

ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN DE APLICACIÓN GENERALIZADA EN MUROS DE CAPS EN TUCUMÁN, ARGENTINA

Recibido 08/04/2025
 Aceptado 11/05/2025

WIDESPREAD APPLICATION OF REHABILITATION STRATEGIES FOR WALLS OF PUBLIC HEALTHCARE CENTERS IN TUCUMÁN, ARGENTINA

ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO DE APLICAÇÃO GENERALIZADA EM PAREDES DE CENTROS DE ATENÇÃO PRIMÁRIA À SAÚDE EM TUCUMÁN, ARGENTINA

Amalita Fernández

Arquitecta
 Becaria Doctoral- Auxiliar docente graduada, Facultad de Arquitectura y Urbanismo
 Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-5848-2685>
afernandez@herrera.unt.edu.ar

Beatriz Silvia Garzón

Doctora en ciencias
 Investigadora independiente- Profesora asociada, Facultad de Arquitectura y Urbanismo
 Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-3130-8895>
bgarzon2022@gmail.com



RESUMEN

Este trabajo aborda las deficiencias térmico-energéticas presentes en la envolvente vertical de los Centros de Atención Primaria de Salud (CAPS) en San Miguel de Tucumán, Argentina donde estudios previos revelan un desempeño inadecuado de sus muros, generándose una elevada demanda energética. Con el objetivo de proponer estrategias de rehabilitación masiva aplicables a los diversos tipos de soluciones constructivas existentes, se evalúan diferentes soluciones de aislamiento térmico que consideran sus prestaciones térmicas, costo económico y ciclo de vida. Mediante un análisis multicriterio con cálculo de ponderación, se seleccionaron las propuestas más convenientes. El análisis de la mejora en diez casos representativos evidencia un ahorro promedio de 21,32 % en calefacción y 15,41 % en refrigeración. Se concluye que la implementación de las estrategias seleccionadas presenta un potencial significativo para optimizar el comportamiento térmico y reducir la demanda energética en los CAPS de la región.

Palabras clave

centros de salud, aislación térmica, muros, rehabilitación

ABSTRACT

This work addresses the thermal-energy deficiencies in the vertical envelope of Primary Health Care (PHC) Centers in San Miguel de Tucumán, where previous studies reveal inadequate performance of their walls, resulting in a high energy demand. Different thermal insulation solutions are evaluated based on their thermal performance, economic cost, and life cycle to propose widespread rehabilitation strategies for the diverse types of existing construction solutions. The most convenient proposals were selected using a multi-criteria analysis with a weighting calculation. The analysis of the improvement in ten representative cases shows an average saving of 21.32% in heating and 15.41% in cooling. It is concluded that implementing the selected strategies has a significant potential to optimize thermal behavior and reduce energy demand in the region's PHC Centers.

Keywords

health centers, thermal insulation, walls, rehabilitation

RESUMO

Este trabalho aborda as deficiências térmico-energéticas presentes na envolvente vertical dos Centros de Atenção Primária à Saúde (CAPS) em San Miguel de Tucumán, Argentina, onde estudos prévios revelaram um desempenho inadequado das paredes, gerando uma elevada demanda energética. Com o objetivo de propor estratégias de reabilitação em larga escala aplicáveis aos diversos tipos de soluções construtivas existentes, são avaliadas diferentes soluções de isolamento térmico que consideram suas performances térmicas, custo econômico e ciclo de vida. Por meio de uma análise multicritério com cálculo de ponderação, foram selecionadas as propostas mais convenientes. A análise da melhoria em dez casos representativos evidencia uma economia média de 21,32% em aquecimento e 15,41% em refrigeração. Conclui-se que a implementação das estratégias selecionadas apresenta um potencial significativo para otimizar o comportamento térmico e reduzir a demanda energética nos CAPS da região.

Palavras-chave:

centros de saúde, isolamento térmico, paredes, reabilitação

INTRODUCCIÓN

Existe un creciente consenso sobre la importancia del cambio climático y el papel de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (Recalde et al., 2018; Mora-Barrantes et al., 2021), se sitúa al consumo energético global como una causa central (Gómez Cerdeiro, 2021; Mercado Burciaga, 2023). El sector el edificio, reconocido como un contribuyente significativo a esta crisis (Flores, 2021; Ortega-Díaz et al., 2023), representa actualmente cerca del 40 % de emisiones de CO₂ y un tercio del consumo energético mundial (Muñoz-Rojas et al., 2023; Abdou et al., 2021). La climatización resulta un factor determinante (Kuchen y Kozak, 2020; Galindo-Borbón et al., 2024) debido a la creciente demanda de confort térmico (Daiglou et al., 2022; Andersen et al., 2019). La envolvente edilicia es responsable de una parte sustancial de las pérdidas energéticas (Ascione et al., 2019; Bacelis et al., 2024), ofrece un potencial considerable para la optimización y reducción del consumo (Wang et al., 2019; Costantini-Romero y Francisca, 2022). Frente a este contexto, toda acción tendiente a disminuir la demanda energética a partir de la rehabilitación de la materialidad de las envolventes adquiere relevancia (Ré y Filippín, 2021). En Argentina, el sector edificio es responsable de casi el 37 % del consumo final de energía, encabezado por el sector residencial, seguido en un 8,35 % por el sector comercial y público, (Ministerio de Economía, 2023) dentro del que se encuentra el subsector Salud. Si bien este subsector posee una participación menor en el consumo final de la energía respecto a otros sectores, éste se caracteriza por ser un servicio público de interés social (Urteneche et al., 2022).

