

Aislamiento térmico como estrategia de mejora del confort en viviendas de zonas frías a gran altitud

Thermal insulation as a strategy to improve comfort in homes in cold areas at high altitude

Sandra Flores Asencio ¹

Purificación González Martínez ²

Germán Ramos Ruiz ³

DOI: <https://doi.org/10.26495/5da2t427>



Resumen

Esta investigación evalúa la mejora del confort térmico en una vivienda ubicada en una zona fría mediante la implementación de una envolvente térmica con aislamiento, considerando su viabilidad económica y su impacto a lo largo de la vida útil del edificio. Se adopta una metodología cuantitativa de tipo exploratorio, utilizando la técnica del estudio de caso. La muestra es no probabilística por conveniencia. El estudio se desarrolló durante cuatro meses, en temporada de verano, y consta de cuatro fases: análisis normativo, evaluación del estado actual, implementación de un prototipo de envolvente con aislamiento térmico y análisis mediante monitorización. Para ello, se emplearon registradores de datos que miden las fluctuaciones de temperatura y humedad relativa en dos habitaciones comparables: una intervenida y otra de control. Los resultados mostraron un incremento promedio de 2°C en la temperatura interior y una reducción del 10% en la humedad relativa en la habitación intervenida, permitiendo cumplir con la norma EM110, cuyas condiciones mínimas actuales no garantizan el confort térmico interior. Esta evidencia sugiere la necesidad de reajustar los criterios de envolvente térmica en dicha normativa. En conjunto la experiencia demuestra el impacto positivo de las estrategias pasivas en la mejora del confort térmico en viviendas existentes, proponiendo un enfoque replicable y de bajo costo que puede ser considerado en futuras actualizaciones normativas en el país.

Palabras clave

Arquitectura bioclimática, calidad ambiental, construcción de viviendas, normas de construcción, temperatura.

¹ Universidad de Navarra, Pamplona-Navarra, España, sfloresasen@alumni.unav.es. Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Puno, Perú, sflores@unap.edu.pe.

² Universidad de Navarra, Pamplona-Navarra, España, pgmarti@unav.es.

³ Universidad de Navarra, Pamplona-Navarra, España, gramrui@unav.es.

Abstract

This research evaluates the improvement of thermal comfort in a home located in a cold area through the implementation of a thermal envelope with insulation, considering its economic viability and its impact throughout the building's useful life. An exploratory quantitative methodology was adopted, using the case study technique. The sample is non-probabilistic for convenience. The study is carried out over four months, during the summer season, and consists of four phases: regulatory analysis, assessment of the current state, implementation of a prototype thermal envelope and analysis through monitoring. For this purpose, data loggers are used to measure temperature and relative humidity fluctuations in two comparable rooms: one that has been modified and one that serves as a control. The results showed an average increase of 2°C in the interior temperature and a 10% reduction in relative humidity in the intervened room, allowing compliance with the EM110 standard, whose current minimum conditions do not guarantee indoor thermal comfort. This evidence suggests the need to readjust the thermal envelope criteria in this standard. Overall, the experience demonstrates the positive impact of passive strategies in the improving thermal comfort in existing homes, proposing a replicable and low-cost approach that can be considered for future regulatory updates in the country.

Keywords:

bioclimatic architecture environmental quality, housing construction, building standards, temperature.

1 INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética en la edificación es uno de los pilares fundamentales para garantizar condiciones adecuadas de habitabilidad, confort y sostenibilidad ambiental, especialmente en contextos climáticos extremos. En América Latina, la mayoría de los países carece de normativas específicas y exigibles que regulen el diseño térmico de las viviendas, lo que conlleva a construcciones ineficientes y una alta exposición al desconfort térmico [1]. Esta problemática se agudiza en regiones de alta montaña, como el altiplano peruano, donde la incidencia de temperaturas extremadamente bajas es persistente y afecta directamente a la salud y al bienestar de la población.

En el contexto peruano, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) ha introducido la normativa EM.110 “Confort térmico y lumínico con eficiencia energética” [2], posteriormente reformulada como “Envolvente térmica” [3], con el objetivo de promover criterios técnicos para edificaciones térmicamente eficientes. No obstante, la aplicación efectiva de esta normativa en la vivienda continúa siendo limitada, tanto por restricciones económicas como por la falta de integración de criterios térmicos en el diseño arquitectónico convencional.

Diversas investigaciones [4], [5] en el país han evidenciado el impacto positivo de incorporar aislamiento térmico en muros, techos y ventanas, demostrando que reducir la transmitancia térmica mediante el uso de materiales no convencionales mejora considerablemente el comportamiento térmico de los espacios habitables. Varios estudios [6], [7] han propuesto soluciones pasivas basadas en técnicas constructivas locales y materiales de bajo costo, con resultados favorables obtenidos mediante simulaciones dinámicas. Asimismo, otras investigaciones [8], [9], han validado el uso de envolventes bioclimáticas en viviendas experimentales ubicadas en Puno, destacando su capacidad para alcanzar niveles aceptables de confort térmico incluso en condiciones de gran altitud. Por su parte [10] destacan que los sistemas de simulación energética de edificios permiten analizar tanto la calidad ambiental como la demanda energética de las construcciones. En esta línea [11] presentan una evaluación energética-económica que considera los materiales constructivos predominantes en la ciudad objeto de estudio. De igual forma [12] compararon diferentes configuraciones de materiales considerando variables como la orientación y el sombreado. En [13] sugieren que, para mejorar el confort térmico en urbanizaciones, se debe reducir la incidencia solar directa en climas cálidos y, por el contrario, favorecerla en zonas de clima frío. Finalmente [14] realizaron una evaluación energética de viviendas

durante el periodo 1960–2011, logrando definir un modelo termo físico a partir de simulaciones dinámicas.

Desde el enfoque del confort adaptativo, teorías como la de Fanger [15] sirven de referencia para evaluar el bienestar térmico percibido por los usuarios, considerando no solo parámetros físicos, sino también condiciones subjetivas, culturales y de ocupación. En zonas altoandinas, estudios [16] han resaltado la sensibilidad específica de los habitantes a las corrientes de aire y a los cambios bruscos de temperatura, con un rango de confort ligeramente distinto al de otras latitudes.

