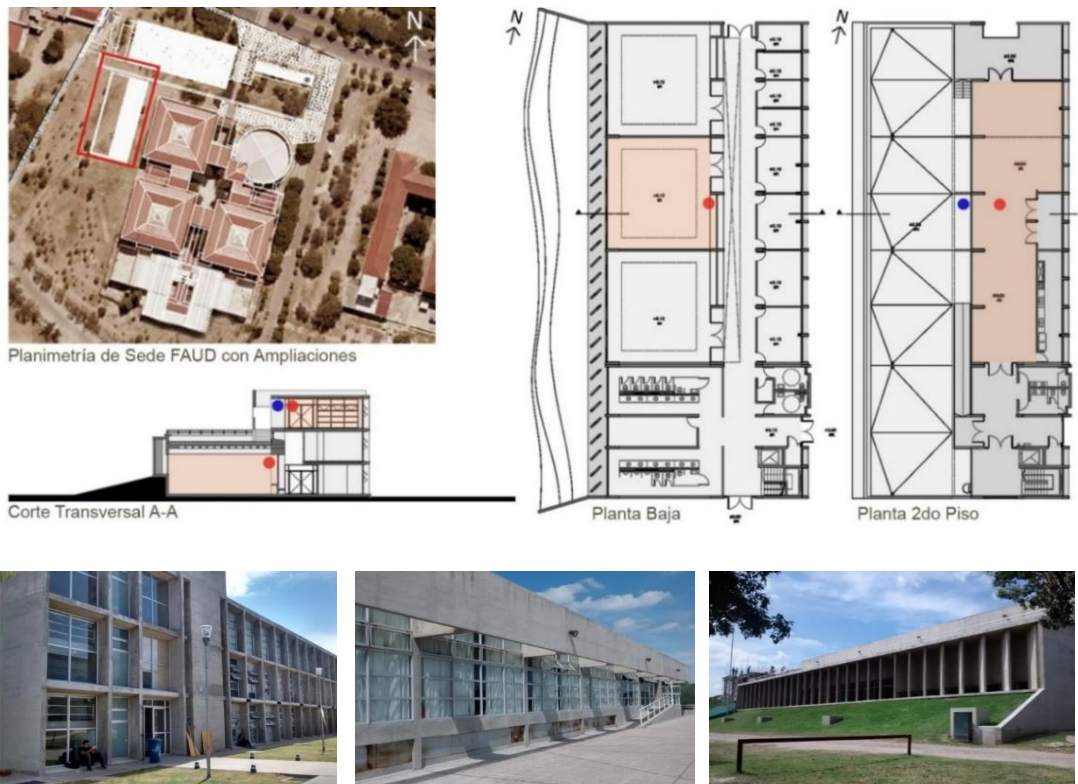


Fig. 1: Plantas, corte y fotografía del edificio ampliación oeste FAUD.

Las envolventes del edificio están constituidas con materiales caracterizados en tabla 2, que le otorgan diferentes condiciones de calidad para la conservación o disipación de la energía.

Tabla 2: Materiales de las envolventes del edificio oeste, FAUD UNC

Material	Densidad Kg/m ³	Capacidad Térmica J/Kg°K	Conductividad Térmica w/m°K	Absortancia (a)	Emitancia (e).
H° 0,20 m	1.800	1000	1,17	0,70	0,94
Vidrio simple 6 mm	2.700	900	0,81	0,06	0,77
DVH	2.700	900	0,81	0,06	0,77
Aluminio	2.800	910	200	0,9	0,8

Tabla 3: Verificación de la Ley 13057 de los principales materiales constitutivos de las envolventes

K Molón de PE	K nervio H°A°	Transmitancia del PT no > a 1,5 vez a la del cerramiento opaco
0,103 w/m ² K	3,23 w/m ² K	No verifica
K DVH	K Tabique H°A	Transmitancia del PT no > a 1,5 vez a la del cerramiento opaco
3,26 w/m ² K	5,88 w/m ² K	No verifica- máx. admisible 4,89 w/m ² K

TERMOGRAFÍA

En las fotografías infrarrojas (figura 2) se observa un encuentro crítico entre el marco de la abertura de aluminio y la franja del tabique de H°A° contigua al marco, donde se percibe menor temperatura que en el resto del tabique. A este encuentro se lo llama Encuentro A.

