

► **Monitoreo higrotérmico y confort en CAPS de San Miguel de Tucumán**

Hygrothermal performance and user comfort in CAPS of San Miguel de Tucumán

*Amalita Fernández<sup>1</sup>, Beatriz S. Garzón<sup>2</sup>*

**Artículos científicos**

**Citar:** Fernandez, A. (2025) Monitoreo higrotérmico y confort en CAPs de San Miguel de Tucumán. *Teks del Sud*, 6, pp. 67-77

**Resumen**

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar y diagnosticar la problemática del confort térmico en una tipología constructiva de Centros de Atención Primaria de Salud (CAPS) en San Miguel de Tucumán. Para ello, se investiga el comportamiento higrotérmico del edificio a través de monitoreos realizados durante dos períodos, uno cálido y otro frío, lo cual evidencia un desempeño higrotérmico deficiente de la envolvente. Los resultados muestran condiciones de inconfort térmico significativas para los ocupantes, con una alta insatisfacción especialmente durante el período cálido. Posteriormente, se valida la situación de confort utilizando los índices PMV y PPD, confirmando un bajo rendimiento que no cumple con los estándares deseables. Los hallazgos de este estudio aportan conocimiento relevante para el desarrollo de futuras estrategias de diseño que mejoren la eficiencia y habitabilidad de estas construcciones.

**Palabras clave:** centros de salud, comportamiento higrotérmico, confort, envolvente edilicia.

<sup>1</sup> Grupo Hábitat Saludable y Sustentable, FAU UNT- CONICET. e-mail: afernandez@herrera.unt.edu.ar

<sup>2</sup> Grupo Hábitat Saludable y Sustentable, FAU, UNT- CONICET. e-mail: bgarzon2022@gmail.com

## Abstract

The main objective of this work is to characterize and diagnose the thermal comfort issues in a specific building typology of Primary Health Care Centers (CAPS) in San Miguel de Tucumán. For this purpose, the building's hygrothermal behavior is investigated through monitoring carried out during two periods, one warm and one cold, which reveals a deficient hygrothermal performance of the building envelope. The results show significant thermal discomfort conditions for the occupants, with high dissatisfaction, especially during the warm period. Subsequently, the comfort situation is validated using the PMV (Predicted Mean Vote) and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indices, confirming a low performance that does not comply with desirable standards. The findings of this study provide relevant knowledge for the development of future design strategies that improve the efficiency and livability of these constructions.

**Keywords:** health centers, hygrothermal performance, thermal comfort, building envelope.

---

## Introducción

El desafío global de mitigar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ha posicionado al consumo energético como un área de investigación crítica (Recalde et al., 2018). En este contexto, el sector de la edificación emerge como un actor principal, siendo responsable de más del 40 % del consumo energético mundial y contribuyendo entre un 25 % y un 30 % de las emisiones anuales de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Muñoz Rojas et al., 2023; Costantini Romero y Francisca, 2022). Esta situación se refleja en Argentina, donde el 37 % del consumo energético nacional es atribuible al sector edilicio, con la climatización como el factor más relevante (Kuchen y Kozak, 2020). Dentro de este consumo, el subsector Salud, clasificado en el sector Comercial y Público, es de particular interés debido a su función social y su constante demanda de energía (Urteche et al., 2022).

La ineficiencia energética en las edificaciones, especialmente en climas templados y cálidos, es una problemática documentada que evidencia un alto potencial de ahorro (Viegas et al., 2020). Específicamente en la provincia de Tucumán, diversos trabajos han estudiado el comportamiento térmico de los Centros de Atención Primaria de Salud (CAPS), concluyendo que la envolvente de estas construcciones es ineficiente y no cumple con los estándares de confort mínimo recomendados (Fernández y Garzón, 2020). Esto se debe, en gran medida, a la escasa aislación térmica y a que las remodelaciones históricas de estos edificios se han enfocado en aspectos funcionales o en la instalación de equipos de climatización activos, sin considerar estrategias pasivas de diseño.