La ciudad de San Miguel de Tucumán (SMT), ubicada en el noroeste argentino, presenta un clima subtropical con estación seca, inviernos secos y veranos lluviosos sobrepasando los 1000 mm anuales, con temperaturas que superan los 40 °C, (González y Ceballos, 2021; Giovino et al., 2022). Allí existen 32 CAPS que constituyen una infraestructura sanitaria para la comunidad local. Estudios previos realizados en estos CAPS (Fernández y Garzón, 2023; Fernández y Garzón, 2024) evidencian una ineficiencia energética significativa asociada al acondicionamiento térmico y deficiencias en el comportamiento higrotérmico de sus envolventes verticales. Esta situación impacta directamente en el confort de pacientes y personal, además de generar costos operativos elevados y una mayor demanda energética a la red local. Por lo tanto, la mejora del desempeño térmico de estos edificios no solo es relevante desde una perspectiva de confort y eficiencia, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental regional.

El objetivo del presente trabajo consiste en generar estrategias de rehabilitación sistemáticas para los cerramientos verticales exteriores (CVE) de los CAPS en SMT, diseñadas para su aplicación masiva en el

parque edilicio existente. En este contexto, el término *sistemáticas* se refiere a una metodología de evaluación y selección basada en criterios definidos y replicables, mientras que *aplicación masiva* se enfoca en su potencial de replicabilidad en múltiples edificios con tipologías similares. La innovación de esta investigación se fundamenta en la propuesta de una metodología original de evaluación y selección de estas estrategias. Dicha metodología se basa en un sistema de ponderación que considera el costo económico, prestaciones térmicas y análisis de ciclo de vida (ACV).

METODOLOGÍA

Este estudio propone un análisis de estrategias de rehabilitación para la envolvente vertical de los CAPS ubicados en SMT. Inicialmente, se realiza un análisis de las propiedades térmicas de la envolvente vertical, seguido por la definición de propuestas y su factibilidad constructiva para el contexto. A continuación, se evalúa cada propuesta desde tres perspectivas: costo económico, propiedades térmicas y ACV.

En el análisis térmico, se calcula la resistencia térmica de cada propuesta de rehabilitación según el procedimiento establecido en la norma IRAM 11601 (2002). Para ello, se considera la ecuación 1, donde la resistencia térmica de un componente plano, formado por diversas capas homogéneas (R_t), es igual a la suma de las resistencias de cada una de esas capas (R_1, R_2, \dots, R_n) en m²W/K. A su vez, para determinar la resistencia de las distintas capas (R), se emplea la ecuación 2, donde R es igual al cociente entre el espesor de la capa (e) en metros y la conductividad térmica del material (λ) expresada en W/mK.

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{c1} + R_{cn} \quad (1)$$

$$R = e/\lambda \quad (2)$$

Para evaluar el ACV se emplea la Herramienta de Ayuda al Diseño para una Edificación más Sostenible (HADES). HADES es un software de código abierto desarrollado por el Instituto de Construcción Industrial de Cataluña (ITeC), diseñado para el análisis ambiental de materiales y elementos constructivos. El mismo, se basa en los principios y el marco metodológico establecido en las normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006). La elección de HADES se fundamenta en su accesibilidad, su interfaz intuitiva y su amplia base de datos de materiales de construcción comunes en el contexto español y latinoamericano, lo que facilita la modelización de las propuestas de rehabilitación consideradas en este estudio. Los indicadores considerados y evaluados, en este caso, son energía embebida (MJ/m²), el que indica la energía no renovable consumida durante el ciclo de vida

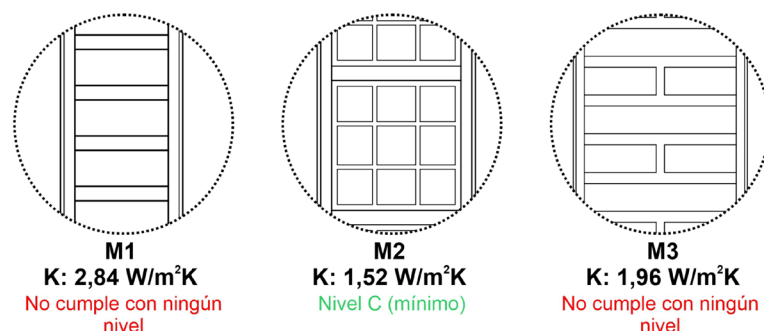


Figura 1. Soluciones constructivas de muros, coeficientes de transmitancia térmica y niveles de confort higrotérmico. Fuente: Elaboración de los Autores.

de los materiales, y las emisiones de CO₂ equivalentes (kCO₂eq/m²), que cuantifican las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas.