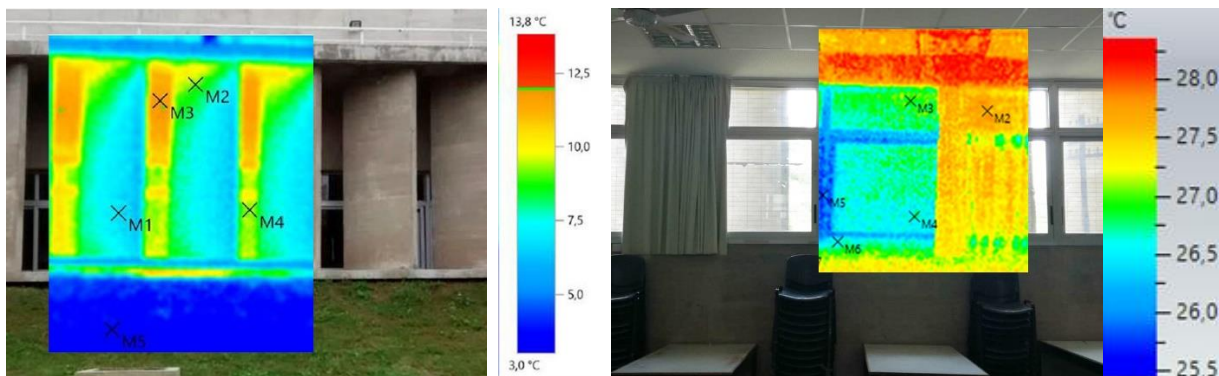


Fig. 2: Encuentro A: talud de tierra, antepecho de H°A y tabique de H°A en taller de PB

La fotografía de la figura 3 corresponde al espacio entre cielorraso y losa casetonada de H°A° con molones de PE y el tabique H°A° en contacto con la losa. Se observa un puente térmico en los nervios de la losa y en el tabique lateral. Este encuentro crítico se lo llama Encuentro B.

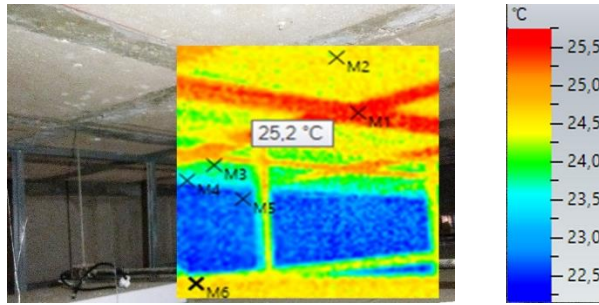


Fig. 3: Encuentro B: techo y tabique H°A° taller planta baja.

En la fotografía de la figura 4 se observa el encuentro de losa de H°A° de la última planta, el tabique y la abertura de aluminio. Se observa una importante diferencia de temperatura en el vértice superior, demostrando la presencia de un puente térmico. Este encuentro crítico se lo llama Encuentro C.

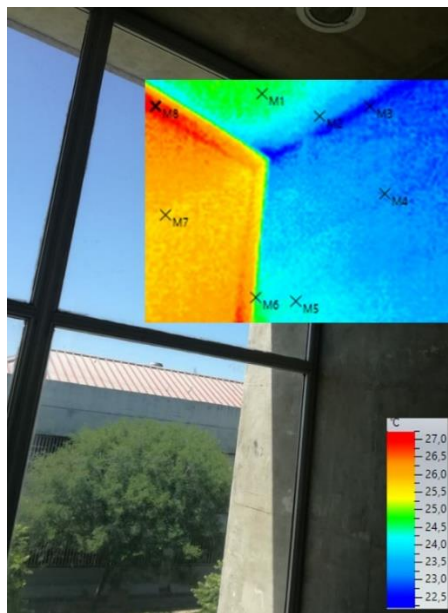


Fig. 4: Encuentro C: techo y viga planta alta este

Se observa un puente térmico en el encuentro entre el piso de H°A°, marco de aluminio y antepecho exterior de H° a nivel de piso. Este encuentro crítico se lo llama encuentro D (figura 5).

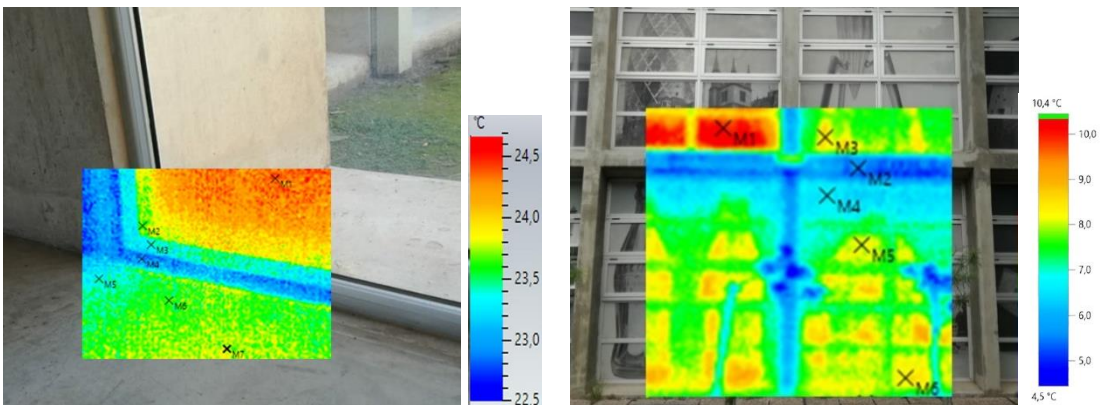


Fig. 5: Encuentro D: piso y vereda perimetral fachada este.

ANÁLISIS DE PUENTES TERMICOS: detalles y simulación de situación inicial y mejorada

Se analizan los principales puntos críticos detectados. Se describe el detalle constructivo actual y una propuesta de mejora en cada caso. Seguidamente se simulan ambas situaciones.