Frente a esta realidad, el presente trabajo se propone caracterizar y diagnosticar la problemática del confort térmico en una tipología constructiva recurrente de los CAPS en San Miguel de Tucumán. Esto se lleva a cabo a través de monitoreos *in situ* durante dos períodos, uno cálido y otro frío, con el objetivo de obtener datos fehacientes. Los resultados de esta investigación aportarán información valiosa para el desarrollo de futuras estrategias de diseño que mejoren la eficiencia energética y la habitabilidad de estas construcciones, lo que a su vez contribuirá a la reducción del consumo energético y a un mayor bienestar para los usuarios.

## Metodología

La metodología empleada para este estudio se basa en un enfoque cuantitativo, combinando cálculos normados, mediciones *in situ* y análisis de confort térmico. El objetivo es diagnosticar el comportamiento higrotérmico del caso de estudio mediante una evaluación de su envolvente y las condiciones ambientales internas.

El comportamiento higrotérmico de la envolvente se evaluó siguiendo las directrices de las normas IRAM. En primer lugar, se calculó el coeficiente de transmitancia térmica (K) conforme al procedimiento establecido en la norma IRAM 11601 (2002). Para la interpretación de los resultados, se tomaron como referencia los niveles de confort higrotérmico por zona bioclimática definidos en la norma IRAM 11605 (2009) (Nivel A: ecológico, Nivel B: recomendado, Nivel C: mínimo) y el Nivel A/B, incorporado en la norma IRAM 11900 consolidada (2019). Adicionalmente, se analizaron los riesgos de condensación superficial e intersticial utilizando la metodología de cálculo detallada en la norma IRAM 11625 (2000).

Para el monitoreo *in situ*, se utilizaron cinco sensores HOBO UX100-003, capaces de registrar la temperatura y la humedad relativa del aire. Estos sensores tienen un rango de operación de -20 °C a 70 °C y un error de  $\pm 0,21$  °C. Previo al estudio, los sensores fueron sometidos a una prueba de calibración en un sistema de aire acondicionado con un termostato ajustado a 26 °C, confirmando su correcta operatividad. La toma de datos se realizó cada 15 minutos durante un periodo de entre diez y quince días para cada una de las cuatro estaciones. Los sensores se colocaron en muros interiores a la altura de la ocupación humana, evitando la exposición directa a la radiación solar. Los datos climáticos exteriores de temperatura, humedad y radiación solar se obtuvieron de la base de datos de la estación meteorológica El Colmenar (EEAOC), ubicada aproximadamente a 8 km del sitio de estudio.

El análisis de confort térmico se llevó a cabo con el software SIMEDIF, un programa de diseño y simulación desarrollado en el Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) (Flores Larsen y Lesino, 2001), utilizando el estándar ANSI/ASHRAE 55. Para el cálculo, se asumió que la temperatura operativa era similar a la temperatura regis-

trada por los sensores. Dicho estándar permite estimar la sensación de confort mediante el PMV (Voto Medio Predicho) y el PPD (Porcentaje de Personas Insatisfechas). La metodología analítica determina estas variables a partir de datos sobre el índice de arropamiento, la tasa metabólica, la velocidad del aire, la temperatura operativa y la humedad. La zona de confort se define como el rango de condiciones en el que al menos el 80 % de las personas, en actividad sedentaria o ligera, consideran el ambiente térmicamente aceptable. Las condiciones de cálculo empleadas fueron: un índice de arropamiento de 0,5 clo para el período cálido, una tasa metabólica de 1,3 met y una velocidad mínima del aire de 0,1 m/s.

## Resultados

### Descripción del objeto de estudio

El presente trabajo de investigación se centra en el Centro de Atención Primaria de la Salud (CAPS) Villa Luján, una edificación representativa de un prototipo constructivo de un periodo histórico específico en la ciudad de San Miguel de Tucumán. Este edificio comparte características formales, funcionales y constructivas que se repiten en otras estructuras similares de la región, lo que lo convierte en un caso de estudio idóneo. Su emplazamiento es en esquina, posee una superficie cubierta de 262,9 m<sup>2</sup>. Sus fachadas se distribuyen en la línea municipal, mientras que dos caras colindan con edificios vecinos. La ventilación de los espacios interiores se realiza de forma directa, con excepción del salón principal.