Para el análisis económico, se consideraron los costos directos de materiales y mano de obra necesarios para la implementación de cada propuesta de rehabilitación. Se establecieron precios unitarios basados en el mercado local de SMT, promediándose distintos puntos de venta en la ciudad para los materiales. Los costos de mano de obra se basaron en valores actualizados de la UOCRA (Unión Obrera de la Construcción de la República Argentina) correspondientes al mes de noviembre de 2024. Se calculó el costo por metro cuadrado de cada propuesta de manera aislada, sin incluir detalles de terminación particulares que puedan variar según el caso específico. Los valores se expresaron en dólares estadounidenses.

A partir de estos análisis se seleccionó la estrategia más relevante mediante una metodología de ponderación numérica propia, diseñada para determinar objetivamente la más efectiva. A cada uno de los criterios mencionados, se le adjudicó el mismo peso porcentual. A su vez, dentro de cada criterio, se asignó una puntuación del 1 al 10 a las distintas propuestas, donde 1 representa el peor desempeño y 10 el mejor. La asignación de puntajes se basó en rangos de valores definidos para cada indicador. La puntuación total obtenida para cada propuesta se calculó al sumar la puntuación obtenida en cada criterio. La propuesta con la puntuación total más alta, que representa el mejor equilibrio entre los criterios evaluados, se consideró como la opción óptima para la rehabilitación.

Finalmente, se evaluó el comportamiento térmico estacionario global de 10 CAPS existentes en SMT, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia (Scharager y Reyes, 2001) con el objetivo de representar la diversidad de tipologías constructivas identificadas en el parque edilicio. Los criterios de selección incluyen la representatividad de los tipos de envolvente vertical existentes, diferentes emplazamientos y orientaciones. Esta selección se realizó con el fin de poder analizar con mayor profundidad el

comportamiento térmico de un número manejable de casos. Para cada uno de estos 10 CAPS, se define su envolvente vertical existente en el calculador CIDEE-EA (Elsinger et al., 2021), a partir de los detalles constructivos relevados *in situ*. Posteriormente, se modeló la aplicación de la propuesta de rehabilitación seleccionada a la envolvente vertical de cada uno de los 10 CAPS, en que se actualizaron los valores de transmitancia térmica según las propiedades de la solución de rehabilitación. Se analizaron la carga térmica anual de calefacción y la carga térmica de refrigeración, definidos según las normas IRAM 11604 e IRAM 11659-1. Se comparó el caso original con el caso rehabilitado, se analizó la incidencia porcentual de la mejora en el comportamiento térmico global para cada uno de los 10 CAPS representativos.

RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DE MUROS DE CAPS

Los CVE, de todos los CAPS presentes en SMT, se materializan a partir de mampostería de ladrillos cerámicos. Se distinguen tres soluciones constructivas: M1, mampostería de ladrillo cerámico macizo 0,15 m revocado en ambas caras con encadenado sismorresistente; M2 mampostería de ladrillo cerámico hueco 0,20 m revocado en ambas y M3 mampostería de ladrillo cerámico macizo 0,30 m revocado en ambas caras. El caso más típico es el M2, constituyéndose como la solución constructiva del 37,04 % de los CAPS; le sigue M3, que ocupa el 33,3 %; luego el muro M1, 18,52 % y por último existen edificios que combinan el M2 con M3, 11,11 % correspondiendo, este último caso, a edificios ampliados en un período posterior (Fernández y Garzón, 2021).

A continuación, se exponen (Figura 1) los niveles de transmitancia térmica para cada caso y su verificación con los niveles de confort higrotérmico recomendados por IRAM (A: ecológico, B: recomendado y C: mínimo). Se observa que en ningún caso se cumple con el nivel recomendado, y solo el muro tipo M2 cumple con el nivel mínimo.

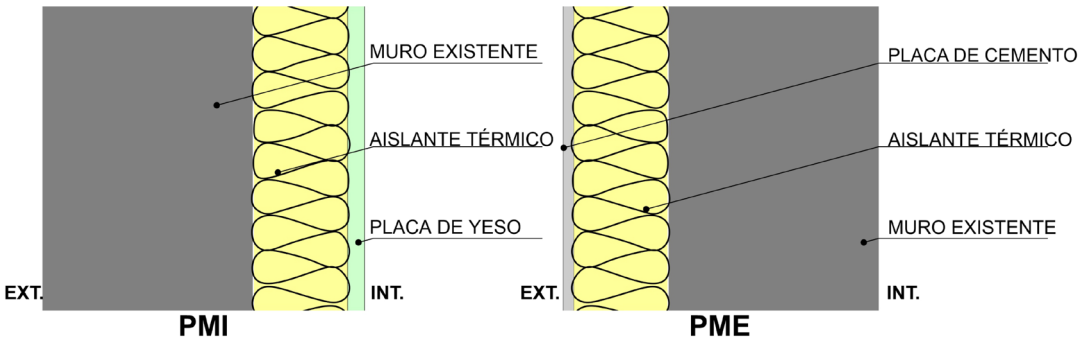


Figura 2. Esquema de propuestas de rehabilitación de CVE interior (PMI) y exterior (PME). Fuente: Elaboración de los Autores.