1- Encuentro A

El encuentro está compuesto por un tabique semienterrado de H° A° de 20 cm de espesor sin aislación.

El talud semienterrado se encuentra en contacto irregular con el antepecho y tabique de H°A°, dejando sectores expuestos a las condiciones exteriores. Como consecuencia, la temperatura superficial de la cara interior del tabique va disminuyendo en sentido vertical, desde el piso hacia la ventana, definiendo una franja más fría que el resto del tabique (fig. 6) con una temperatura superficial de 6 °C, temperatura inferior a la Temperatura de Punto de Rocío definida en 11°C (TPR).

La propuesta 1 (figura 7) agrega un revoque aislante de vermiculita (densidad aparente Kg/m3 475, conductividad térmica W/m k 0,12), aplicado del lado exterior de la pared y el antepecho. Esta opción modifica las condiciones de temperatura superficial interior del tabique de H°A° con una diferencia de 4,4°C por encima en el punto más desfavorable, pero aún por debajo de la TPR. Se conserva el talud de tierra con sus propiedades de inercia.

La segunda opción (figura 8) consiste en aplicar en el interior del edificio una barrera de vapor, aislación térmica de poliestireno expandido (PE) de 2 cm de espesor y placa de yeso. Esta opción presenta una ejecución más sencilla y permite alcanzar una temperatura interior superficial homogénea superior a la TPR lo que evita el puente térmico. Se alcanza una mejora de 8,9 °C tomado en el punto interior más frío del encuentro entre el tabique y el antepecho de H°A°.

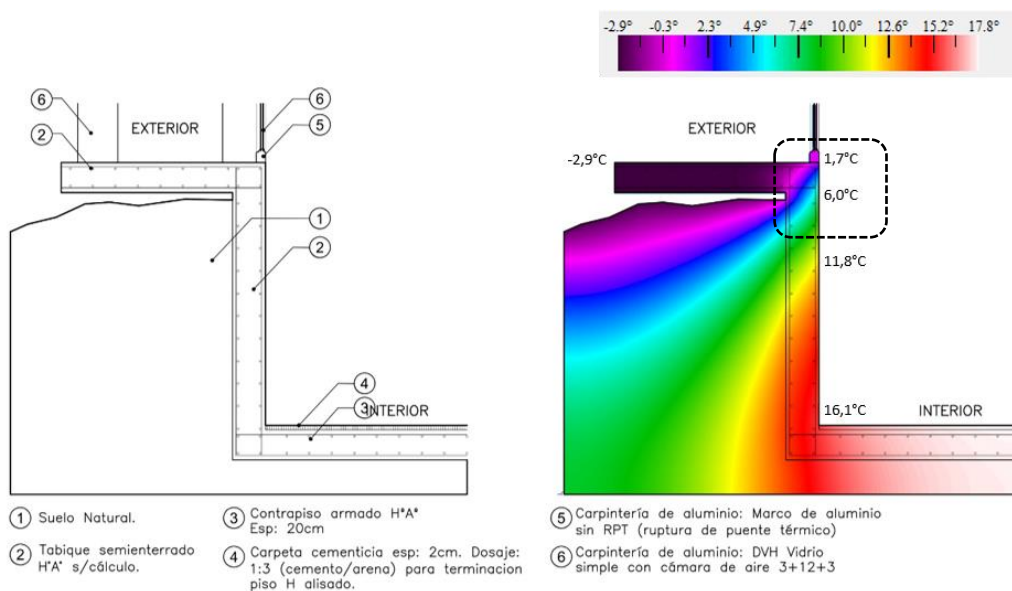


Figura 6: Encuentro A. Situación inicial. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

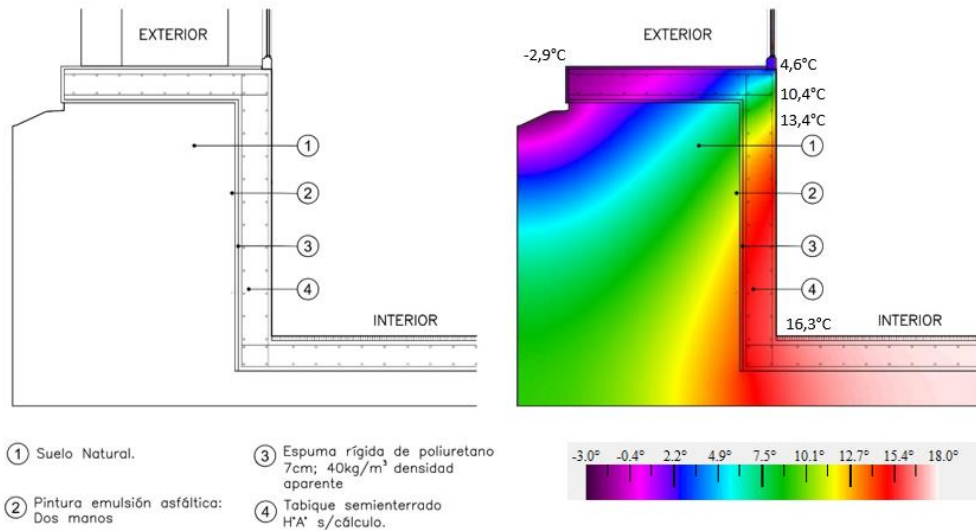


Figura 7: Encuentro A. Situación mejorada 1. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