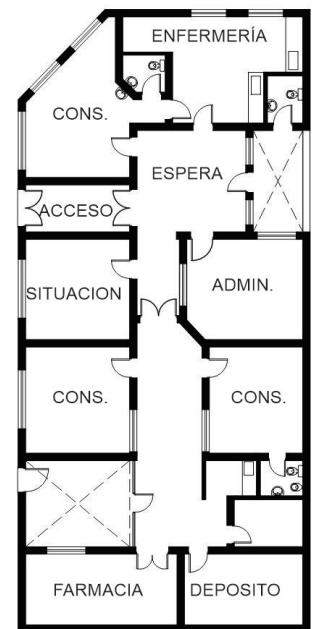


Figura 1.  
Emplaza-  
miento y  
planimetría  
del caso de  
estudio.

En términos de distribución funcional, el CAPS cuenta con tres consultorios para distintas especialidades médicas, una enfermería, depósitos, una sala de admisión y una sala de reuniones. Los sanitarios están diferenciados para el uso del público y del personal. La circulación se organiza a través de un único acceso y un pasillo central que se divide en dos áreas, la segunda con un acceso más restringido. Ambos espacios de circulación funcionan como salas de espera.

La materialidad del edificio se compone de muros exteriores de ladrillo cerámico macizo de 0.30 m de espesor, revocados en ambas caras. La cubierta consiste en una losa maciza con cielorraso aplicado, sobre la cual se ha instalado un sobretecho de chapa en algunos sectores para resolver problemas de filtración de agua. Los muros interiores también se resuelven con mampostería de ladrillo macizo, el piso es de granito reconstituido, colocado con mezcla de asiento sobre contrapiso.

### Comportamiento higrotérmico de la envolvente

Para evaluar el desempeño higrotérmico de la envolvente, se analiza el cumplimiento de lo establecido en normas IRAM. Para el caso del muro (tabla 1), se obtiene un coeficiente  $K$  de 1,96 W/m<sup>2</sup>K, el cual no clasifica dentro de los niveles de confort higrotérmicos establecidos por IRAM 11605 para invierno ni para verano. A su vez, se observa la existencia de riesgos de condensación intersticial. La situación de la solución constructiva del techo resulta similar (tabla 2). Su coeficiente de transmitancia térmica no cumple con ninguno de los niveles establecidos por IRAM para invierno y verano. Se evidencia también, riesgos de condensación intersticial.

Tabla 1.  
Características  
higrotérmicas  
de muros exteriores.

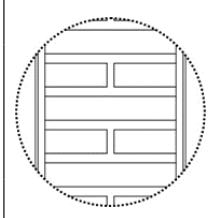
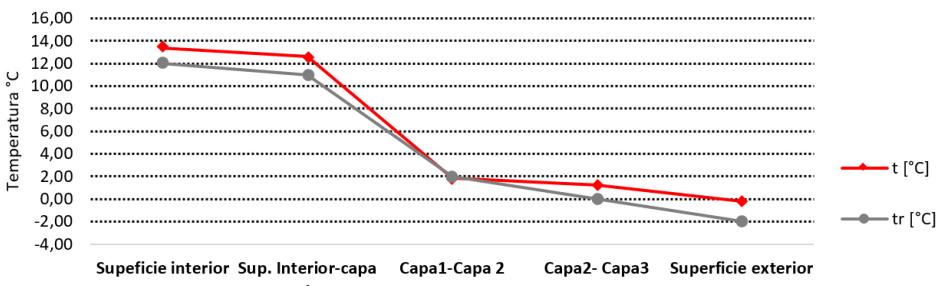
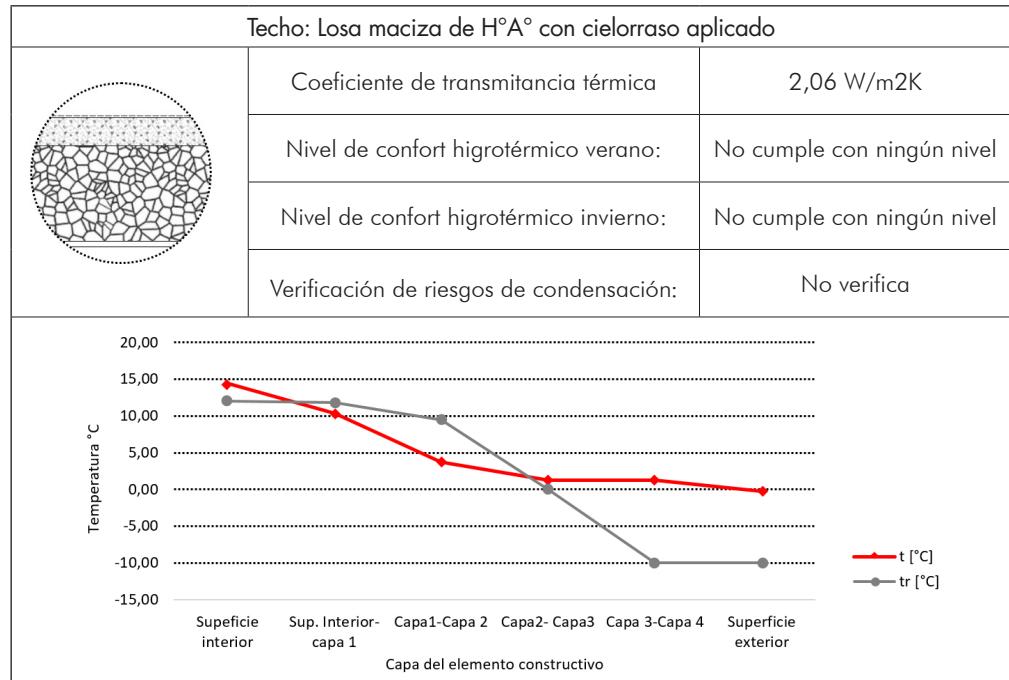
Muro exterior: Ladrillo cerámico macizo revocado en ambas caras		
	Coeficiente de transmitancia térmica	1,96 W/m <sup>2</sup> K
	Nivel de confort higrotérmico verano:	No cumple con ningún nivel
	Nivel de confort higrotérmico invierno:	No cumple con ningún nivel
	Verificación de riesgos de condensación:	No verifica
 Temperatura °C		
Superficie interior   Sup. Interior-capa   Capa1-Capa 2   Capa2-Capa3   Superficie exterior 1 Capa del elemento constructivo		