Tabla 1. Principales características técnicas de aislantes presentes en el mercado local. Fuente: Elaboración de los Autores.

Características	Poliestireno expandido (EPS)	Lana de vidrio (LV)	Lana de roca (LR)
Origen	Sintético	Mineral	Mineral
Estructura	Celular cerrado	Fibrosa	Fibrosa
Comportamiento al fuego	Auto extingible	Incombustible	Incombustible
Permeabilidad al vapor de agua	Baja	Alta	Alta
Densidad	Baja 16 a 19 kg/m ³	Media 30 a 70 kg/m ³	Media-alta 35 a 160 kg/m ³
Resistencia mecánica	Baja	Media	Media-alta
Precio	Medio	Medio	Alto

Tabla 2. Definición y asignación de nomenclaturas en las seis propuestas de rehabilitación. Fuente: Elaboración de los Autores.

Número de propuesta	Ubicación del aislante	Tipo de aislante	Nomenclatura de la propuesta
1	Exterior	EPS	PME_1
2	Exterior	LV	PME_2
3	Exterior	LR	PME_3
4	Interior	EPS	PMI_1
5	Interior	LV	PMI_2
6	Interior	LR	PMI_3

Presentación de propuestas

Se presentan estrategias de rehabilitación aplicables en muros. En todos los casos, consisten en la incorporación de un aislante térmico intermedio y un material de terminación superficial, para ello se propone la incorporación del aislante en la cara interior (PMI) y exterior (PME) (Figura 2). Los tipos de aislante se seleccionan por su disponibilidad de forma

permanente en el mercado de SMT, como así también por tratarse de materiales de factible aplicación por la mano de obra local. Cabe destacar que para que el sistema propuesto resulte efectivo, debe estar correctamente ejecutado. Los mismos son poliestireno expandido en planchas, lana de vidrio con aluminio y lana de roca con aluminio. En la tabla 1, se expresan las principales características de los materiales aislantes seleccionados.

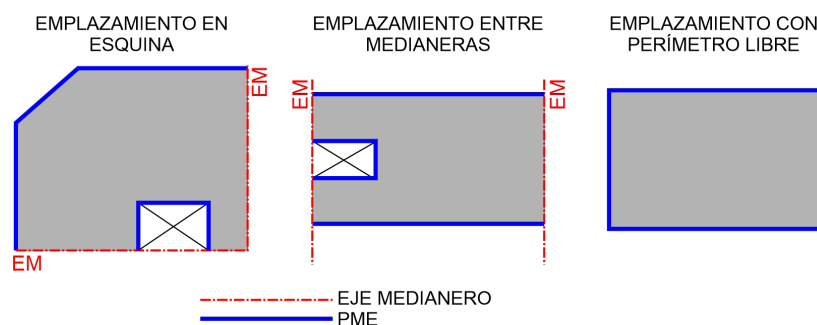


Figura 3. Esquema de aplicación de PME en función del tipo de emplazamiento. Fuente: Elaboración de los Autores.

Tabla 3. Análisis comparativo entre las principales características de cada una de las propuestas efectuadas. Fuente: Elaboración de los Autores.

Nomenclatura propuesta	Resistencia térmica [m ² W/K]	Energía embebida [MJ/m ²]	CO ₂ equivalente [kCO ₂ eq/m ²]	Costo económico por [U\$S/m ²]
PME_1	1,93	30.660	3491	60,59
PME_2	1,74	26.621	2185	58,94
PME_3	2,16	21.884	1773	78,52
PMI_1	1,95	30.419	3450	32,36
PMI_2	1,77	26.381	2144	30,71
PMI_3	2,18	21.644	1733	50,30

Se propone incorporar los aislantes a través de perfiles de chapa galvanizada disponibles en el mercado y de medidas estándares, con una placa de construcción en seco de yeso para el interior y de fibrocemento para el exterior. La medida adoptada para el perfil y aislante es de 70 mm de espesor. Como resultado de estas combinaciones, tres tipos de aislante con dos posibilidades de colocación, se definen seis propuestas de rehabilitación de muros. Se les asigna las siglas PME para las propuestas de muros exteriores y PMI para las interiores; a su vez se asigna el número uno para aquellas con poliestireno expandido, número dos con lana de vidrio y tres con lana de roca. En la tabla 2, se muestra la nomenclatura asignada para cada propuesta considerada.

