

Validación higrotérmica y eficiencia energética de sistemas constructivos pasivos - panel multicapas con materiales sostenibles para mejorar el confort térmico en viviendas rurales altoandinas del Perú

Verónica Pilco^a, Kenneth Ayala^b, Raul Arancibia^a, Henry Javier^a

FILIACIONES

a. Departamento de Ciencias Naturales. Universidad Católica San Pablo, Arequipa-Perú

b. Universidad Católica Santa María, Arequipa - Perú.

CORREOS DE AUTORES

vjpilco@ucsp.edu.pe

riarancibia@ucsp.edu.pe

kennethac95@gmail.com

hjavier@ucsp.edu.pe

CONTENIDO

Las viviendas rurales ubicadas en zonas mesoandinas y altoandinas del Perú presentan elevados niveles de vulnerabilidad térmica debido al uso de envoltentes constructivos con baja resistencia térmica y escasa hermeticidad, generando temperaturas interiores críticas, alta oscilación térmica y condiciones de discomfort higrotérmico que afectan directamente la salud y calidad de vida de la población. En respuesta a esta problemática, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar experimentalmente el desempeño higrotérmico y energético de sistemas constructivos pasivos basados en paneles multicapas (con madera tratada térmicamente) y techos aislados con aprovechamiento de radiación solar, orientados a optimizar el confort térmico en viviendas rurales de zonas bioclimáticas meso y alto andinas del sur del Perú.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental aplicado y longitudinal en el anexo Los Arenales de Chiguata, Arequipa, entre 3300 y 3800 m s.n.m., integrando criterios de arquitectura bioclimática, eficiencia energética y sostenibilidad ambiental. La metodología contempló cuatro etapas: diagnóstico climático y constructivo, caracterización termo-física de materiales, diseño e implementación de sistemas constructivos pasivos y monitoreo higrotérmico continuo. Los sistemas desarrollados incorporaron paneles multicapas compuestos por drywall, lana de vidrio, tablero OSB y madera tratada térmicamente, además de cubiertas termoacústicas con fibras naturales (paja de avena) y lucernarios para captación solar pasiva. La evaluación térmica se realizó mediante cálculos de transmitancia térmica conforme a la Norma Técnica EM.110 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, complementándose con análisis termográficos, diagramas psicrométricos de Givoni y monitoreo instrumental durante 150 días en temporada de invierno.

Los resultados evidenciaron una reducción significativa de las pérdidas térmicas y una mejora sustancial en la estabilidad higrotérmica interior de la vivienda intervenida. El sistema combinado de panel multicapa y techo aislado alcanzó valores de transmitancia térmica de 1,09 W/m²·K para muros y 1,02 W/m²·K para cubiertas, inferiores a los límites máximos establecidos por la normativa peruana para zonas mesoandinas. Asimismo, el monitoreo experimental registró incrementos de hasta 9 °C en la temperatura interior respecto a viviendas sin intervención, además de una disminución considerable de la amplitud térmica nocturna. El análisis psicrométrico mostró que aproximadamente el 70 % de las horas monitoreadas se ubicaron dentro de la zona de confort térmico, validando la eficiencia del sistema constructivo propuesto bajo condiciones climáticas extremas.

La evolución del proyecto permitió avanzar desde una fase inicial de validación experimental de los materiales aislantes, especialmente la última capa del panel que es de madera tornillo tratada térmicamente, hacia una etapa de escalabilidad y transferencia tecnológica. Esta propuesta tecnológica cuenta con patente nacional N° 002726-2024/DIN-INDECOPI y un proceso de solicitud de patente internacional en Chile; además de haber adjudicado un presupuesto de PROINNOVATE para realizar el estudio de mercado, análisis de aceptación social y formulación de un modelo de negocio orientado a la implementación de la tecnología en poblaciones rurales de Arequipa,

Moquegua y Puno. Paralelamente, se viene trabajando en la maquetización y estandarización modular del ensamblaje constructivo, optimizando criterios de manufactura, replicabilidad e instalación.

Los hallazgos de esta investigación demuestran que la integración de sistemas constructivos pasivos, materiales sostenibles y estrategias de aprovechamiento solar constituye una solución tecnológica viable, eficiente y escalable para reducir la pobreza energética y mejorar las condiciones de habitabilidad en regiones de clima frío extremo. Asimismo, el estudio aporta evidencia científica y tecnológica relevante para el desarrollo de políticas públicas vinculadas a eficiencia energética, sostenibilidad territorial y resiliencia climática, consolidando un modelo de innovación aplicada con alto potencial de transferencia hacia el sector construcción, vivienda social y tecnologías ambientales en el contexto andino latinoamericano.