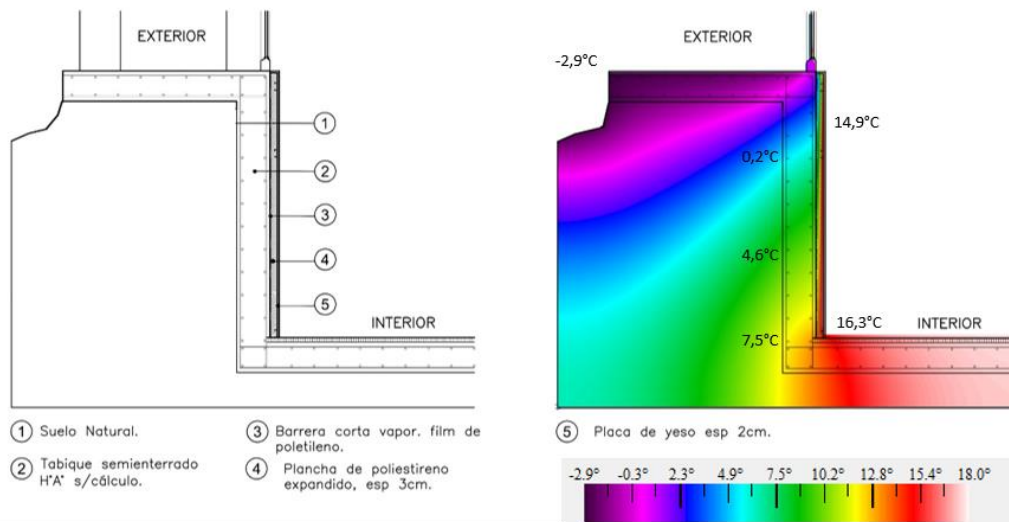


Figura 8: Encuentro A. Situación mejorada 2. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

Al incorporar aislamiento térmico se logra elevar la temperatura superficial interior de la envolvente, evitando riesgo de condensación superficial.

2- Encuentro B

Este encuentro está conformado por una losa de H°A casetonada con molones de PE. La cubierta sobre la losa está conformado por la barrera cortavapor, mortero alivianado, carpeta de asiento y baldosas cementicias transitables. La envolvente vertical está conformada por un tabique de H°A° de 20 cm de espesor sin aislación térmica.

En la losa casetonada se generan puentes térmicos en los nervios y en el encuentro de la envolvente vertical y horizontal de H°A°, y una diferencia en la transmitancia térmica del PE y el H°A° de 7,1 °C que supera el valor admitido por la Norma.

La primera propuesta (fig. 10) consiste en reemplazar la terraza accesible por una cubierta ajardinada con la finalidad de aumentar la inercia térmica de la cubierta. La simulación con Therm arrojó isoterma superficiales a la altura del nervio de la losa casetonada $1,8^{\circ}\text{C}$ por encima de la condición inicial y superando la TPR.

La segunda propuesta de mejora (fig. 11) consiste, además de reemplazar la terraza accesible por una cubierta ajardinada, incorporar aislación térmica con PE de 2 cm de espesor sobre el tabique de H^oA^o. Se supera la temperatura del encuentro existente $1,8^{\circ}\text{C}$ a la altura del nervio de la losa y $10,4^{\circ}\text{C}$ sobre el tabique de H^oA^o.

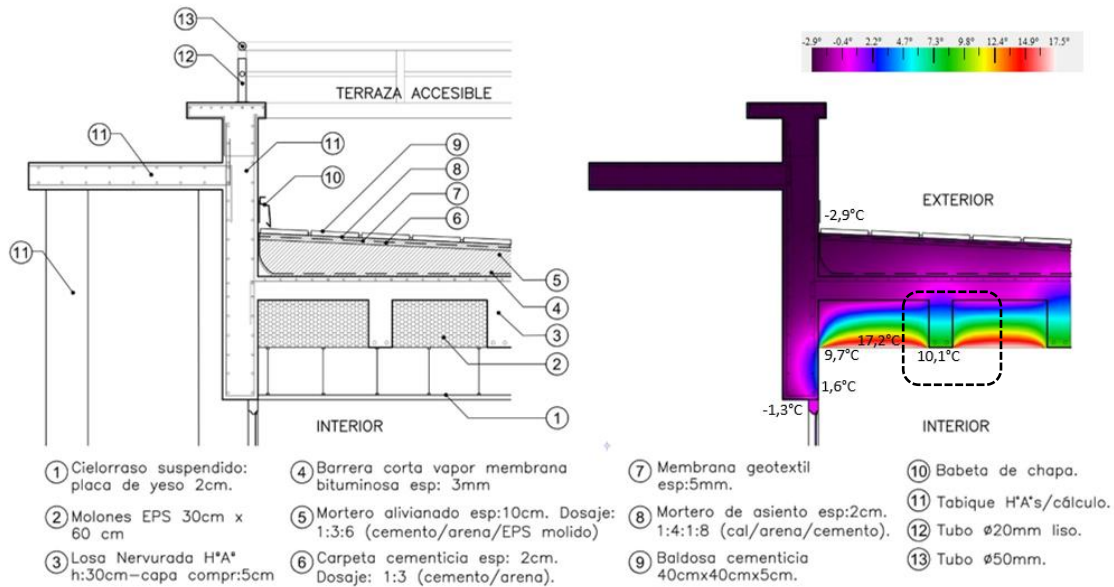


Fig. 9: Encuentro B. Situación inicial. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