En este marco, el presente estudio tiene como propósito analizar el efecto de la implementación de una envolvente térmica con aislamiento en una vivienda ubicada en una zona fría de alta montaña, con el fin de aportar evidencia empírica sobre su viabilidad técnica y económica. El trabajo se enmarca en una perspectiva de mejora de la vivienda mediante estrategias pasivas, proponiendo alternativas replicables que puedan ser consideradas en futuras actualizaciones normativas.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Enfoque metodológico

El estudio adopta un enfoque cuantitativo y exploratorio, empleando la técnica del estudio de caso. La investigación se desarrolla bajo una perspectiva empírica con mediciones in situ y simulación energética. La elección metodológica se justifica por la necesidad de comprender el comportamiento térmico real de una vivienda existente antes y después de una intervención pasiva en su envolvente.

2.2 Lugar, población y muestra

El caso de estudio se localiza en la ciudad de Puno, Perú, a 3827 metros sobre el nivel del mar, correspondiente a la Zona Bioclimática 6 – Continental muy frío según la clasificación del Reglamento Nacional de Edificaciones [3]. La vivienda seleccionada fue construida en 1986, cuenta con cuatro niveles y muros de ladrillo artesanal con tarrajeo de cemento, sin aislamiento térmico previo.

En la Figura 1 se muestra los cerramientos verticales y huecos de la edificación están compuestas por ladrillo artesanal, mortero de cemento y vidrio del sistema moduglass.

La selección de la muestra fue no probabilística por conveniencia, dada la accesibilidad al inmueble y la disposición de los ocupantes para participar en el estudio. La unidad de análisis fue una habitación intervenida térmicamente y una habitación de control, ambas con condiciones constructivas similares.



Figura 1. Estado exterior de la vivienda antes de la intervención. Fuente: elaboración propia.

2.3 Consideraciones éticas

El estudio fue desarrollado con la autorización de los ocupantes y bajo principios éticos de consentimiento informado. No se intervino en condiciones que comprometieran la salud o seguridad de los residentes durante la ejecución.

2.4 Fases del estudio

La investigación se realizó durante cuatro meses, en temporada de verano, y se estructuró en cuatro fases metodológicas, según el modelo de investigación propuesto por Wieser et al. [9]:

Fase 1. Síntesis

Primero se realizó la revisión normativa [3], [15] para identificar los criterios establecidos y su aplicabilidad en zonas frías de alta montaña, la revisión técnica del marco teórico de confort térmico y análisis cualitativo de la vivienda.

Fase 2. Contraste

En la segunda fase se diagnosticó el estado actual de la vivienda mediante observación directa, levantamiento de datos arquitectónicos y térmicos a través de inspección termográfica. Simulación energética en DesignBuilder v7.3.1.003.

Fase 3. Exploratoria

Luego se implementó un prototipo de envolvente con aislamiento térmico utilizando materiales accesibles y técnicas constructivas adaptadas al contexto local: sistema compuesto por muro trasdosado con aislamiento, cielo raso con EPS, piso flotante HDF con aislamiento de 0.5 cm, recubrimiento exterior y cambio de ventanas de sistema moduglass a doble vidrio con cámara de aire.

Fase 4. Conclusiva

Finalmente se efectuó un análisis comparativo mediante la monitorización del comportamiento térmico con sensores MadgeTech RHTemp101A para registrar temperatura y humedad relativa durante tres condiciones: (1) sin aislamiento, (2) aislamiento parcial y (3) aislamiento completo.

En la Figura 2 se observa el estado interior del estudio de caso antes de la intervención donde la materialidad de los muros es de ladrillo artesanal, tarrajeo de cemento y las ventanas son de sistema moduglass con vidrio simple de espesor de 6mm.



a)



b)

Figura 2. Estado interior del estudio de caso. a) habitación a intervenir con aislamiento térmico, b) habitación de control. Fuente: elaboración propia.

2.5 Instrumentos y materiales

Los instrumentos utilizados fueron:

Una Cámara termográfica FLIR i50, con precisión de $\pm 2\%$ y sensibilidad térmica de $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ como se presenta en la Figura 3.



Figura 3. Cámara termográfica Flir I60. Fuente: elaboración propia.

Sensores MadgeTech RHTemp101A, con un rango de medición de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ con precisión de $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatura y $\pm 3\%$ de humedad relativa como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Sensor Data Logger Madgetech. Fuente: elaboración propia.

Software DesignBuilder, para simulación energética y análisis del desempeño térmico.

Y Python Jupyter en Google Colab, utilizado para el procesamiento de datos.

2.6 Sistema de aislamiento térmico y costos

La envolvente térmica fue diseñada considerando materiales de bajo costo y fácil instalación, adaptados a técnicas constructivas locales. Se basó en criterios técnicos propuestos por [17] , priorizando eficiencia, disponibilidad y rapidez de implementación. El sistema final incluyó:

- Tarrajeo exterior: S/ 1200.00
- Muro trasdosado con aislamiento (paneles internos): S/ 1528.80
- Piso HDF 8.3 mm con aislamiento: S/ 600.00
- Cielo raso con EPS de 1": S/ 160.50
- Cambio de ventanas a doble vidrio con cámara de aire: S/ 2000.00

2.7 Variables e indicadores de análisis

Los datos fueron procesados utilizando Python (pandas, matplotlib). Se identificaron comportamientos térmicos anómalos, estabilidad térmica interior y nivel de cumplimiento de umbrales normativos.

3 RESULTADOS

Durante la etapa de contraste, se evaluó el estado térmico inicial mediante inspección termográfica y simulación energética con el software DesignBuilder. A continuación, se detallan los hallazgos más relevantes:

La imagen termográfica evidencia diferencias térmicas significativas entre marcos de ventanas, muros y encuentros constructivos, lo que sugiere la presencia de puentes térmicos críticos. Las temperaturas superficiales oscilan entre 14 °C y 22 °C. Las zonas frías, representadas en tonos violetas y azules (aproximadamente 14 °C), corresponden a superficies con alta pérdida térmica, como vidrios simples y muros sin aislamiento. En contraste, las zonas más cálidas, mostradas en tonos naranjas, rojos y amarillos (hasta 22 °C), indican acumulación de calor en superficies expuestas a radiación solar o con alta inercia térmica. El cursor central registra temperaturas de 19.8 °C y 20.5 °C. Estas imágenes permiten identificar deficiencias en el sistema envolvente, especialmente en las ventanas y uniones entre muros y elementos estructurales, donde la falta de aislamiento facilita la transferencia térmica no deseada, afectando la estabilidad térmica interior. Este análisis es clave para establecer la línea base del comportamiento térmico previo a la intervención pasiva.