FACTIBILIDAD CONSTRUCTIVA

La ejecución de las PME se encuentra condicionada por la configuración geométrica y emplazamiento de cada edificio. Se detectan tres tipos: entre medianeras (42,3 %), en esquina apoyado en dos medianeras (42,3 %) y de perímetro libre (15,38 %). Si bien estas soluciones presentan la ventaja de poder ejecutarse sin interrumpir las actividades del centro de salud, su aplicación se ve limitada en aquellos casos donde el edificio se encuentra adosado a muros. En estas situaciones, la intervención de manera global, solo es viable en los muros que colindan

con la vía pública o con patios internos (Figura 3). Esto se debe a que la aplicación de este sistema requiere de un espacio de trabajo suficiente para la colocación de los elementos constructivos y el posterior acabado. En el caso de los edificios ubicados en perímetros libres, la factibilidad constructiva es total, lo que permite la intervención de todos los muros exteriores.

Por otro lado, las PMI, aunque requieren la interrupción temporal de las actividades del CAPS, presentan la ventaja de poder aplicarse en todos los espacios interiores sin restricciones. Al ejecutarse en el interior del edificio, se elimina la necesidad de considerar factores externos como la protección contra la intemperie, lo que simplifica la logística y reduce costos de ejecución y riesgos de futuras patologías. Para minimizar el impacto en la atención al público, se recomienda realizar la obra por etapas, en que se intervenga cada ambiente de manera independiente.

ANÁLISIS DETALLADO DE LAS PROPUESTAS

A continuación, se presentan las principales características de las propuestas efectuadas (Tabla 3). En primera instancia, se analiza la aislación térmica. Para ello, se estudia por un lado la resistencia térmica de cada solución de manera aislada. En segundo lugar, se estudia el ACV de cada propuesta mediante la herramienta HADES,

Tabla 4. Comparación de puntaje total entre aislación térmica, costo económico e impacto ambiental para las propuestas de rehabilitación de muros.
Fuente: Elaboración de los Autores.

Nomenclatura propuesta	Aislación térmica	ACV	Costo económico	TOTAL
PME_1	8.85	7.06	5.07	20.98
PME_2	7.98	8.13	5.21	21.32
PME_3	9.91	9.89	3.91	23.71
PMI_1	8.94	7.12	9.49	25.55
PMI_2	8.12	8.20	10.00	26.32
PMI_3	10.00	10.00	6.11	26.11

Carga térmica anual de calefacción

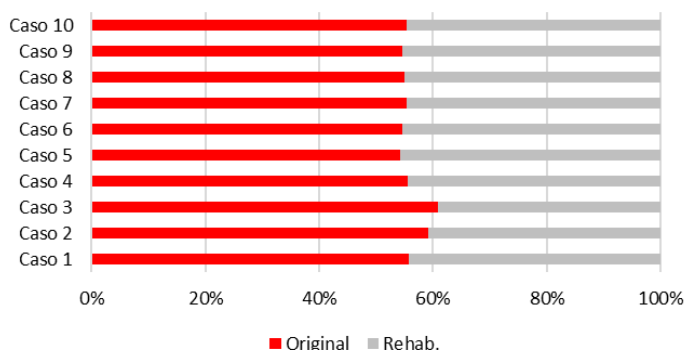


Figura 4. Carga térmica anual de calefacción, expresada en porcentaje para 10 CAPS existentes en SMT en su versión original y con propuesta de rehabilitación de CVE. Fuente: Elaboración de los Autores.

Carga térmica de refrigeración

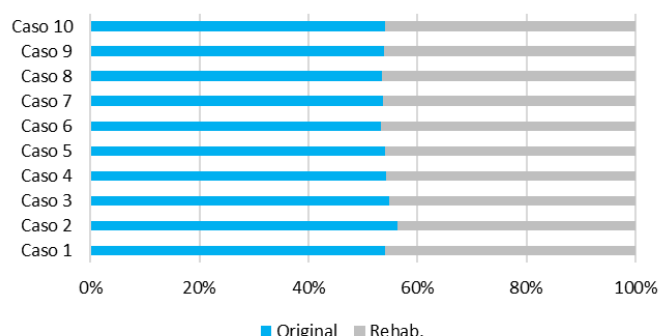


Figura 5. Carga térmica de refrigeración, expresada en porcentaje para 10 CAPS existentes en SMT en su versión original y con propuesta de rehabilitación de CVE. Fuente: Elaboración de los Autores.

considerándose los indicadores mencionados en la metodología. Por último, se evalúa el costo económico unitario, en U\$S/m² de cada una de ellas. En la tabla 3 se expresan estas propiedades para cada una de las propuestas efectuadas.

