

Comportamiento higrotérmico y Consumo energético de un centro de salud en San Miguel de Tucumán

Hygrothermal behavior and energy consumption of a health center located in San Miguel de Tucumán

Resumen

El presente trabajo expone un estudio térmico-energético de un Centro de Atención Primaria de Salud (CAPS), ubicado en San Miguel de Tucumán. Se verifica el comportamiento de la envolvente en base a las normas IRAM: riesgos de condensación y coeficiente de transmitancia térmica. Se analizan los resultados obtenidos a partir de cuatro monitoreos higrotérmicos efectuados en las distintas estaciones del año y se contrastan con datos de temperatura y humedad relativa exteriores obtenidos en una estación meteorológica cercana. A partir de dichos datos, se evalúa el confort higrotérmico con las variantes PMV y PPD. Por último, se analizan los consumos energéticos, registrados en la factura de la empresa prestadora de servicio, en las distintas estaciones y comparan con los datos obtenidos del monitoreo. Este trabajo, tiene como objetivo generar una caracterización de parámetros asociados a la eficiencia energética y el confort térmico de CAPS ubicados en San Miguel de Tucumán.

Palabras clave: Monitoreo higrotérmico, Confort higrotérmico, Eficiencia energética

Fernández, Amalita

afernandez@herrera.unt.edu.ar
<https://orcid.org/0000-0002-5848-2685>
Facultad de Arquitectura y Urbanismo- Universidad Nacional de Tucumán (FAU-UNT).
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Garzón Beatriz S.

revistas@unne.edu.ar
<https://orcid.org/0000-0003-3130-8895>
Facultad de Arquitectura y Urbanismo- Universidad Nacional de Tucumán (FAU-UNT).
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Abstract

The present work exposes a thermal-energetic study of a Primary Health Care Center (CAPS), located in San Miguel de Tucumán. It is verified the envelope behavior based on the provisions of the IRAM standard, condensation risks and thermal transmittance coefficient. The results obtained from four hygrothermal monitoring carried out in the different seasons of the year are analyzed and contrasted with temperature and relative humidity data obtained at a weather station. Based on these data, hygrothermal comfort is evaluated with the PMV and PPD standards. Finally, the energy consumption, registered in the invoice of the service provider company, in the different stations is analyzed and compared with the data obtained from the monitoring. This work aims to generate a characterization of parameters associated with energy efficiency and thermal comfort of CAPS located in San Miguel de Tucumán.

Keywords: Hygrothermal monitor, Hygrothermal comfort, Energy Efficiency

Recibido: 15/08/2023

Aceptado: 10/11/2023

Introducción

En la actualidad, las edificaciones representan más del 40% del consumo energético mundial ([Muñoz Rojas et al. 2023](#)). Este gasto de energía genera entre un 25 y un 30% de las emisiones anuales de CO₂ y constituye, por lo tanto, entre el 10 y 12% de la contribución humana al cambio climático por el calor retenido en la atmósfera ([Constantini Romero y Francisca, 2022](#)). En Argentina, el 37% del consumo energético es responsabilidad del sector edilicio, siendo la climatización el ítem más representativo. ([Kuchen y Kozak 2020](#)). Se puede afirmar que aproximadamente un tercio de la energía que se genera en el país es consumido por las edificaciones y un poco menos de la mitad de esa energía es destinada a satisfacer la demanda de acondicionamiento térmico ([INTI, 2005](#)). En cuanto al consumo final de energía, a nivel nacional, en 2021 se observa que el 25 % corresponde al sector Comercial-Público ([Secretaría de Energía, 2021](#)). Dentro de este Sector, Comercial y Público, se incluye al subsector Salud ([Urteneche et al. 2022](#)). Además, los países con climas templados y cálidos suelen presentar una mayor ineficiencia energética, ya que la calidad de la construcción en general, es deficiente y aún no ha sido integrada la eficiencia energética al proceso de construcción de edificios, evidenciando un mayor potencial de ahorro ([Viegas et al. 2020](#)). Frente a este escenario, toda mejora tecnológica que posea la capacidad de disminuir las pérdidas y ganancias de calor en edificaciones tiene un impacto potencial muy alto en la reducción de emisiones de gas de efecto invernadero y del consecuente calentamiento global atmósfera ([Constantini Romero y Francisca, 2022](#)).