La Figura 5 evidencia diferencias térmicas significativas entre marcos, muros y uniones constructivas, destacando puentes térmicos y zonas con alta pérdida de calor.

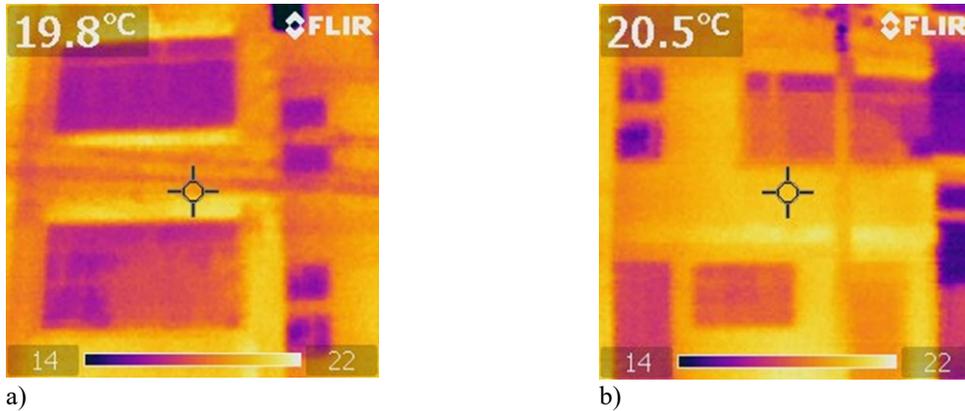


Figura 5. Análisis termográfico de pérdidas térmicas. a) Habitación a rehabilitar. b) Habitación de control sin intervención. Fuente: elaboración propia.

La Figura 6 muestra la representación digital de la vivienda modelada en DesignBuilder, utilizada para analizar el comportamiento térmico inicial mediante simulación energética.

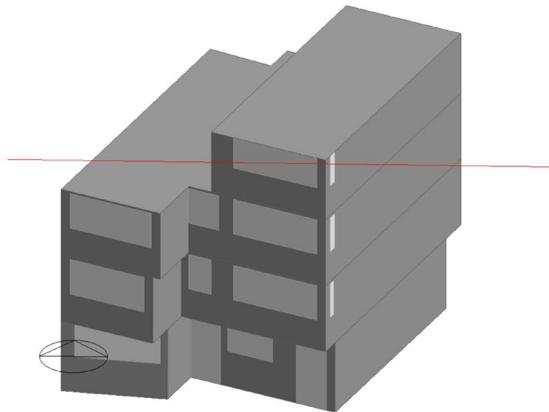


Figura 6. Modelo de Simulación energética en Design Builder. Fuente: elaboración propia.

Durante el mismo periodo de análisis, el modelo energético en DesignBuilder evidenció pérdidas de calor a través de muros, techos y suelos, especialmente durante la noche cuando la temperatura exterior disminuye. Se detectó disconfort por frío, con temperaturas operativas descendiendo hasta los 16 °C, lo cual resulta insuficiente para garantizar confort térmico, especialmente en condiciones de reposo o vestimenta ligera. A esta altitud, la sensibilidad al frío es mayor. A pesar de que las temperaturas interiores se mantienen entre 16 °C y 18 °C, según los criterios de Fanger, estas condiciones no alcanzan los niveles de confort aceptables.

La simulación mostró una transmitancia térmica en muros de 2.96 W/m²·K y en piso de 1.26 W/m²·K. La norma EM.110 establece valores máximos de 2.7 W/m²·K para muros, 1.20 W/m²·K para pisos y en techo de 0.8 W/m²·K en la zona 6 (clima continental muy frío), así como un rango aceptable de confort interior desde los 18 °C, umbral que no siempre se alcanza según los resultados de la simulación y la monitorización. Tras la intervención pasiva, los valores de transmitancia térmica mejoraron significativamente: muros con 0.44 W/m²·K, techo con 0.64 W/m²·K y piso con 0.78 W/m²·K, reflejando una mejora sustancial en la envolvente térmica y, por ende, en el confort interior, como se observa en la Figura 7.

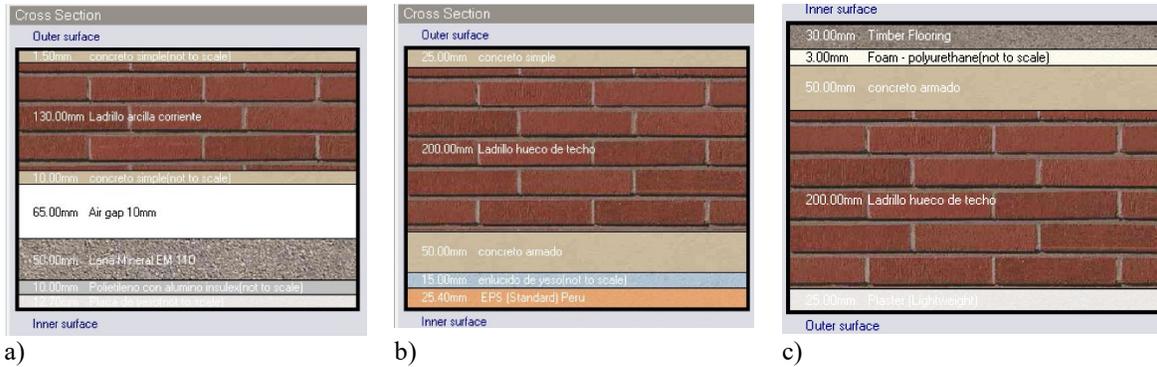


Figura 7. Envoltente térmica. a) Muro. b) techo. c) piso. Fuente: elaboración propia.