PONDERACIÓN Y SELECCIÓN DE PROPUESTA

Para seleccionar la propuesta más adecuada en relación costo-beneficio, se asigna una puntuación a cada propuesta en función de su desempeño en cada criterio considerado y se suman entre sí. Esta puntuación va del 1 al 10, se otorga el puntaje más alto, a la propuesta que mejor se desempeña en cada criterio específico. Por ejemplo, en costo económico, se aplica la puntuación 10, a aquella con menor precio. El resto de las propuestas serán evaluadas de manera proporcional, es decir, cuanto más se acerque una propuesta al mejor desempeño en un factor, mayor será su puntuación. Esta asignación de puntuaciones se basa en una simple regla de tres simple, que permite una cuantificación objetiva del desempeño de cada propuesta en relación a las demás.

La propuesta valorada con mayor puntaje para muros es la PMI_2 (Tabla 4). En este análisis comparativo se observa que, en térmicos de aislación térmica, la variación entre propuestas es de un 20 %, mientras que, en términos de costo económico, la misma reviste mayor relevancia aproximándose a un 50 % y en impacto ambiental un 30 %. A demás, las propuestas interiores cuentan con una mejor relación costo-beneficio, resultan más económicas y sustentables, que las exteriores.

APLICACIÓN DE LA PROPUESTA A CASOS EXISTENTES

En última instancia, se analiza el comportamiento térmico de manera global de la propuesta de rehabilitación seleccionada aplicada a diez casos de CAPS existentes en la ciudad de SMT. Las variantes consideradas son la carga térmica anual de calefacción (kWh) y la carga térmica de refrigeración (W). Los gráficos expuestos a continuación (Figura 4 y Figura 5) expresan de manera comparativa ambas variantes consideradas, para cada uno de los casos en su versión original y con propuesta de rehabilitación de muros.

En ambas variantes, se observa una mejora significativa en el desempeño térmico global de los distintos casos. Para la carga térmica anual de calefacción, la mejora oscila entre un 17 y 30 %, con un valor promedio de 21,32 %. En el caso de la carga térmica de refrigeración, esta se encuentra entre un 13 y 22 % con una media de 15,41 %.

DISCUSIÓN

La evaluación del comportamiento térmico del CVE existente en los CAPS revela, en general, valores de transmitancia térmica (K) elevados. Se registran valores de hasta 2,84 W/m²K, lo que supera significativamente el valor recomendado por la norma IRAM, 1,10 W/m²K para zonas cálidas. Estos valores elevados, tienen un impacto directo en el confort térmico de los usuarios, ya que dificulta mantener una temperatura interior estable y confortable. Además, repercute significativamente en el consumo energético de los edificios, que incrementa, la demanda de los sistemas de climatización para compensar las pérdidas o ganancias de calor a través de la envolvente, lo que se traduce en mayores costos operativos y huella de carbono.

En este trabajo se concluye que la propuesta más conveniente para la rehabilitación de muros en CAPS en SMT es PMI_2 (aplicación de lana de vidrio como material aislante en la cara interior). Un factor adicional que refuerza la conveniencia de las propuestas interiores, es su viabilidad de aplicación en todos los casos de CAPS analizados, tal como se detalla en la sección de Factibilidad. Esta característica de aplicabilidad universal, sumada a su favorable desempeño en los criterios evaluados, la convierte en una intervención constructiva óptima para la rehabilitación generalizada.

El análisis de las soluciones de rehabilitación evalúa cada propuesta de manera aislada. Si bien esto permite una comparación objetiva en términos de propiedades térmicas, costo y sustentabilidad, no se considera en detalle las implicancias constructivas específicas para cada CAPS. La aplicación real de estas soluciones podría conllevar un mayor uso de materiales y, en consecuencia, un incremento en el impacto ambiental y el costo económico total de la intervención.

En cuanto a los riesgos e incertidumbres asociados con las soluciones propuestas, es importante señalar que la durabilidad a largo plazo de los materiales aislantes, especialmente en soluciones interiores, puede verse afectada por factores como la humedad y las variaciones de temperatura. Un mantenimiento inadecuado podría comprometer la eficiencia de la rehabilitación a lo largo del tiempo. Por ello, resulta fundamental contar con protocolos específicos de instalación y mantenimiento para garantizar la efectividad y durabilidad de las soluciones implementadas.

CONCLUSIONES

Este estudio aborda la problemática de la deficiencia energética en CAPS de SMT, y propone estrategias de rehabilitación para su envolvente vertical de aplicación masiva. En resultado principal demuestra que la incorporación de aislante térmico en las caras interiores de los muros se consolida como la estrategia de rehabilitación más adecuada desde un enfoque económico, de sustentabilidad y factibilidad. Asimismo, se identifica a la lana de vidrio como el producto más adecuado del mercado local debido a su relación costo-prestaciones térmicas e impacto ambiental. La implementación de esta estrategia demuestra una mejora significativa en el comportamiento térmico-energético global de los CAPS analizados, con una reducción promedio del 15 % en la carga térmica de refrigeración y del 20 % en la carga térmica de calefacción.