Tabla 2.

Características higrotérmicas del techo.



### Monitoreo higrotérmico

Para llevar a cabo el monitoreo, se colocan cinco sensores en distintos locales. La posición de los sensores se define en función de la orientación y adyacencia de los locales, atendiendo a posibles variaciones en el comportamiento térmico (Figura 1). Por otro lado, también resulta una condicionante para la selección de los locales a monitorear el resguardo de los sensores térmicos, por ello se seleccionan aquellos donde siempre permanezca el personal junto con los pacientes. Estos son: consultorio de odontología (1), sala de situación (2), ginecología (3), administración (4) y enfermería (5). La elección de los locales, además considera distintas orientaciones y adyacencias.

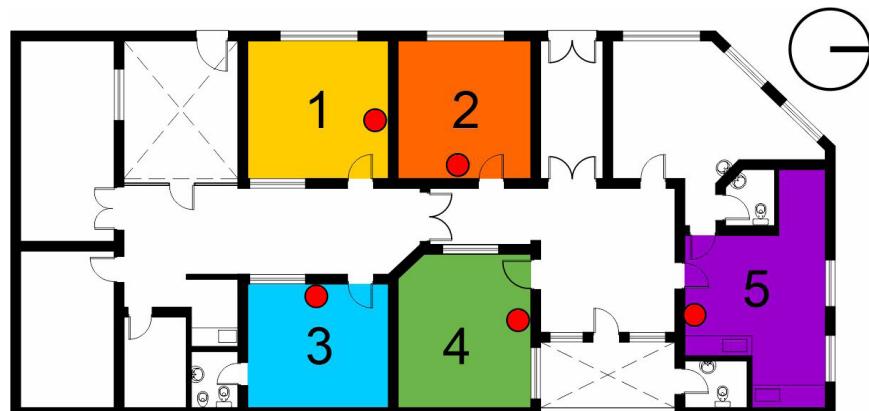
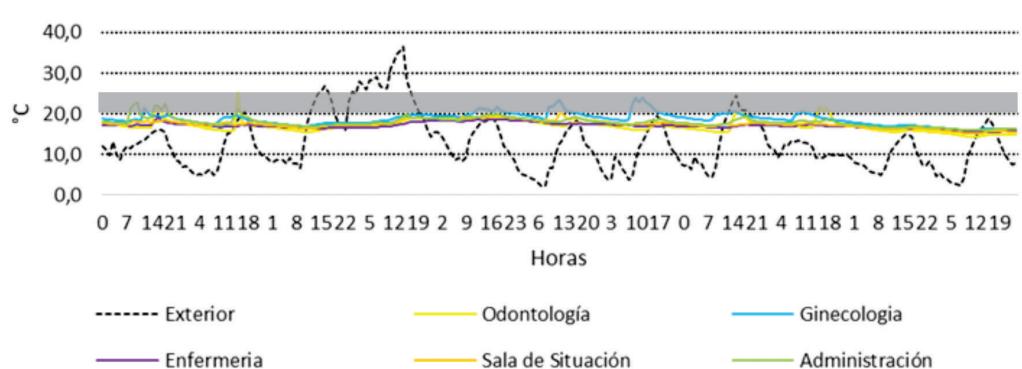