En estudios previos, se realiza un análisis y relevamiento del consumo energético de edificios para la salud para identificar las variables críticas, el conocimiento específico de cada nivel de integración desde el punto de vista edilicio, energético, productivo y ambiental, permite determinar la demanda energética, el impacto ambiental y los posibles potenciales de ahorro de cada una de las áreas específicas de los establecimientos de la red de salud ([Urteneche et al. 2022](#)). En diversos trabajos publicados, se muestra el estudio de comportamiento térmico energético de distintos casos de CAPS en Tucumán. A partir del análisis del comportamiento de los cerramientos exteriores que constituyen la envolvente de los todos los CAPS existentes en la ciudad de SMT, se concluye que son ineficientes desde el punto de vista térmico energético ([Fernández y Garzón, 2020](#)). En ninguno de estos casos se cumple con los estándares mínimos de confort recomendados por IRAM. Una de las principales variables es la escasa aislación térmica proporcionada por la envolvente.

La red edilicia de salud pública de la República Argentina está conformada por una amplia diversidad de establecimientos, jerarquizados según su nivel de complejidad (alta, media y baja) y su área de incumbencia (regional, zonal, subzonal y local). En la provincia de Tucumán existen 35 CAPS que fueron construidos y remodelados en diferentes períodos. A cada período de construcción le corresponde una técnica diferente. Los procesos de remodelación y rehabilitación que sufrieron a lo largo de los años fueron con fines funcionales debido a los nuevos requerimientos en los centros de salud (medidas mínimas, acceso para personas con discapacidad, materiales más higiénicos, etc.) y de confort térmico por medios activos (instalación de equipos de aire acondicionado frío-calor). No fue contemplada la eficiencia energética ni el confort desde el punto de vista de las estrategias pasivas de diseño, situándose las características tecnológicas de la envolvente entre ellas.

Metodología

Se realiza una evaluación cuantitativa mediante cálculos normados (IRAM); mediciones térmicas con instrumental específico en distintos locales del CAPS; análisis de confort según estándares ANSI/ASHRAE 55.

Para abordar el análisis del comportamiento higrotérmico de la envolvente, se utilizan metodologías de cálculo presentes en las normas IRAM. Se analiza, en primera instancia, el coeficiente de transmitancia térmica K, de acuerdo al procedimiento de cálculo definido en [IRAM 11601](#). Se toman como referencia los niveles de confort higrotérmicos por zona bioclimática establecidos en [IRAM 11605](#) 5 Nivel A: ecológico, Nivel B: recomendado, Nivel C: mínimo; y se considera también el Nivel A/B incorporado como un nivel intermedio por la modificación 1 de la norma [IRAM 11900:2017](#). Por otro lado, se estudian los riesgos de condensación superficial e intersticial a partir de la metodología de cálculo expresada en la norma [IRAM 11625:2000](#).

Para el monitoreo se emplean cinco sensores HOB0 UX100-003 para registrar datos de temperatura y humedad relativa del aire. Estos cuentan con un rango de temperatura desde -20 °C a 70 °C, con un error $\pm 0,21$ °C. Los mismos se testearon previamente, en situación controlada de temperatura, mediante un sistema de

acondicionamiento de aire con termostato a 26 °C y se corrobora que los cuatro sensores empleados estaban correctamente calibrados. La toma de datos se realiza cada 15 minutos durante un período entre diez y quince días para cada una de las cuatro estaciones. Los sensores se colocan a la altura de la ocupación humana, en muros interiores no expuestos a radiación solar. Para conocer los datos de temperatura, humedad y radiación solar exterior, se recurre a la base de datos climáticos de la estación meteorológica EL Colmenar, perteneciente a la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEOC) ubicada a ~8 km del caso analizado, al norte de la ciudad de SMT.

Se realiza el análisis del confort térmico según el estándar [ANSI/ASHRAE 55](#) a partir del software SIMEDIF. SIMEDIF es un programa para el diseño y simulación del comportamiento térmico de edificios desarrollado íntegramente en el Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional INENCO ([Flores Larsen y Lesino, 2001](#)). Se utilizan los datos de temperatura y humedad relativa registrados en el monitoreo, suponiendo que la temperatura operativa es similar a la temperatura registrada por los sensores. Dicho estándar ([ANSI/ASHRAE 55](#)) permite estimar la sensación de confort mediante el PMV (Voto Medio Predicho) y el PPD (Porcentaje de Personas Insatisfechas). El método analítico calcula ambas variables en base al índice de arropamiento, la tasa metabólica, la velocidad de aire, la temperatura operativa y la humedad. El método predice el PMV en una escala con 7 rangos: Muy frío ($PMV < -2,5$), Frío ($-2,5 < PMV < -1,5$), Fresco ($-1,5 < PMV < -0,5$), Neutral de confort ($-0,5 < PMV < 0,5$) ligeramente cálido ($0,5 < PMV < 1,5$), cálido ($1,5 < PMV < 2,5$) y caliente ($PMV > 2,5$). La zona de confort establece las condiciones en las que el 80% de las personas, en actividad sedentaria o de actividad ligera, encuentran el ambiente térmicamente aceptable. Las condiciones de cálculo empleadas son: índice de arropamiento en verano: 0,5 clo; tasa metabólica: 1,3 met y velocidad del aire (mínima): 0,1 m/s.