La rehabilitación de las envolventes verticales en CAPS se traduce en múltiples beneficios. La reducción del consumo energético y la mejora del confort térmico contribuyen a la sostenibilidad de los servicios de salud, al minimizar su huella ambiental y optimizar la calidad de vida de los usuarios y del personal sanitario. Estos resultados se alinean con la creciente necesidad de implementar medidas de eficiencia energética en el sector edilicio, específicamente en su envolvente, tal como lo señalan diversos autores citados en el presente trabajo (Ascione et al., 2019; Bacelis et al., 2024; Wang et al., 2019; Costantini-Romero y Francisca, 2022; Ré y Filippín, 2021).

Esta investigación aporta una metodología de evaluación de estrategias de rehabilitación de la envolvente, basada en la aplicación de normas IRAM, criterios técnicos, económicos y ambientales. Su potencial de replicabilidad permite abordar desafíos de eficiencia energética en varios tipos de edificios, públicos y privados. En este sentido, los resultados y la metodología, ofrecen información valiosa para la formulación de políticas públicas. Éstas deben enfocarse en la sostenibilidad de la infraestructura de salud a nivel local y nacional, al impulsar la adopción de soluciones de rehabilitación energética con criterios técnicos y de ciclo de vida. En cuanto a futuras líneas de investigación, se sugiere explorar la implementación a mayor escala, el impacto del comportamiento de los usuarios y la integración de sistemas activos de climatización para una optimización energética integral. Finalmente, se concluye que la rehabilitación energética de la envolvente en los CAPS es una acción concreta y efectiva hacia la sostenibilidad de la infraestructura pública de salud.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES CRedit

Conceptualización, A.F., B.S.G.; Curación de datos, A.F., B.S.G.; Análisis formal, A.F., B.S.G.; Adquisición de financiación, no aplicable; Investigación, A.F.; Metodología, A.F., B.S.G.; Administración de proyecto, B.S.G.; Recursos, A.F., B.S.G.; Software, A.F., B.S.G.; Supervisión, B.S.G.; Validación, A.F., B.S.G.; Visualización, A.F., B.S.G.; Escritura – borrador original, A.F., B.S.G.; Escritura – revisión y edición, A.F., B.S.G.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por la financiación de la beca doctoral en la cual se enmarca este estudio, CONICET - PIUNT 712 SCAIT FAU UNT.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdou, N., Mghouchi, Y. E., Hamdaoui, S., Asri, N. E. y Mouqallid, M. (2021). Multi-objective optimization of passive energy efficiency measures for net-zero energy building in Morocco. *Building and Environment*, 204, 108141. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108141>

Andersen, M., martini, I., y Díscoli, C. A. (2019). Clasificación y evaluación del sector residencial orientada a la aplicación masiva de estrategias de reciclado edilicio. *AREA- Agenda de Reflexión en Arquitectura, Diseño y Urbanismo*, 25(1), 1–24. <http://157.92.122.77/index.php/area/article/view/289>

Ascione, F., Bianco, N., Maria Mauro, G., y Napolitano, D. F. (2019). Building envelope design: Multi-objective optimization to minimize energy consumption, global cost and thermal discomfort. Application to different Italian climatic zones. *Energy*, 174, 359–374. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.182>

Bacelis, G., Martínez Torres, K. E. y Ruíz Torres, R. P. (2024). Validación del rendimiento térmico en invierno del modelo de una vivienda de interés social. *Vivienda Y Comunidades Sustentables*, (15), 63–80. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i15.253>

Costantini-Romero, A. B., y Francisca, F. M. (2022). Construcción con bloques de suelo cemento como alternativa sostenible para envolvente edilicia. *Hábitat Sustentable*, 12(1), 114-125. <https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.01.08>

Daioglou, V., Mikropoulos, E., Gernaat, D., y van Vuuren, D. P. (2022). Efficiency improvement and technology choice for energy and emission reductions of the residential sector. *Energy*, 243, 122994. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122994>

Elsinger, D., Fernández, A., y Garzón, B. (2021). Calculador integral de eficiencia energética de la envolvente arquitectónica: CIDEA-EA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente - AVERMA*, 24, 77-88. <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/1964>

Fernández, A. y Garzón, B. (2021). Rehabilitación de muros exteriores en centros de salud en San Miguel de Tucumán para su eficiencia térmico-energética. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente - AVERMA*, 24, 31-40. <https://avermaexa.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/37/16>

Fernández, A., y Garzón, B. S. (2023). Comportamiento higrotérmico y consumo energético de un centro de salud en San Miguel de Tucumán. *Arquitecto* (22), 1-11. <https://doi.org/10.30972/arq.227245>

Fernández, A., y Garzón, B. S. (2024). Análisis de patrones de consumo energético en centros de salud de baja complejidad en Tucumán, Argentina. *ARQUISUR Revista*, 14(26), 112-121. <https://doi.org/10.14409/ar.v14i26.13961>