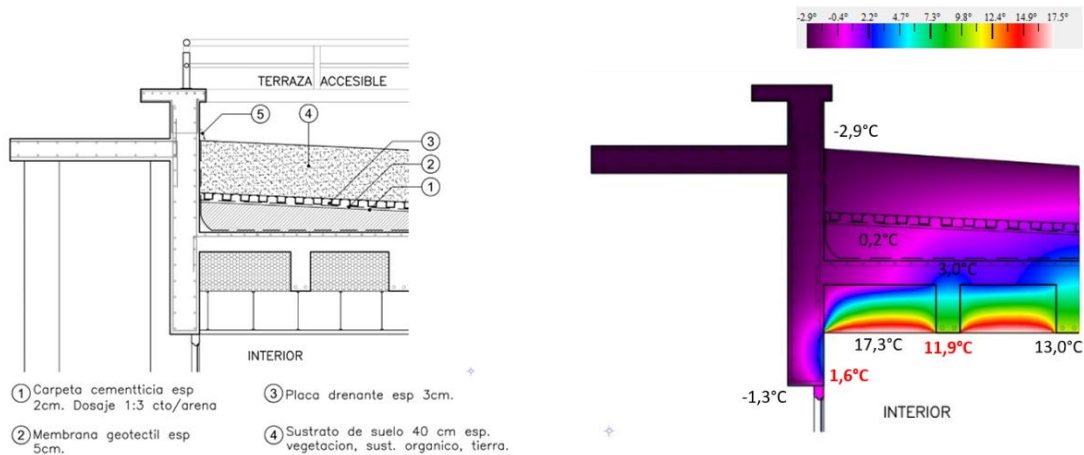


Fig. 10: Encuentro B. Situación mejorada 1. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

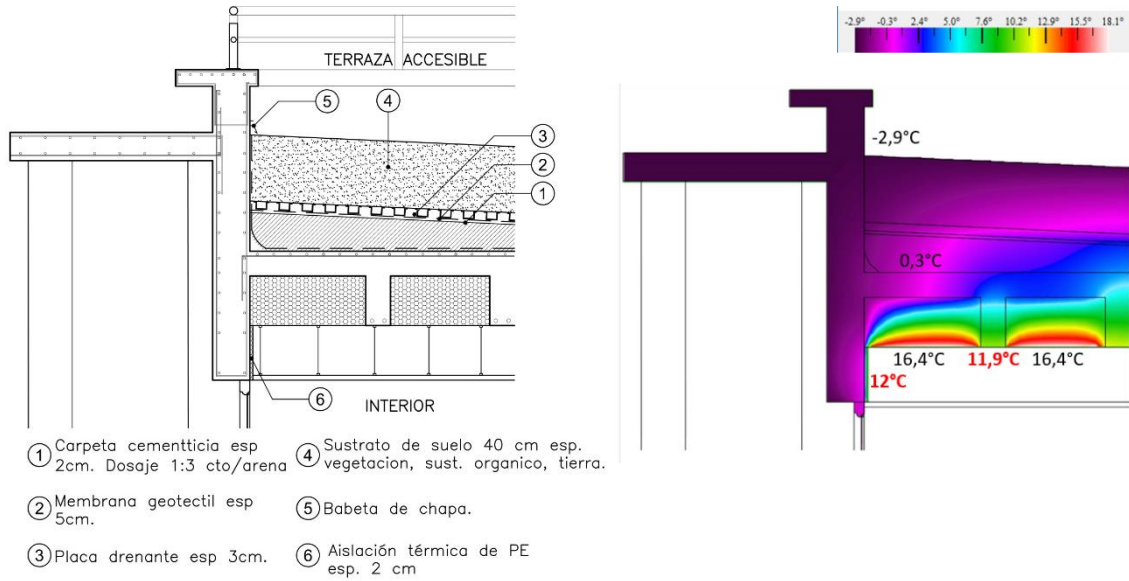


Fig. 11: Encuentro B. Situación mejorada 2. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

3- Encuentro C

Este encuentro (fig. 12) está conformado por una losa de H⁰A⁰ maciza, con cubierta compuesta por barrera cortavapor, mortero alivianado para pendiente, carpeta de asiento y baldosas cementicias transitables. Del mismo modo que lo observado en la termografía, el punto más vulnerable de la envolvente es la arista conformada por la losa y viga de H⁰A⁰.