Descripción del prototipo

El caso de estudio, consiste en un CAPS emplazado al sur de la ciudad de San Miguel de Tucumán. El mismo cuenta con 300 m² construidos. Se emplaza en un terreno en esquina, con un eje principal en sentido este-oeste, sobre una acera sur y oeste. Su fachada principal se abre hacia el sur, cuenta con un patio de aire y luz hacia el norte. Cuenta con una doble circulación: pública y técnica, separadas entre sí. Los locales que lo constituyen son: sala de espera semicubierta, sala de espera cubierta, admisión, baño público, baño personal, pasillo técnico, office, farmacia, tres consultorios clínicos, un consultorio de psicología, un consultorio febril, enfermería, control y crecimiento, sala de reuniones y sala de situación. Como puede observarse en la [figura 1](#), los consultorios, enfermería y farmacia no cuentan con adyacencia hacia el exterior y presentan una ventilación indirecta, a través del pasillo técnico.

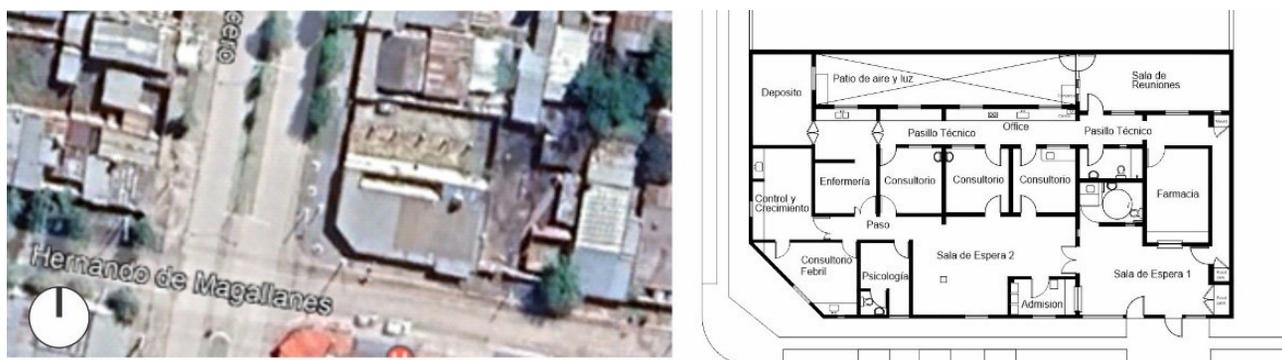


Figura 1. Emplazamiento y planimetría del caso analizado
Elaboración propia

En cuanto a su materialización, sus muros se resuelven con ladrillo cerámico hueco de 0,18 m, revocado en ambas caras, revestidos con cerámicos esmaltados desde el interior. La cubierta se materializa con chapa acanalada, con una única pendiente, gran cámara de aire ventilada y cielorraso de yeso con 0,05 m de lana de vidrio con una cara aluminizada.