En la etapa conclusiva, se realizó la monitorización del comportamiento térmico mediante sensores MadgeTech RHTemp101A. En la condición (1) sin aislamiento, registrada en diciembre de 2024, las temperaturas exteriores oscilaron entre 20 °C (máxima) y -2 °C (mínima).

Las temperaturas interiores de la habitación de control fluctuaron entre 17 °C y 10 °C, mientras que la humedad relativa varió entre 70% y 30%. El canal 2, ubicado en el alfeizar interior de la ventana de la fachada principal, presentó la mayor variabilidad térmica, lo cual indica una zona menos protegida o con mayor exposición al entorno, como se observa en la Figura 08.

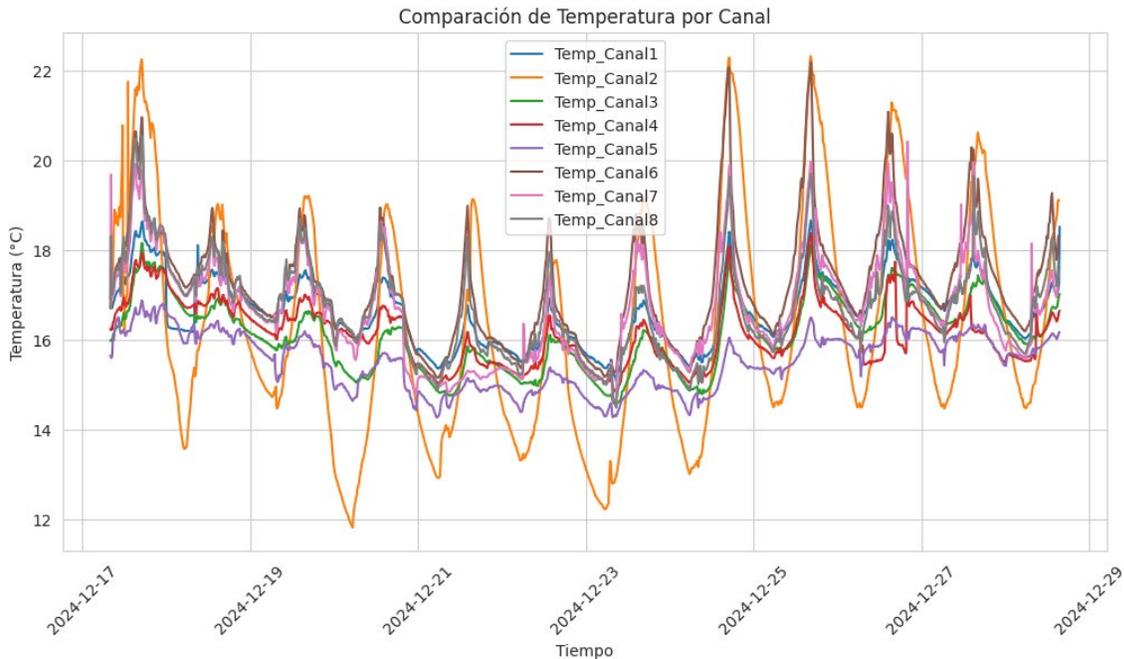


Figura 8. Comparación de temperatura por canal – Dormitorio 03 (habitación de control).

Fuente: elaboración propia.

En la habitación a rehabilitar, las temperaturas interiores en promedio oscilaron entre 22 °C y 10 °C, con humedad relativa entre 70% y 20%, como se observa en la Figura 9. También en esta habitación, el canal 2 evidenció mayor variabilidad térmica, por su ubicación crítica.

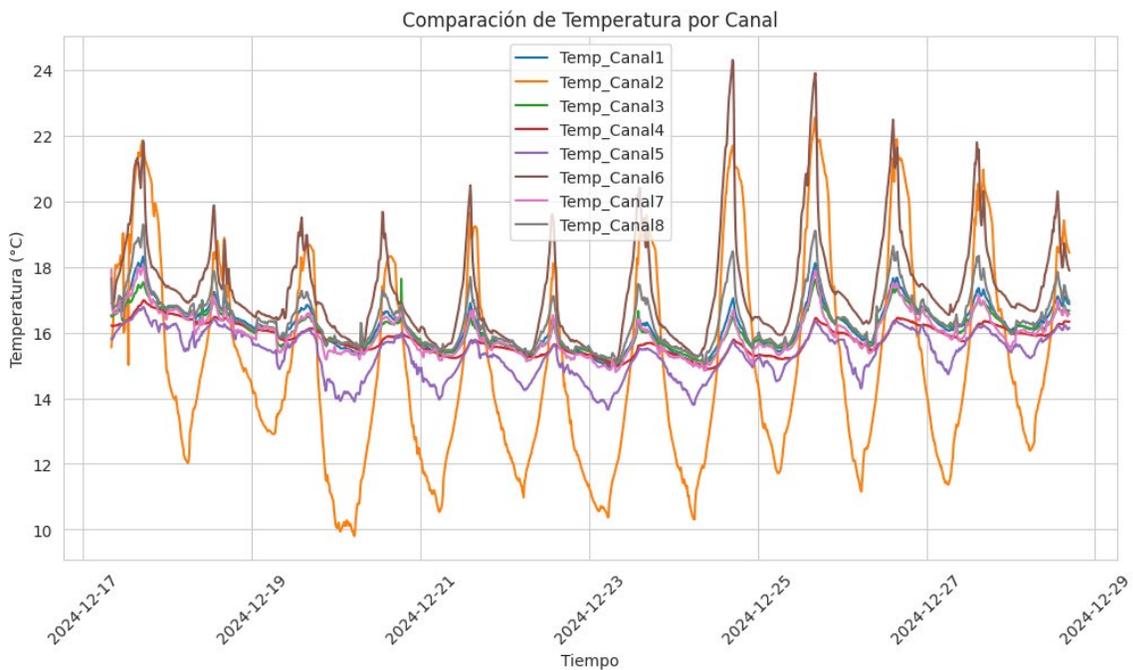


Figura 9. Comparación de temperatura por canal – Dormitorio 02 (habitación a ser rehabilitada). Fuente: elaboración propia.