Figura 1.  
Ubicación  
de sensores  
térmicos  
en caso de  
estudio.

El monitoreo higrotérmico del CAPS se realiza en los períodos críticos del año, uno frío y uno cálido, para caracterizar el comportamiento térmico del edificio. El estudio en el período frío se lleva a cabo del 7 al 17 de julio de 2022, y el monitoreo para el período cálido abarca del 17 al 30 de noviembre de 2022. En ambos casos, se registran los valores de temperatura interior en cada espacio, los cuales se correlacionan con la temperatura exterior de la estación meteorológica El Colmenar.

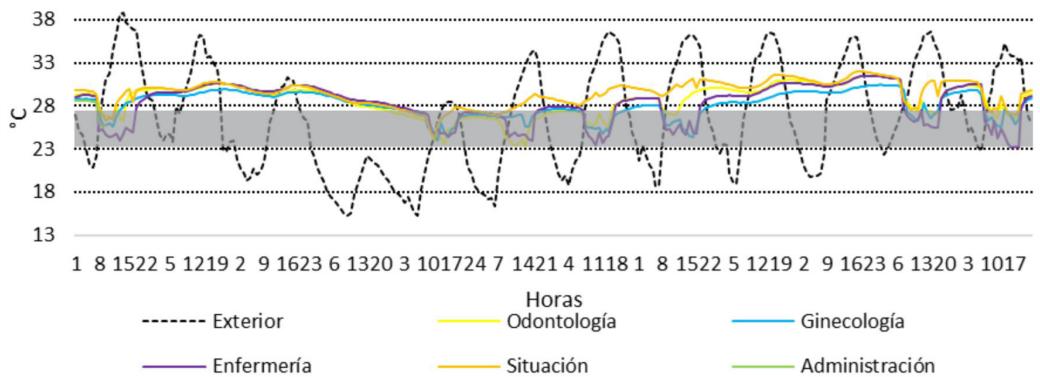
El gráfico consignado en la figura 2, exhibe los valores obtenidos para el período de invierno. En él, el análisis de los datos evidencia el efecto de amortiguamiento térmico que proporciona la masa de la envolvente edilicia. La inercia térmica de los muros de ladrillo cerámico de 0,30 m y la losa maciza permite que la edificación retrase y suavice las fluctuaciones de la temperatura exterior. Sin embargo, el monitoreo también advierte que, durante las horas de funcionamiento del CAPS, se activan sistemas de calefacción para mantener el confort interior, demostrando que la edificación combina el rol pasivo de la envolvente con el apoyo activo para lograr las condiciones de confort deseadas.

**Figura 2.**  
Valores de temperatura para el monitoreo higrotérmico en el período de invierno.



De manera similar, en el período cálido, la inercia térmica de la envolvente masiva retrasa la transferencia de calor del exterior, contribuyendo a que el interior se mantenga más fresco en comparación con el exterior. No obstante, las mediciones revelan picos de temperatura que solo pueden explicarse por la puesta en marcha de sistemas de refrigeración activos durante las horas de operación. Esto demuestra que, si bien la masa térmica actúa como un amortiguador, el confort interior también depende del apoyo de la refrigeración artificial para mitigar los efectos del calor extremo.

**Figura 3.**  
Valores de temperatura para el monitoreo higrotérmico en el período cálido.



### Confort térmico

El análisis de confort térmico para el período frío y el período cálido se basa en los mismos parámetros, consignados en el estándar ANSI-ASHRAE 55. Se consideran horas confortables, aquellas con un PMV entre -0,5 y 0,5 y un PPD menor al 15 %.