Propiedades higrotérmicas de la envolvente

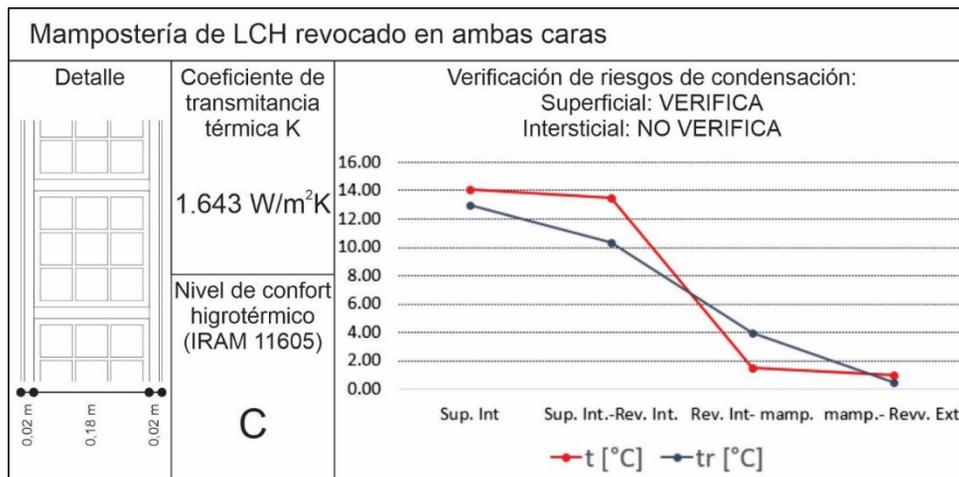


Figura 2. Comportamiento higrotérmico del cerramiento vertical exterior
Elaboración propia

Se analiza el cumplimiento de lo establecido en normas IRAM. En la [figura 2](#), puede observarse como, para el caso del muro, se obtiene un coeficiente K de 1,643 W/m²K, el cual se categoriza en el nivel C, mínimo, de confort higrotérmico, según [IRAM 11605](#). Se evidencia también, la inexistencia de riesgos de condensación superficial, pero si existe de condensación intersticial.

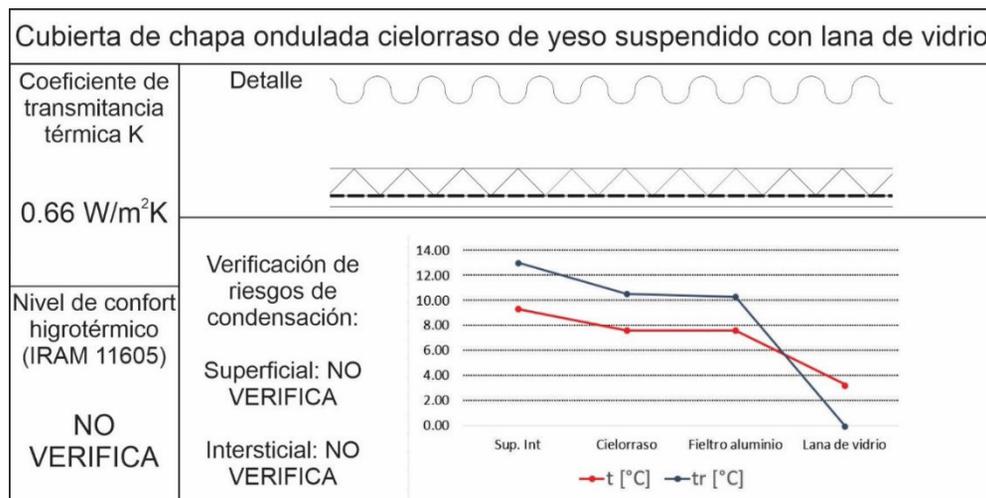


Figura 3. Comportamiento higrotérmico del techo
Elaboración propia

La [figura 3](#) muestra los valores obtenidos para el paquete constructivo del techo. Se obtiene un coeficiente K de 0,66 W/m²K en cual no cumple con ninguno de los cuatro niveles de confort higrotérmicos recomendados por IRAM. En cuanto a la condensación, se verifican tanto riesgos intersticiales como superficiales.

Monitoreo higrotérmico

Se realiza el monitoreo higrotérmico en cuatro estaciones, para lo cual, 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 4](#)). Por otro lado, también resulta una condicionante para la selección de los locales a monitorear el resguardo de los sensores térmicos, por lo que se seleccionan aquellos donde siempre permanezca el personal junto con los pacientes. Estos son consultorio clínico, enfermería, pasillo técnico, farmacia y consultorio de psicología; para el monitoreo de primavera, se coloca un sensor en control y crecimiento en vez de en la farmacia.



Figura 4. Locales monitoreados y ubicación de sensores térmicos
Elaboración propia

La [figura 5](#), muestra los valores de temperatura interior en los locales analizados en contraste con la exterior y radiación solar para las cuatro estaciones. Se marcan con tono gris los días y horas en que el CAPS no se encuentra funcionando y se dejan en blanco aquellos en que sí (días hábiles de 7.00 a 19.00 h). Durante estos períodos se hace evidente el uso de sistemas activos de acondicionamiento térmico.