Se observó una leve tendencia a la baja en la temperatura hacia el final del periodo, posiblemente debido a un cambio estacional o climático, a pesar de tratarse de la temporada de verano. Las ondas térmicas de ambas habitaciones presentan comportamientos divergentes. Además, se identificaron discrepancias entre los resultados de la simulación y los datos obtenidos mediante monitorización.

Durante la etapa exploratoria se implementó una envolvente térmica compuesta por: muro trasdosado con aislamiento, cielo raso con EPS, piso flotante HDF con aislamiento, recubrimiento exterior y reemplazo de ventanas (de sistema moduglass a doble vidrio sin rotura de puente térmico) como se observa en la Figura 10.

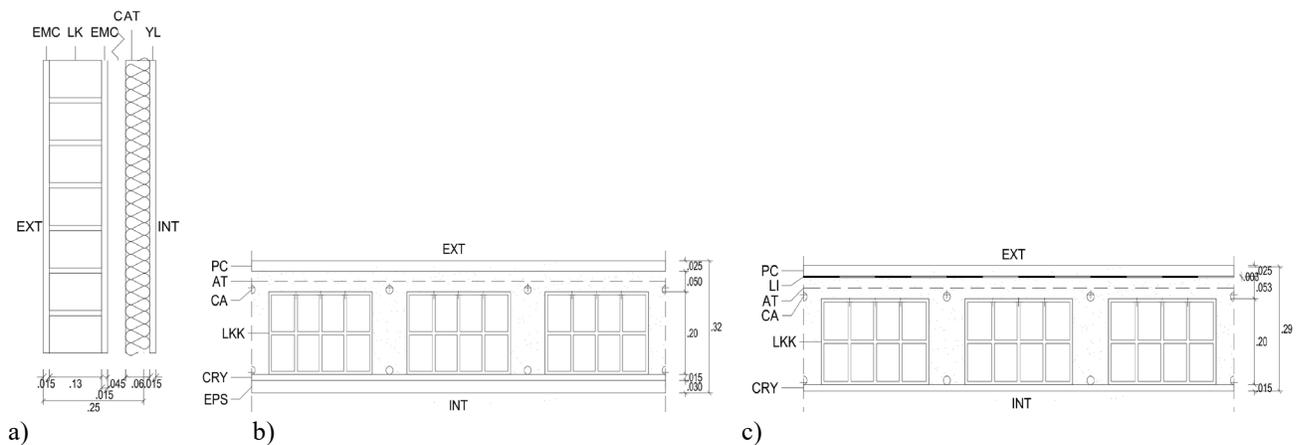


Figura 10. Detalle constructivo envolvente térmica. a) Muro trasdosado interior donde: INT=interior, YL= placa de yeso, AT= aislamiento térmico lana de vidrio con para vapor, C=cámara de aire, EMC=enlucido mortero cemento, EXT= exterior. b) Techo donde: EXT= exterior, PC=piso flotante, AT= Aislamiento térmico, CA= Concreto armado, LKK= Ladrillo King Kong para techo, CRY=cielo raso de yeso, EPS=Poliestireno expandido.

c) Piso donde: EXT= exterior, PC=piso flotante, Li= espuma de poliestireno, AT= Aislamiento térmico, CA= Concreto armado, LKK= Ladrillo King Kong para techo, CRY=cielo raso de yeso. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 11 se observa la Implementación de la envolvente térmica en muros exteriores a través del tarrajeo de cemento.



Figura 11. Implementación de la envolvente térmica en muros exteriores. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 12 se observa la habitación dormitorio 02 rehabilitada con la envolvente térmica en piso, muro y techo.



a)



b)

Figura 12. Implementación de la envolvente térmica en piso, muros interiores y techo. a) Muros interiores con trasdosado de sistema drywall conformado por EPS, lana de vidrio, barrera de vapor y placa de yeso. b) Piso con espuma aislante y piso laminado HDF (8.3 mm, 19.3x1.20 cm); cambio de ventana a sistema de aluminio con vidrio doble (6 mm) con cámara de aire sin rotura de puente térmico; techo con cielo raso de EPS (1").

Fuente: elaboración propia.

El monto total de la implementación de la envolvente térmica asciende en S/. 9000.00 como se observa en la Tabla 1, el ingreso económico promedio mensual en el Perú según Ipsos [18] comprende entre S/ 12000 para la condición socioeconómica A y S/ 1300 para la condición socio económica E, entonces el costo total supondría menos de un sueldo para la clase A y casi 7 sueldos para la clase E.

Tabla 1. Costo envolvente térmica para rehabilitación interior

Envolvente térmica	Área en M2	Costo parcial en S/.
Muro interior	22.00	1528.00
Muro exterior habitación de control y habitación aislada	43.26	1200.00
Piso	15.24	600.00
Techo	16.00	160.50
Ventana habitación de control y habitación aislada	8.60	2000.00
Pintura en interiores habitación aislada		300.00
Mano de obra instalación y otros gastos de transporte		3211.50
Costo Total S/.		9000.00

Fuente: elaboración propia.

En la **condición (3) con aislamiento completo**, se colocaron sensores en diversos puntos de la envolvente para evaluar su desempeño térmico.

En la Figura 13 se muestra la ubicación de los canales: canal 1 en muro medianero con vecino, canal 2 en alfeizar de ventana facha principal, canal 3 muro medianero con dormitorio 03, canal 4 en piso nivel 02, canal 5 en techo. Habitación de control sin aislamiento térmico: canal 1 en muro medianero con dormitorio 03, canal 2 en alfeizar de ventana facha principal, canal 3 en muro medianero con vecino, canal 4 en piso nivel 02, canal 5 en techo.