La primera mejora (fig. 13) consiste en añadir aislación térmica interior continua mediante un revoque de vermiculita y cubierta ajardinada, mejorando la temperatura interior 2,6°C y superando la TPR.

La segunda propuesta (fig. 14) consiste en incorporar aislación térmica mediante PE de 5 cm de espesor y una placa de yeso como cielorraso. La temperatura interior supera en 3,4 °C la del encuentro existente.

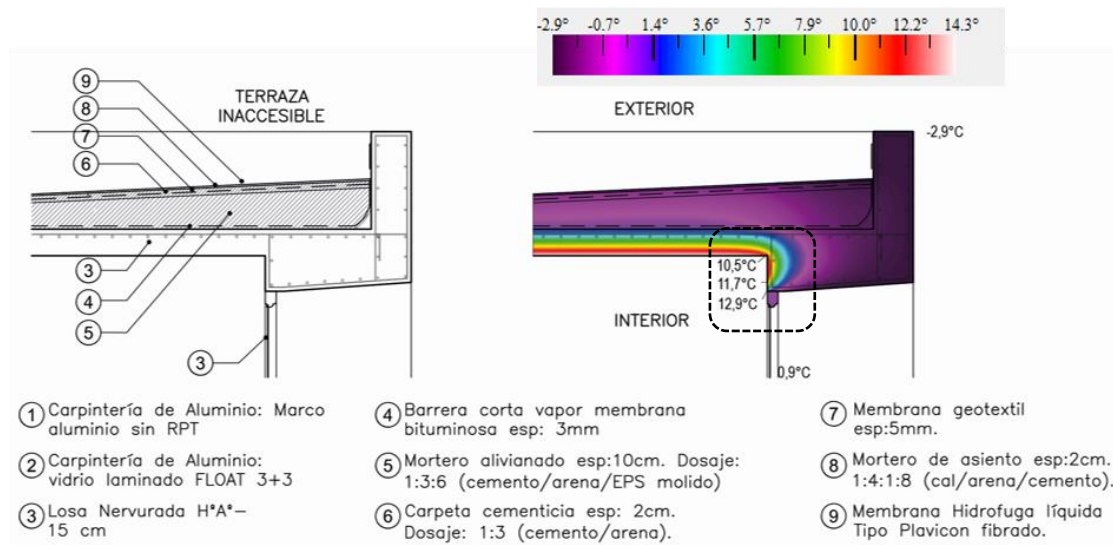


Fig. 12: Encuentro C. Situación inicial. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

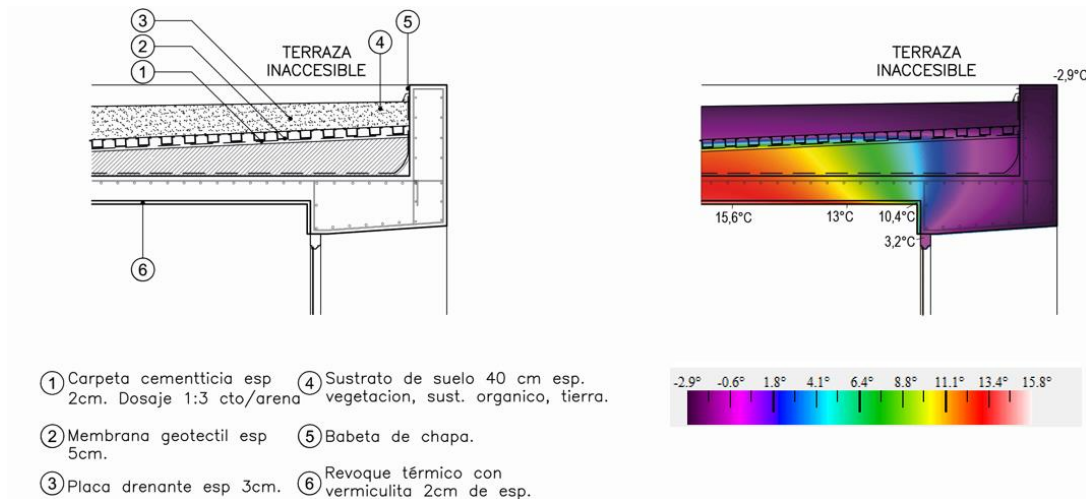


Fig. 13: Encuentro C. Situación mejorada 1. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