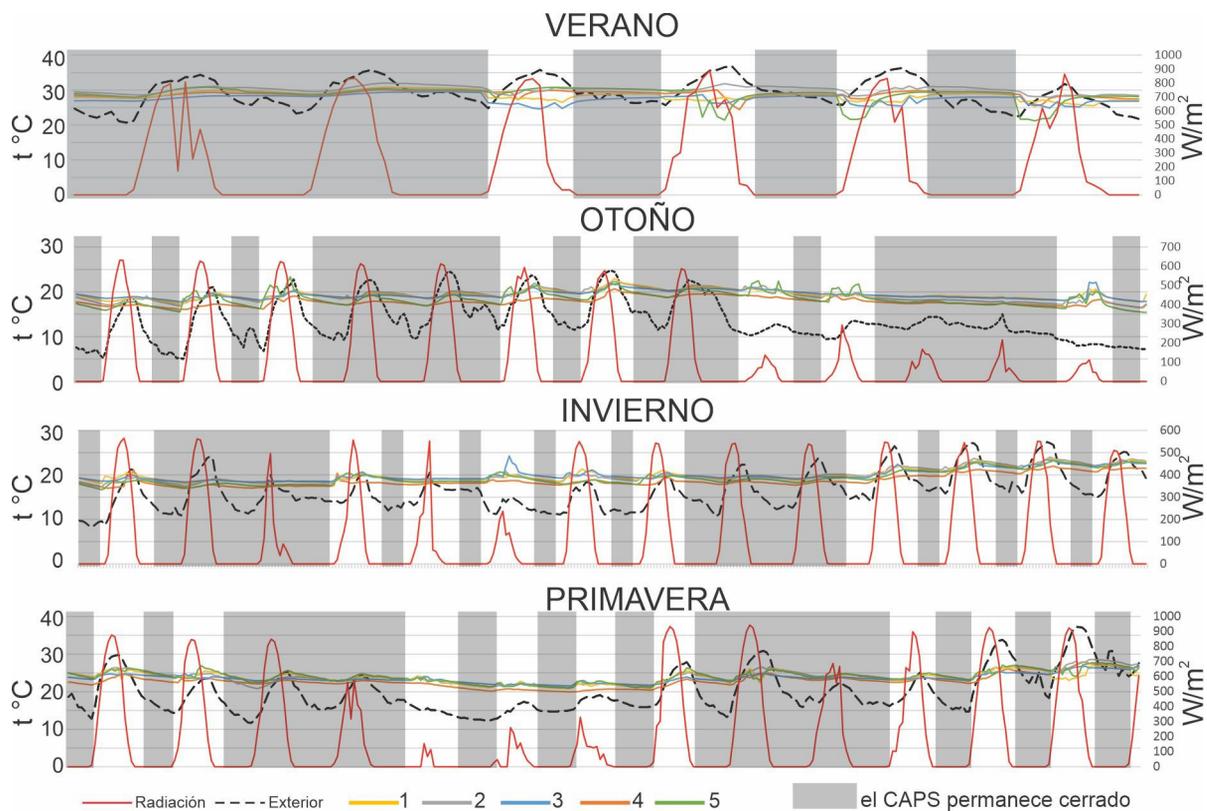


Figura 5. Valores de temperatura interior y exterior para las cuatro estaciones
Elaboración propia

En el verano, se monitorea durante el mes de marzo 2023. Se observa que las temperaturas interiores, cuando el CAPS no se encuentra funcionando, se encuentran por encima de los 25 °C. En esta situación el local más desfavorable es el pasillo técnico, esto puede deberse a su gran adyacencia al exterior sumado a las ganancias térmicas por radiación hacia la orientación norte, la cual no presenta protecciones. En las horas de funcionamiento, se observan temperaturas más próximas a la zona de confort, en todos los casos y se evidencia el uso de sistemas activos de refrigeración.

Para la primavera y el otoño, se pueden observar temperaturas exteriores más próximas a la zona de confort que para los otros casos. En primavera, el período monitoreado corresponde al mes de octubre del año 2022. Se perciben temperaturas exteriores que atraviesan la zona de confort, con picos por encima y por debajo de la misma. En el interior, se detectan días donde se emplean sistemas activos de acondicionamiento térmico, tanto para refrigerar como para calefaccionar. Durante el otoño, el período monitoreado corresponde al mes

de mayo del año 2023. Se hace evidente el uso de sistemas activos de calefacción prácticamente en todos los días en los que el mismo se encuentra funcionando. Sin embargo, existen también, días completos donde no se emplean sistemas activos y la temperatura permanece en rangos confortables.