Durante el invierno, se analiza un total de 264, este análisis indica que las condiciones exteriores son generalmente desfavorables, con solo un 6 % de horas en zona de confort. No obstante, este porcentaje aumenta considerablemente, hasta un 10,5 %, cuando se restringe el estudio al horario de funcionamiento del CAPS, de 7 a 19 horas. Esto sugiere que, durante este lapso, las condiciones externas resultan más tolerables. La distribución del PMV para el exterior en esta estación muestra una predominancia de condiciones frescas y frías, 66 % en total; se detectan unas pocas horas calientes, 1 %, no hay horas cálidas; un 16 % de horas ligeramente cálidas, 6 % de horas neutrales, 18 % ligeramente frescas, 27 % frescas y 39 % frías. En los espacios interiores, se observan contrastes notables: mientras que Ginecología presenta un 27.97 % de confort durante el horario de operación, el área de Enfermería no registra ninguna. En la tabla 3, se exhiben los porcentajes de horas de confort para los distintos espacios monitoreados.

En el análisis del período frío, que contempló un total de 264 horas, solo 17 horas (un 6 % del total) registraron condiciones de confort exterior. No obstante, al considerar únicamente el horario de funcionamiento del CAPS (7:00 a 19:00 horas), este porcentaje de confort aumenta ligeramente al 10.5%, sugiriendo que, a pesar de las condiciones invernales, las horas de operación del Centro de Salud son térmicamente más favorables en el exterior. La distribución del Índice PMV para el exterior en este periodo mostró una marcada tendencia hacia el frío, con un 39% de horas clasificadas como frías, seguidas por un 27% frescas, 18% ligeramente frescas, 6% neutrales, 16% ligeramente cálidas y solo un 1% calientes. Al comparar estos resultados con los interiores, se observa que la sala de Ginecología destaca significativamente, alcanzando un 27.97% de horas de confort durante el horario de operación, mientras que la sala de Enfermería no registró ninguna hora de confort.

**Tabla 3.**  
Porcentaje de horas de confort para el período frío.

	Exterior	Admin.	Odontología	Ginecología	Enfermería	Situación
% horas de confort totales	6 %	4.92 %	3.78 %	16.28 %	0 %	0.75 %
% horas de confort 7 a 19	10.48 %	9.09 %	6.99 %	27.97 %	0 %	1.39 %

En el período cálido, se analiza un total de 289 horas. El 26,48 % de estas horas corresponden a confort exterior. Sin embargo, al restringir el análisis al horario de funcionamiento, el porcentaje de confort disminuye notablemente a un 14,58 %. Esto indica que, a diferencia del período de invierno, las horas de operación del Centro de Salud son térmicamente desfavorables en el exterior. La distribución del PMV para consiste en un 19 % de horas calientes, 19 % cálidas, 23 % ligeramente cálidas, 26 % neutrales y 11 % ligeramente frescas. No se detectan horas frías o frescas. Al analizar los espacios interiores, se observa que los porcentajes de confort disminuyen en comparación con el exterior, destacando que Enfermería alcanza un 14,58 % de confort durante el horario de operación, mientras que Situación muestra un porcentaje muy bajo, de solo un 0,69 %.

**Tabla 4.**  
Porcentaje de horas de confort para el período estival.

	Exterior	Odontología	Ginecología	Enfermería	Situación
% horas de confort totales	26.48 %	3.48 %	1.74 %	7.31 %	0.35 %
% horas de confort 7 a 19	14.58 %	6.94 %	3.47 %	14.58 %	0.69 %

## Conclusiones

En el presente estudio se diagnosticó el comportamiento higrotérmico, durante los períodos frío y cálido, de una tipología edilicia recurrente en los Centros de Atención Primaria de la Salud (CAPS) más primitivos de San Miguel de Tucumán. Mediante un análisis comparativo de datos climáticos y mediciones de las condiciones interiores, se logró identificar las deficiencias de desempeño de esta arquitectura en relación con el clima local, siendo el período cálido el que presenta mayores desafíos. Los principales hallazgos confirman deficiencias en el comportamiento térmico en ambos períodos. A partir de las curvas de temperatura interior, se hace evidente la dependencia del uso de sistemas activos de climatización durante las horas de funcionamiento. No obstante, a pesar de su operación, las mediciones revelan que no se logran garantizar, de manera consistente, las condiciones de confort requeridas por los usuarios.