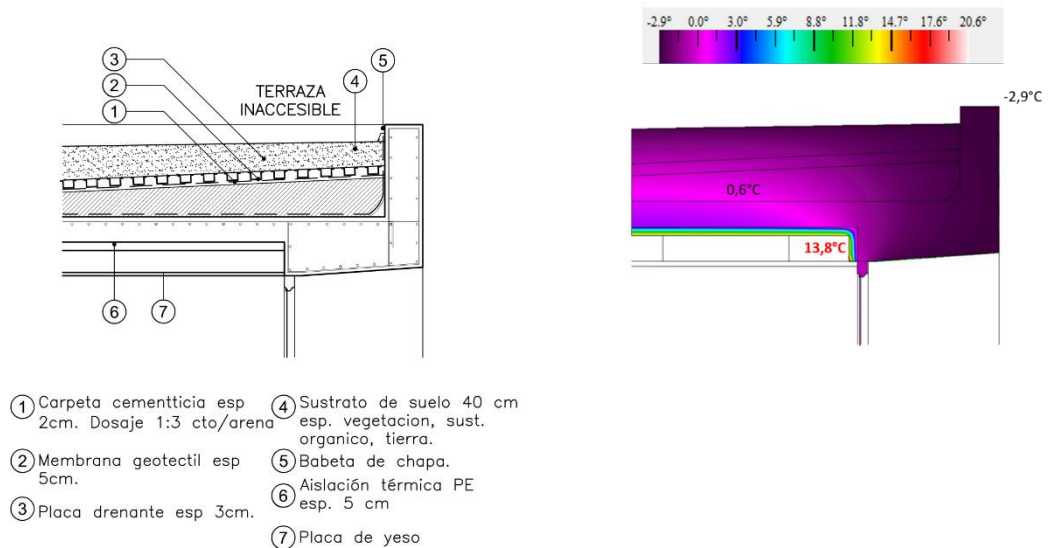


Fig. 14: Encuentro C. Situación mejorada 2. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

En la propuesta 1 no se producen mejoras significativas en la temperatura superficial interior en el vértice del encuentro entre viga y losa, lo que explica la continuidad del puente térmico. Se observa una mejora en la temperatura interior a medida que se aleja del vértice, alcanzando los 15,6°C. En la propuesta 2 la incorporación de aislación térmica con PE mejora la temperatura superficial interior de manera considerable (3,4°C).

4- Encuentro D

Este encuentro está conformado por un piso de H°A° sin aislación térmica hacia el interior del edificio que continua hacia el exterior y una abertura de aluminio. El piso representa otro puente térmico. El punto más crítico es el ángulo entre el piso y el marco de aluminio de la abertura (fig. 15).

La mejora 1 (fig. 16) propone realizar sobre el plano horizontal y vertical del piso de H°A° en contacto con el exterior un revoque que genere aislación con vermiculita. La mejora es de 1,4°C en relación al encuentro existente, sin superar la TPR.

La segunda propuesta (fig. 17) consiste en incorporar un piso de deck en el exterior con aislación de PE de 3 cm de espesor. Esta opción permite mejorar la temperatura interior en el encuentro crítico en 4°C.

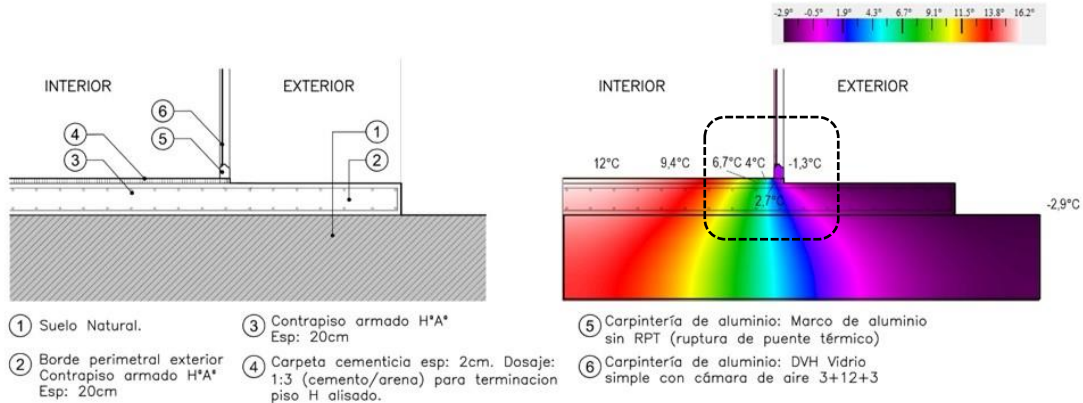


Fig. 15: Encuentro D. Situación inicial. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

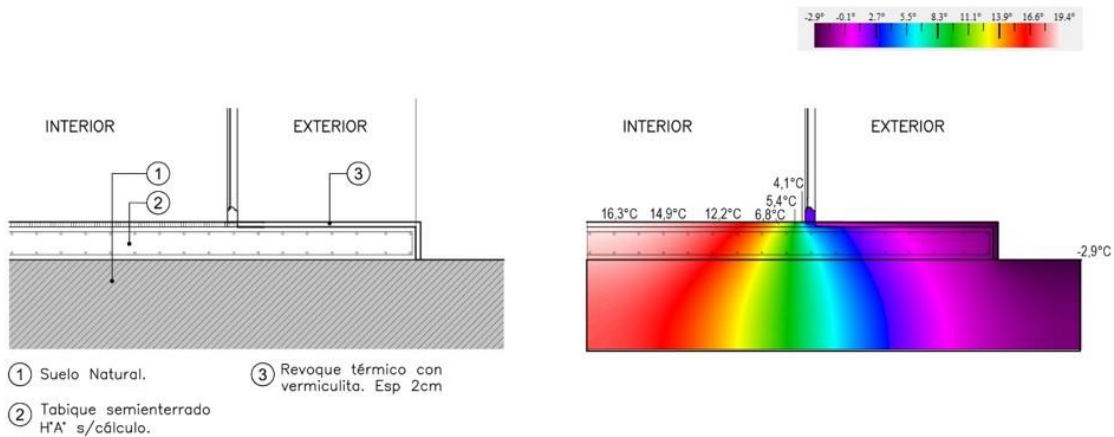


Fig. 16: Encuentro D. Situación mejorada 1. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