Flores, P. (2021). La construcción sostenible en Latinoamérica. *Limaq*, 7(007), 161-173. <https://doi.org/10.26439/limaq2021.n007.5183>

Galindo-Borbón, C., Borbón-Almada, A., Ochoa-de-la-Torre, J. M., y Marincic-Lovriha, I. (2024). Análisis costo-beneficio de estrategias para eficiencia energética en vivienda, aplicando la normatividad vigente en el Noroeste de México. *Hábitat Sustentable*, 14(2), 32–47. <https://doi.org/10.22320/07190700.2024.14.02.03>

Giovino, M. L., García Villar, G., Dorado, P., y Rolón, G. (2022). Desempeño térmico simulado de un edificio construido con tierra alivianada encofrada en Tucumán. *Memorias del Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra - SIACOT*, (20), 559-570. <https://revistas.udelar.edu.uy/OJS/index.php/msiacot/article/view/1079>

GómezCerdeiro, C. (2021). Análisis de la importancia de la eficiencia energética en los hospitales [Trabajo de grado, Universidad de Cantabria]. Repositorio Abierto de la Universidad de Cantabria. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/22083>

González, M. V., y Ceballos, S. J. (2021). Las epifitas vasculares en un ambiente urbano están influidas por características del arbolado, el clima y las fuentes de propágulos. *Ecología Austral*, 31(2), 357–371. <https://doi.org/10.25260/EA.21.31.2.0.1354>

IRAM 11601 de 2002 [Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina] Por el cual se establecen Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. 10 de octubre de 2022. <https://materialidad2012.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/03/11601.pdf>

IRAM 11604 de 2002 [Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina] Por el cual se establecen Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. 15 de febrero de 2001. https://procesosconstructivos.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/08/iram_11604.pdf

IRAM 11659-1 de 2004 [Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina] Por el cual se establecen Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1: Vocabulario, definiciones, tablas y datos para determinar la carga térmica de refrigeración. 29 de noviembre de 2004. <https://catalogo.iram.org.ar/#/normas/detalles/9443>

ISO 14040. (2006). [International Organization for Standardization] Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>

ISO 14044. (2006). [International Organization for Standardization] Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida – Requisitos y directrices. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>

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. *Hábitat Sustentable*, 10(1), 44-55. <http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.04>

Mercado Burciaga, U. (2023). Estrategias frente al cambio climático desde un enfoque de sustentabilidad en el sector educativo de Jalcocotán. *Acta Universitaria*, 33, 1-15. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3699>

Ministerio de Economía. (2023). *Balance Energético Nacional 2023*. <https://www.argentina.gob.ar/econom%C3%ADa/energ%C3%ADa/planeamiento-energetico/balances-energeticos>

Mora-Barrantes, J. C., Sibaja-Brenes, J. P., y Borbón-Alpizar, H. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica del agua de lluvia y de niebla. *Revista Tecnología en Marcha*, 34(1), 92-103. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i1.4806>

Muñoz-Rojas, R., Figueroa-San Martín, R., y Saelzer-Fuica, G. (2023). Análisis comparativo en la rehabilitación de envolvente térmica de cerramientos educativos con criterio ambiental. *AUS - Arquitectura / Urbanismo / Sustentabilidad*, (33), 4-11. <https://doi.org/10.4206/aus.2023.n33-02>

Ortega-Díaz, L., Cárdenas-Rangel, J., y Osma-Pinto, G. (2023). Estrategias de predicción de consumo energético en edificaciones: una revisión. *Tecnológicas*, 26(58), e2650. <https://doi.org/10.22430/22565337.2650>

Ré, G. y Filippin, C. (2021). Evaluación energética y rehabilitación de la envolvente edilicia de una escuela en zona bioambiental templada cálida, Argentina. *Informes de la Construcción*, 73(563): e407. <https://doi.org/10.3989/ic.79374>

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. *Trayectorias*, (47), 77-102. <https://trayectorias.uanl.mx/public/anteriores/47/pdf/4.pdf>

Scharager, J., y Reyes, P. (2001). Muestreo no probabilístico. En J. Scharager y I. Armijo. *Metodología de la investigación para las Ciencias Sociales [CD-Rom]: Versión 1.0 Santiago: Escuela de Psicología, SECICO*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Programa computacional. <https://n9.cl/x29vo>

Urteche, E., Fondoso-Ossola, S. T., Martini, I., Barbero, D. A. y Discoli, C. A. (2022). Metodología para el mejoramiento de la eficiencia energética de la envolvente edilicia del sector salud. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo*, 11(21), 141-153. <https://doi.org/10.18537/est.v011.n021.a12>

Wang, W., Ge, X., y Xiong, H. (2019). *Thermal de-sign optimization and analysis on heating load of rural buildings in northern China*. *E3S Web of Conferences*, 136, 03018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913603018>