Durante el invierno se toman datos desde el 23 de junio 2023 hasta el 8 de julio. Se observa que las temperaturas interiores, se encuentra ligeramente por debajo de la zona de confort, pero por encima de las temperaturas exteriores. En el horario de apertura, 7.00 h se distinguen picos de suba de temperatura debido al uso de sistemas activos de calefacción. Estos picos se hacen presentes de manera regular en los locales más activos, enfermería y clínica. En psicología, local que no presenta un uso muy recurrente y, en consecuencia, el sistema de calefacción no se enciende a diario, se perciben temperaturas más bajas, esto se debe también a que presenta mayores adyacencias con el exterior. Se hace notar un amortiguamiento térmico, sin llegar a estar dentro de rangos confortables. Durante el otoño, se hace muy evidente, en las curvas de temperatura, el uso de calefacción durante los horarios de funcionamiento del CAPS, incluso cuando las temperaturas exteriores no se encuentran muy alejadas del confort.

Confort higrotérmico

Para analizar las condiciones de confort interior en los distintos locales monitoreados, se definen primero las condiciones exteriores. La [figura 6](#), muestra los valores PMV (voto medio predicho) en la escala de 7 rangos definida previamente (muy frío: $PMV < -2,5$; frío: $-2,5 < PMV < -1,5$; fresco: $-1,5 < PMV < -0,5$; neutral: $-0,5 < PMV < 0,5$; ligeramente cálido: $0,5 < PMV < 1,5$; cálido: $1,5 < PMV < 2,5$; y caliente: $PMV > 2,5$). para el exterior en los períodos monitoreados en las cuatro estaciones en el rango definido por norma. Puede observarse allí situaciones inconfortables durante las cuatro estaciones. Una particularidad para este caso es la existencia de mayores horas de frío para el período otoñal con respecto al invierno, se detecta un invierno más bien confortable con unas horas ligeramente cálidas.

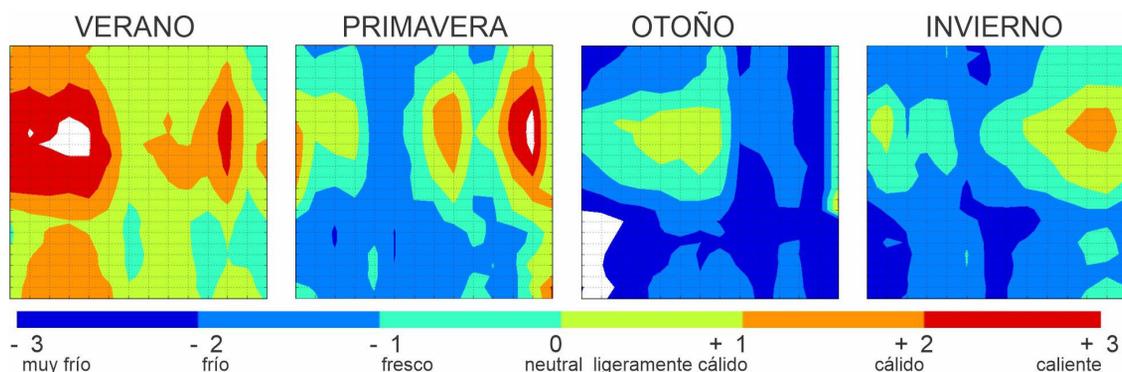


Figura 6. PMV exterior
Elaboración propia a partir de SIMEDIF 2.0

La [figura 7](#), muestra de manera comparativa los valores PMV y PPD interiores para los locales monitoreados en las cuatro estaciones. En el eje primario, izquierda, se muestran valores de PMV y en el secundario, derecha los de PPD.

A partir de este análisis, resulta evidente la disparidad en el confort interior en verano con respecto al resto de las estaciones. Para este caso se llega hasta un PPD de 70 % de personas insatisfechas. Para el resto de las estaciones el PPD no supera al 50 %. En los horarios de funcionamiento, el PPD no supera el 30 %.

En cuanto al PMV, el CAPS alcanza niveles inconfortables en los horarios en los que no se encuentra en funcionamiento, con valores mínimos muy próximos a -1,50 y máximos de 2,25. Se hace evidente también, como sí se llega a niveles favorables de PMV (entre 0,5 y -0,5) en los horarios de funcionamiento, en las cuatro estaciones.