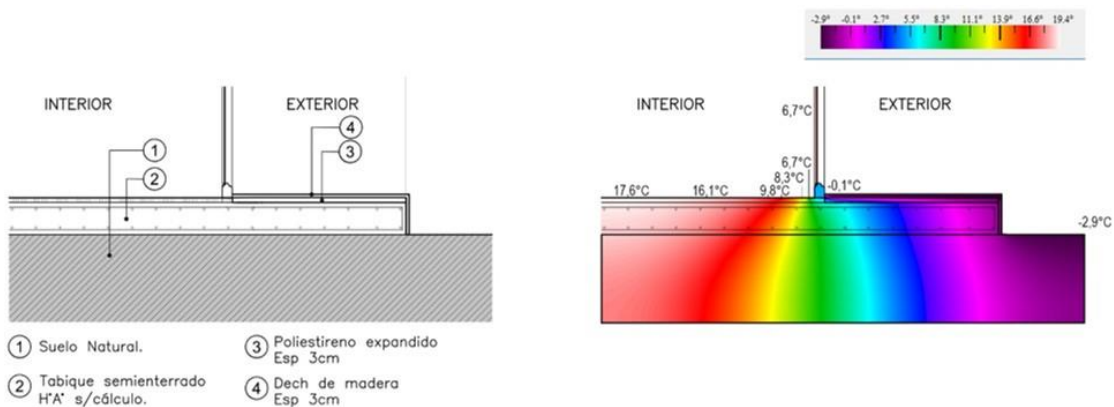


Fig. 17: Encuentro D. Situación mejorada 2. a- Detalle constructivo b- simulación con Therm.

La presencia de un revoque aislante de vermiculita o la incorporación de piso de deck con aislación de PE retrasan las temperaturas frías internas del H^oA^o y en consecuencia, la temperatura mínima interior se encuentra por encima de la temperatura inicial en igual punto. En este caso resulta más eficiente la propuesta de mejora 2 (fig. 17).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Según se describió, el edificio es un bloque de Hormigón armado ($H^{\circ}A^{\circ}$) y vidrio. Al tratarse de un edificio público institucional, este sistema constructivo, aporta facilidad y economía de mantenimiento. Sin embargo, el $H^{\circ}A^{\circ}$ constituye un material de alta conductancia térmica ($5,88 \text{ w/m}^2\text{K}$) por lo que la optimización en el diseño de los elementos constructivos es un factor determinante de su comportamiento térmico.

La termografía permitió evidenciar puentes térmicos. La simulación determinó el estado termotécnico de algunos encuentros críticos superficiales del edificio. Se tomó como estrategia la conservación de la energía, con el aporte de aislación que se incorporó en las envolventes. Con ello se procuró continuidad en la aislación térmica y continuidad de la temperatura superficial interior de las envolventes y en consecuencia, minimización de riesgos de condensación superficial.

Se evaluaron las mejoras mediante la simulación, lo que arrojó resultados favorables, subsanando puentes térmicos y superando en la mayoría de los casos la TPR.

AGRADECIMIENTOS

A SECyT, a los proyectistas Arqs. Cohen, Nanzer y Baulina por su generoso aporte de documentación e información del edificio. A CONICET, CIAL, FAUD, UNC por sus aportes institucionales. Y a Lautaro Quatrocolo por su colaboración gráfica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- C. Filippin; S. Flores Larsen. (2017). Evaluación de la performance energética y el estado de conservación de una envolvente a través de la termografía. *AVERMA*, 01 - 11.
- Ley 13.057. (09 de abril de 2003). Buenos Aires, Argentina: Senado y Cámara de Diputados.
- M. Evans; S. Eguía. (2000). Evaluación de comportamiento térmico de elementos constructivos de hormigón. . *ASADES*.
- Norma IRAM 11.549. (12 de 04 de 2002). Aislamiento térmico de edificios. Argentina.
- Norma IRAM 11.625. (2000). AISLAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICIOS – VENTILACIÓN DE SUS CONDICIONES HIGROTÉRMICAS – VERIFICACIÓN DEL RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL E INTERSTICIAL EN LOS PAÑOS - CENTRALES DE MUROS EXTERIORES, PISOS Y TECHOS DE EDIFICIOS EN GENERAL. Argentina.
- Norma IRAM 11.630. (2000). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación de condensación del vapor de agua superficial e intersticial en puntos singulares de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. Argentina.
- Norma IRAM 11603. (2011). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- S. Flores Larsen, M. Hong. (2012). Termografía infrarrpja en la edificación: aplicaciones cualitativas. *ASADES*.
- Sanglier, G. (2003). Aplicación de la termografía al estudio de pérdidas energéticas en edificios. España.