Esta falta de consistencia en el confort apunta a una deficiencia de diseño de la envolvente edilicia. Si bien se observa que la arquitectura analizada no logra satisfa-

cer las demandas térmicas por sí misma, resultaría inconcluso afirmar que las ineficiencias del diseño no pueden ser compensadas por sistemas activos, ya que en este estudio no se analizó la potencia instalada ni el rendimiento específico de los equipos utilizados en el CAPS. Sin embargo, la evidencia de su uso continuo sin alcanzar el confort pleno sugiere que existe un desajuste entre las prestaciones de la arquitectura y la capacidad de la climatización existente para compensarlas eficientemente, lo cual implica la necesidad de implementar medidas que mejoren el comportamiento térmico y energético del edificio.

EL principal aporte de este trabajo radica en la identificación y documentación de la ineficiencia recurrente de esta tipología constructiva. Al confirmar que esta arquitectura repite falencias de diseño en términos de confort higrotérmico en un edificio representativo. Para futuras intervenciones y rehabilitaciones de esta tipología, las pautas de mejora deben establecer una clara jerarquía, dada la ineficiencia documentada en el caso de estudio. La prioridad debe ser: 1º mejorar la aislación térmica en la envolvente (cubiertas, muros y pisos) y, posteriormente, 2º realizar un correcto dimensionamiento de los equipos activos de calefacción/refrigeración, para garantizar tanto el confort como la eficiencia energética.

## Referencias

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2020). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. (ANSI/SHRAE 55).

Costantini Romero, A. B., y Francisca, F. M. (2022). Construcción con bloques de suelo cemento como alternativa sostenible para envolvente edilicia. *Hábitat Sustentable*, 12, 114-125. <http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2022.12.01.08>

Fernández, A. y Garzón, B. (2020). Rehabilitación de muros exteriores en centros de salud en San Miguel de Tucumán para su eficiencia térmico-energética. *AVERMA*, 24, 31-40. <https://avermaexa.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/37/16>

Flores Larsen, S., y Lesino, G. (2001). Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9, 15-24. INTI (2005). Ahorro y certificación energética: la envolvente de los edificios. *Saber cómo*, (27), 4.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2000). Aislamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Verificación del riesgo de condensación por vapor de agua (IRAM 11625).

Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2002). Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. (IRAM 11601).

Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2009). Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmision térmica en cerramientos opacos. (IRAM 11605).

Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2019). Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética. (IRAM 11900).

Kuchen, E. y Kozak, D. (2020). Transición energética argentina. El nuevo estándar de eficiencia energética en la evaluación de la vivienda social. Caso de estudio: Vivienda de Barrio Papa Francisco. *Revista hábitat sustentable*, 10(1), 44-55 <http://dx.doi.org/10.2320/07190700.2020.10.01.04>

Muñoz Rojas, R., Figueroa-San Martín, R., y Saelzer Fuica, G. (2023). Análisis comparativo en la rehabilitación de envolvente térmica de cerramientos educacionales con criterio ambiental. *AUS [Arquitectura / Urbanismo / Sustentabilidad]*, (33), 04-11. <https://doi.org/10.4206/aus.2023.n33-02>

Recalde, M., Zabaloy, F. y Guzowski, C. (2018). El Rol de la Eficiencia Energética en el Sector Residencial para la Transición Energética en la Región Latinoamericana. [Archivo PDF]. *Trayectorias*, 20(47), pp. 77-102. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/97202>

Urteneche, E., Fondoso-Ossola, S. T., Martini, I., Barbero, D. A. y Discoli, C. A. (2022). Metodología para el mejoramiento 272 de la eficiencia energética de la envolvente edilicia del sector salud. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 11(21), 209-228. <https://doi.org/10.18537/est.v011.n021.a12>

Viegas, G. M., Barbero, D. A., Chévez, P. J., Martini, I., y Discoli, C. A. (2020). Reciclado masivo de la envolvente urbano-edilicia basado en procesamiento digital de imágenes. *La Plata, Argentina. Revista de Urbanismo*, 43, 151. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2020.57522>