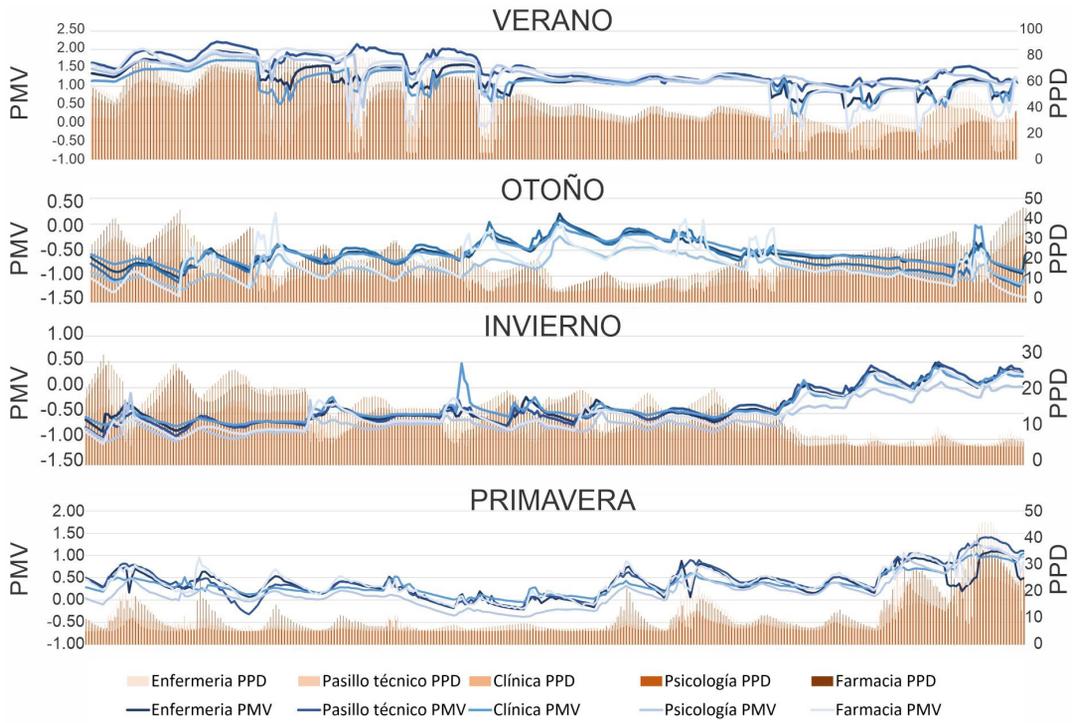


Figura 7. PMV y PPD en los locales monitoreados ara las cuatro estaciones
Elaboración propia

Consumo energético

Para evaluar el consumo energético, se utilizan los datos registrados por la empresa prestadora del servicio electricidad ([EDET S.A.](#)), ya que es la única fuente energética empleada tanto para calefacción como para refrigeración. Según el consumo promedio anual, el caso se sitúa en la categoría C3, en un rango de cuatro categorías (C1, C2, C3 y C4) siendo C1, la de menor consumo y C4 la de mayor. Lo cual posicionaría al CAPS en una situación de consumo medio-alto.

Se obtiene además el consumo energético en KWh, mes a mes durante el último año, 2022. Para contrastar estos valores con el comportamiento térmico, se analizan de manera comparativa ([Figura 8](#)) la desviación de las temperaturas medias (máxima media, media media y mínima media) de la temperatura de confort, expuesta por IRAM, para locales habitables (24 °C). Los máximos consumos se dan, cuando esta desviación está por encima del valor neutro 0, es decir cuando las temperaturas se elevan de la zona de confort y es preciso refrigerar. Le siguen los consumos de los meses en los cuales esta desviación se da por debajo del valor neutro, es decir cuando se requiere calefaccionar.

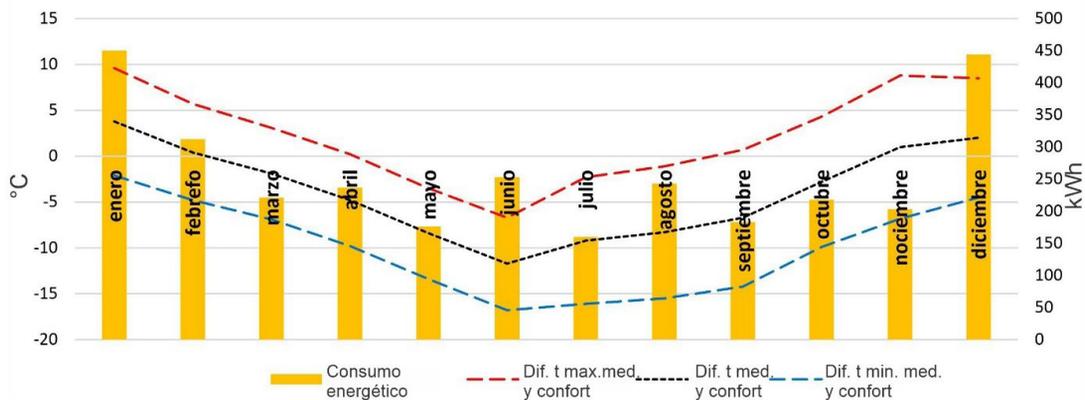


Figura 8. Consumo energético en KWh y desviación de las temperaturas medias con respecto a la zona de confort en ° C
Elaboración propia