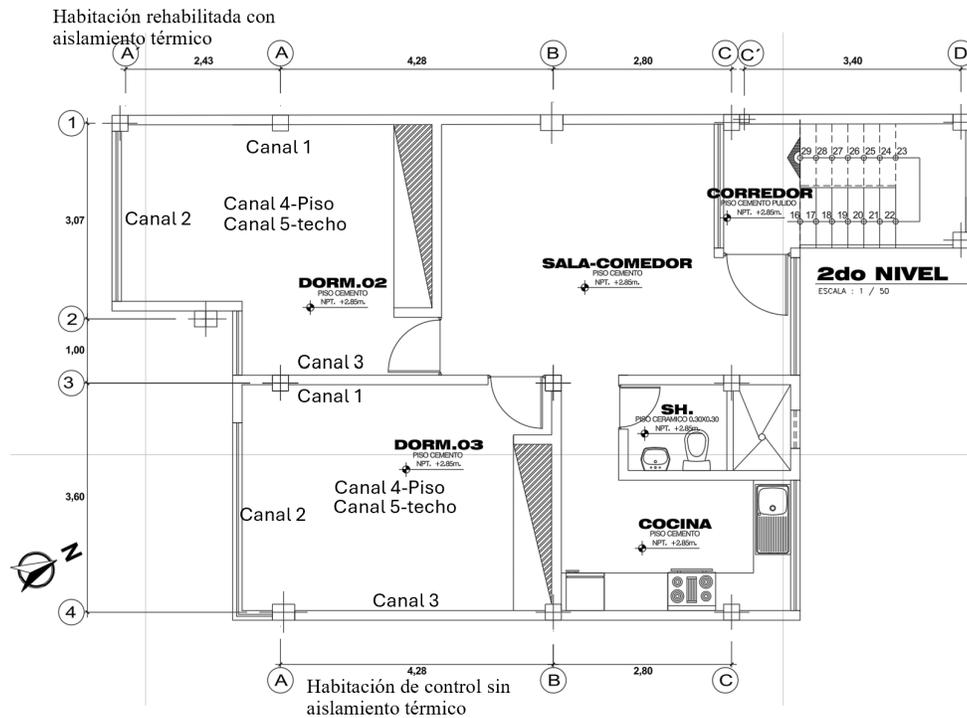


Figura 13. Planta de la vivienda – ubicación de los sensores (canales). Fuente: elaboración propia.

En el mes de febrero y marzo de 2025 las temperaturas exteriores oscilaron entre 18 °C (máxima) y 3°C (mínima). Las temperaturas interiores de la habitación de control fluctuaron entre 17 °C y 11 °C, mientras que la humedad relativa varió entre 75% y 55%. El canal 2, ubicado en el alfeizar interior de la ventana de la fachada principal, presentó la mayor variabilidad térmica, lo cual indica una zona menos protegida o con mayor exposición al entorno, como se observa en la Figura 14.

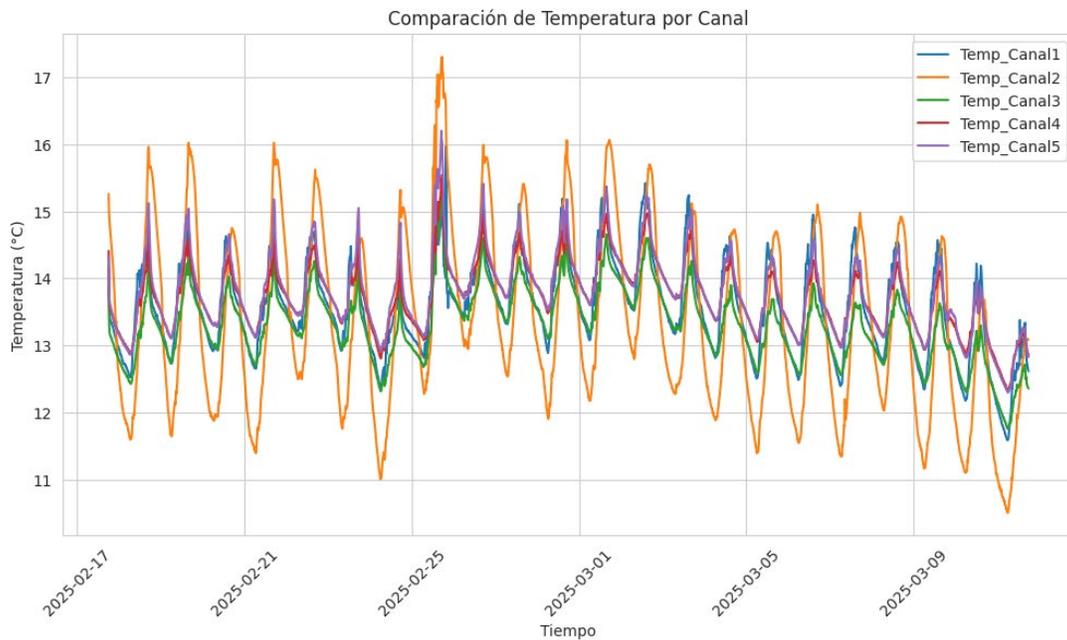


Figura 14. Comparación de temperatura por canal – Dormitorio 03. Fuente: elaboración propia.

En la habitación rehabilitada con envolvente térmica interior, las temperaturas interiores oscilaron entre 20 °C y 12 °C, con humedad relativa entre 70% y 45%. También en esta habitación, el canal 2 evidenció mayor variabilidad térmica, por su ubicación crítica. Sin embargo, las ondas de temperatura se mantienen uniforme en los demás canales lo que demuestra que el confort térmico ha aumentado en el interior de la habitación, como se observa en la Figura 15.

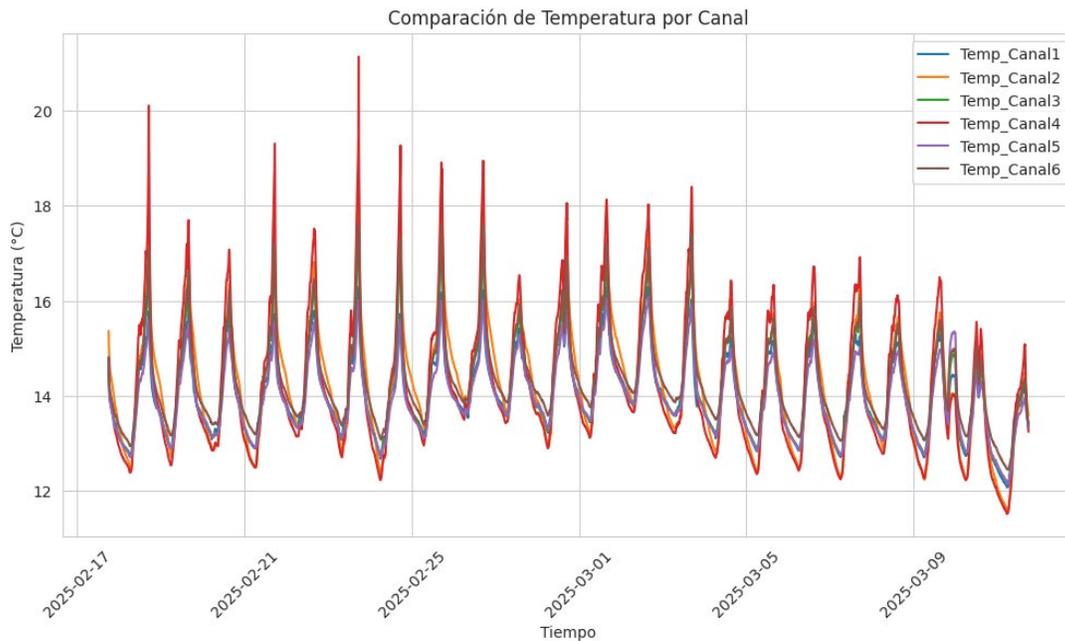


Figura 15 Comparación de temperatura por canal- Dormitorio 02. Fuente: elaboración propia.

4 DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación coinciden en gran medida con estudios previos realizados en contextos similares de clima frío andino, aunque en escenarios diferentes. En [7] evidenciaron en un entorno rural que una doble pared de adobe con aislamiento interior puede incrementar la temperatura interior hasta en 3 °C. Este hallazgo es concordante con el incremento promedio de 2 °C obtenido en esta investigación en un entorno urbano, tras la rehabilitación de la envolvente térmica en [6] también demostraron mejoras térmicas significativas mediante paneles de tierra alivianada en viviendas del sur del Perú, validando la eficacia de soluciones constructivas de bajo costo.

Asimismo [4] identificó las ventanas como los elementos más críticos en términos de transmitancia térmica, lo cual coincide con la fase inicial del presente estudio, donde estos componentes mostraron mayor pérdida de calor. No obstante, a diferencia de estas investigaciones, el presente trabajo implementa una intervención progresiva e integral en todos los cerramientos (muros, techos, pisos y ventanas), permitiendo un análisis más completo del comportamiento térmico.

El análisis termográfico evidenció pérdidas de calor significativas en muros y ventanas, así como la presencia de puentes térmicos y filtraciones de aire, en línea con lo reportado por [19] Esta evidencia apoya la validez del enfoque metodológico adoptado, que busca obtener datos empíricos bajo condiciones reales de habitabilidad. A diferencia de estudios centrados en simulaciones o prototipos experimentales, esta investigación ofrece una metodología replicable en contextos de alta

vulnerabilidad socioeconómica, utilizando materiales accesibles y técnicas compatibles con la construcción local.

Desde una perspectiva práctica, los hallazgos muestran que la mejora de la envolvente térmica no solo incrementa el confort, sino que contribuye a la eficiencia energética al reducir la dependencia de calefactores activos. La temperatura interior en la habitación intervenida aumentó de 16 °C a 18 °C, con una reducción del 10 % en la humedad relativa. Esto permitió alcanzar el 80 % de aceptabilidad, con el uso de un calefactor eléctrico, se logró una temperatura de 20 °C, cumpliendo con el umbral del 90 % de confort térmico. Además, se observó una mayor estabilidad de la onda térmica diaria, lo cual reduce la pérdida de calor nocturna.

Sin embargo, los resultados también evidencian que, en zonas de clima extremo como Puno, el aislamiento pasivo, aunque eficaz, puede no ser suficiente por sí solo. Continúa siendo necesaria la incorporación de sistemas de calefacción complementarios, preferiblemente de bajo consumo. Esto resalta la necesidad de estrategias combinadas que integren el diseño pasivo, aislamiento térmico eficiente y tecnologías activas adaptadas a la realidad socioeconómica de la vivienda social peruana.

Pese a las mejoras alcanzadas, se identificaron limitaciones estructurales propias de la vivienda existente, como la dificultad para incorporar aislamiento continuo sin modificar sustancialmente los elementos constructivos originales. Esto refuerza la importancia de integrar el aislamiento térmico desde la fase de diseño arquitectónico [20], asegurando su correcta ejecución durante la construcción. La rehabilitación aplicada en este estudio demostró ser técnicamente viable, de bajo costo y efectiva, como lo destacan [21], [17], presentándose como una solución práctica para reducir el impacto del frío y mejorar la salud de los ocupantes.

Finalmente, esta investigación tiene implicaciones que trascienden la mejora de una vivienda específica, ya que subraya la urgencia de fortalecer las políticas públicas orientadas a la eficiencia térmica del parque habitacional. Se recomienda impulsar estrategias de diseño pasivo, fomentar el uso de materiales térmicamente eficientes y establecer incentivos gubernamentales para la rehabilitación térmica en zonas frías. Futuras investigaciones podrían evaluar el impacto a largo plazo de estas mejoras en el ahorro energético, la calidad del aire interior y la salud de los ocupantes, especialmente en contextos de alta vulnerabilidad climática como los Andes peruanos.

5 CONCLUSIONES

La rehabilitación térmica de la envolvente en viviendas ubicadas en zonas frías mejora significativamente el confort térmico interior, permitiendo un incremento promedio de 2 °C en la temperatura media y una reducción del 10 % en la humedad relativa según las condiciones de intervención evaluadas. La aplicación de aislamiento térmico posibilita cumplir con los requerimientos mínimos establecidos en la norma EM110, evidenciando que sus parámetros actuales resultan insuficientes para garantizar el confort térmico interior, por lo que se recomienda su reajuste. La estrategia empleada demuestra ser viable tanto técnica como económicamente para su implementación en viviendas sociales, ofreciendo una solución efectiva para mitigar los efectos del frío extremo en regiones altoandinas. Los resultados obtenidos subrayan la importancia de incorporar criterios de aislamiento desde la etapa de diseño arquitectónico en nuevas edificaciones, así como de promover políticas públicas orientadas a la rehabilitación térmica. Finalmente, se recomienda fomentar incentivos gubernamentales, capacitación técnica y campañas de sensibilización para facilitar la adopción de estas estrategias en el hábitat popular peruano.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Programa de Becas PRONABEC-Perú, Beca Generación Bicentenario y a la Universidad Nacional del Altiplano por el respaldo institucional brindado. Este trabajo forma parte de una investigación en curso en el marco de la tesis doctoral en Arquitectura de la Universidad de Navarra, España.