Conclusiones

El presente trabajo aborda una aproximación al comportamiento térmico-energético en un edificio destinado a la atención primaria de salud. El mismo se encuentra en la ciudad de San Miguel de Tucumán.

El comportamiento térmico se evalúa a partir de un monitoreo higrotérmico interior comparado con valores de humedad y temperatura exterior obtenidos en una estación meteorológica local. Las curvas de temperatura, evidencian un uso intensivo de sistemas activos de calefacción y refrigeración en los horarios de funcionamiento del CAPS. En los horarios en que el mismo permanece cerrado, se evidencian temperaturas que se alejan más de la zona de confort, siendo el período cálido el más desfavorable. Al consumo energético, se lo analiza a partir de los datos de la empresa prestadora de servicio. Se contrasta el consumo mensual, durante el último año, con la desviación de la temperatura con respecto a la zona de confort. Se observa que dicho consumo, se relaciona directamente con las mismas, siendo mayor cuanto mayor la desviación. Los mayores consumos corresponden a los períodos con necesidad de refrigeración.

A partir de ello se determina, por un lado, la ineficiencia en el comportamiento térmico del edificio. Por otro lado, se hace evidente la necesidad de mantener temperaturas confortables durante el período en el que el edificio se encuentra abierto al público, lo cual se traduce en un consumo energético medio-alto.

Ante la actual situación de transición energética en Argentina y crisis (Nogar et al. 2021), resulta indispensable que las edificaciones logren las condiciones ambientales adecuadas con estrategias pasivas a través de su morfología y materialización. La alta demanda del uso de sistemas activos de acondicionamiento térmico, como se verifica en el caso analizado, evidencia la necesidad de resolver de manera eficiente el diseño del CAPS. Asimismo, el diagnóstico térmico-energético de los edificios existentes se presenta como un camino posible para identificar los problemas principales y como una documentación de base necesaria para considerar estrategias de rehabilitación energética contemplando las condiciones de sanidad e higiene en los edificios. Se espera que los resultados y conclusiones alcanzadas en este trabajo den lugar a la realización posterior de un modelo de simulación térmica que permita ensayar propuestas de rehabilitación energética.

Bibliografía

- ASHRAE (2004). ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta.
- 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.
- EDET S.A (s.f.). Mis facturas de energía. Recuperado el 15 de agosto de 2023 de <https://www.edetsa.com/gestion/pwa/micuenta/facturas-de-energia>
- 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.
- 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.
- 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>

- Nogar, A. G., Clementi, L. V. y Decunto, E., V. (2021). Argentina en el contexto de crisis y transición energética. *Revista Universitaria de Geografía*, 30(1), 107-131. <https://dx.doi.org/https://doi.org/10.52292/jrug.2021.30.1.0018>
- NORMA IRAM 11601 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario, 2002.
- NORMA IRAM 11605 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios, 2002.
- NORMA IRAM 11625 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Verificación del riesgo de condensación por vapor de agua, 2000.
- NORMA IRAM 11900 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Modificación N°1 a la Norma IRAM 11900:2017-12, 2019.
- Secretaría de Energía, Dirección de Información Energética Subsecretaría de Planeamiento Energético. (2021). Balance Energético Nacional Serie histórica – Indicadores Actualizado al año 2021. <http://datos.energia.gob.ar/dataset/balances-energeticos/archivo/b641b231-d255-4b8e-8bb2-065841b88dc4>
- Urteneche, E.; Martini, I.; Barbero, D. A. y Discoli, C. A. (2021) Estado del arte de la envolvente edilicia del subsector salud en la Microrregión Gran La Plata: Su estudio como punto de partida para el mejoramiento de la eficiencia energética a partir del reciclado edilicio; Asociación Argentina de Energía Solar; Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; 25; 49-59
- Viegas, G. M., Barbero, D. A., Chévez, P. J., Martini, I., & 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>