REFERENCIAS

- [1] R. Calvo, N. Álamos, M. Billi, A. Urquiza, y R. Contreras Lisperguer, «Desarrollo de indicadores de pobreza energética en América Latina y el Caribe 207 RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO», *CEPAL - Serie Recursos Naturales y Desarrollo*, vol. 207, pp. 1-88, 2011, [En línea]. Disponible en: www.cepal.org/apps
- [2] M. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, «Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética», Lima, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://waltervillavicencio.com>
- [3] M. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, «Norma Técnica EM.110, Envoltorio Térmico del Reglamento Nacional de edificaciones», Lima, jul. 2022. Accedido: 30 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3453611/Texto%20EM110%20Norma%20vC PARNE%20VF%2026.07.2022.pdf.pdf>
- [4] L. Espinoza, «Envoltorio arquitectónica para la mejora del confort térmico en edificios multifamiliares certificados de la ciudad de Piura (2016-2019)», Lima, 2020. Accedido: 22 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3212>
- [5] M. Moro, «“Propuesta de materiales ecológicos no tradicionales para construcciones según la norma EM.110”», Cajamarca, 2020. Accedido: 23 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24794>
- [6] M. Wieser, S. Onnis, y G. Meli, «Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada Posibilidades de aplicación en el territorio peruano», *Revista de Arquitectura*, vol. 22, n.o 1, dic. 2019, doi: 10.14718/revarq.2020.2633.
- [7] J. O. Molina, M. J. Horn, y M. M. Gómez, «Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda alto andina para lograr el confort térmico con energía solar», *TECNIA*, vol. 30, n.o 1, pp. 70-79, may 2020, doi: 10.21754/tecnia.v30i1.841.
- [8] C. Endara y M. Jiménez, «Evaluación de las transmitancias Térmicas de la casa ecológica andina PUCP del distrito de Langui, provincia de Canas-Cusco, según los parámetros de la norma Técnica peruana EM. 110, para mejorar las condiciones de confort térmico de las viviendas de la zona bioclimática alto andina en el Perú», Cusco, 2019.
- [9] M. Wieser, A. Garaycochea, y V. Prada, «Improving the thermal performance of schools in the high andean region of Perú. The case of “PRONIED’s prefabricated frost-type modular classrooms”», *Habitat Sustentable*, vol. 13, n.o 1, pp. 56-67, jun. 2023, doi: 10.22320/07190700.2023.13.01.05.
- [10] R. García-Alvarado, A. González, W. Bustamante, A. Bobadilla, y C. Muñoz, «Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares», *Informes de la Construcción*, vol. 65, n.o 533, 2014, doi: 10.3989/ic.12.108.
- [11] V. Macas-Espinosa, I. Portilla-Sanchez, D. Gomez, R. Hidalgo-Leon, J. Barzola-Monteses, y G. Soriano, «Assessment of the Energy Efficiency and Cost of Low-Income Housing Based on BIM Considering Material Properties and Energy Modeling in a Tropical Climate», *Energies (Basel)*, vol. 18, n.o 6, mar. 2025, doi: 10.3390/en18061500.

- [12] E. Trejo-torres, «Revista de Ingeniería Civil Simulación energética de prototipo de vivienda de interés social para evaluar el confort térmico Energy simulation of a social interest housing prototype to evaluate thermal comfort», *junio 2020*, vol. 4, n.o 11, pp. 16-21, doi: 10.35429/JCE.2020.11.4.16.21.
- [13] M. C. Bonillas y J. C. Velasco, «Estudio y Simulación de la Respuesta Térmica de dos modelos de Vivienda de Interés Social en las Ciudades de Esmeraldas e Ibarra», Quito, jun. 2017. Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17405/1/CD-7906.pdf>
- [14] M. P. Mazzocco, C. Filippín, H. Sulaiman, y S. F. Larsen, «Performance energética de una vivienda social en Argentina y su rehabilitación basada en simulación térmica», *Ambiente Construido*, vol. 18, n.o 4, pp. 215-235, oct. 2018, doi: 10.1590/s1678-86212018000400302.
- [15] B. W. Mangum y J. E. Hill, «Thermal analysis - human comfort - indoor environments», Gaithersburg, MD, 1977. doi: 10.6028/NBS.SP.491.
- [16] I. Mino-Rodriguez, I. Korolija, y H. Altamirano, «Thermal comfort in dwellings in the subtropical highlands Case study in the Ecuadorian Andes», Windsor, ago. 2018. Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10123813/7/Altamirano_red2018_Mino-RodriguezKorolijaAltamirano_Thermalcomfortindwellingsinthesubtropicalhighlands-CasestudyintheEcuadorianAndes.pdf
- [17] R. B. Canetti, «Aislantes térmicos alternativos para vivienda adecuada: una propuesta de diseño, social y ambientalmente sustentable», Buenos Aires, 2016. Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/f12089a6-0b7a-49cd-b3ca-d52b72c33d03/content>
- [18] I. y C. I. de medios y comunicación de marca Ipsos, «Perfiles socioeconómicos de Lima Metropolitana 2020», n.o Innovación y Conocimiento: Investigación de medios y comunicación de marca, p. 12, 2020, Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2021-01/nse_2020_v2.pdf
- [19] J. J. Aparco, «Patologías Térmicas de origen físico en la envolvente del Pabellón “O” correspondiente a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, mediante Termografía Infrarroja», Huancavelica, oct. 2019. Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c3a201b7-ebe5-40d9-9f6c-99e36141cfa6/content>
- [20] R. Arenas, «Potencial de ahorro de energía térmica en el sector de la vivienda en España, según las directrices establecidas por las políticas energéticas comunitarias y nacionales. Aplicación a un edificio de viviendas de catorce plantas de Gijón (Asturias)», *Congreso Nacional del Medio Ambiente*, pp. 1-16, 2014, Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711520.pdf>
- [21] R. Santa María, «La iniciativa de vivienda saludable en el Perú», *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, vol. 25, n.o 4, pp. 419-430, 2008.