Investigadores de la San Pablo obtienen patente de Indecopi por panel multicapas que aumenta la temperatura en viviendas

28 de marzo, 2025

Noticias San Pablo Investigación



Investigadores del grupo Policom de la San Pablo: Verónica Pilco Mamani, Kenneth Ayala Castro (a la izquierda) y Raúl Arancibia (en el medio) mostrando el prototipo del panel multicapas, el cual ha sido patentado ante Indecopi.

<https://youtu.be/2YbCrTTIMyE?si=ZpX8kuOuT7AT8ljv>

Verónica Pilco M.

Master's degree in Environmental Engineering and Technology from the Universidad Internacional Iberoamericana, Mexico, and a Master's degree in Renewable Energy and Energy Projects from the University of Alcalá, Spain. Physicist and specialist in Solar Energy from the National University of Engineering (UNI), Peru. Research Professor at Universidad Católica San Pablo, Peru. Her research focuses on thermal comfort in housing, energy efficiency through clean technologies, renewable energy systems, circular economy, sustainable construction materials, and environmental sustainability. Principal Investigator of nationally and internationally funded research projects supported by PROCIENCIA, PROINNOVATE, the U.S. Embassy, and Universidad Católica San Pablo. Her work is primarily oriented toward bioclimatic housing, thermal insulation systems, sustainable materials, and energy-efficient solutions for rural and high-Andean environments. She is the author of scientific publications and technological innovation initiatives in the fields of sustainable construction and applied energy efficiency. ORCID: 0000-0002-7959-2357.

REFERENCIAS

- [1] Agurto, L., Allacker, K., Fissore, A., Agurto, C., & De Troyer, F. (2020). Design and experimental study of a low-cost prefab Trombe wall to improve indoor temperatures in social housing in the Biobío region in Chile. *Solar Energy*, 198, 704–721. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.003>
- [2] Aza-Medina, L. C., Palumbo, M., Lacasta, A. M., & González-Lezcano, R. A. (2023). Characterization of the thermal behavior, mechanical resistance, and reaction to fire of totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Sojak) panels and their potential use as a sustainable construction material. *Journal of Building Engineering*, 69, 105984. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.105984>
- [3] Chen, F., & Yin, H. (2016). Fabrication and laboratory-based performance testing of a building-integrated photovoltaic-thermal roofing panel. *Applied Energy*, 177, 271–284. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.112>
- [4] Facelli Sanchez, P., & Mercado Hanccho, L. (2024). Trombe walls with porous medium insertion and their influence on thermal comfort in flats in Cusco, Peru. *Energy and Built Environment*, 5(2), 194–210. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2022.09.003>
- [5] Gálvez, M. A., Gil, T., Barraza, R., & Kapstein, P. (2022). Analysis of the influence of the position of the reflective layer on the thermal performance of a multi-layer lightweight wall panel. *Journal of Building Engineering*, 48, 103849. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103849>
- [6] Juanicó, L. E. (2020). Thermal insulation of roofs by using multiple air gaps separated by insulating layers of low infrared emissivity. *Construction and Building Materials*, 230, 116931. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116931>
- [7] Mejia-Solis, E., Arias, J., & Palm, B. (2023). Simple solutions for improving thermal comfort in huts in the highlands of Peru. *Heliyon*, 9(10), e19709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19709>
- [8] Molina, J. R., Lefebvre, G., & Gómez, M. M. (2023). Study of the thermal comfort and the energy required to achieve it for housing modules in the environment of a high Andean rural area in Peru. *Energy and Buildings*, 281, 112757. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112757>
- [9] Qu, Y., Zhou, D., Xue, F., & Cui, L. (2021). Multi-factor analysis on thermal comfort and energy saving potential for PCM-integrated buildings in summer. *Energy and Buildings*, 241, 110966. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110966>
- [10] Reddy, K., Mudgal, V., & Mallick, T. (2017). Thermal Performance Analysis of Multi-Phase Change Material Layer-Integrated Building Roofs for Energy Efficiency in Built-Environment. *Energies*, 10(9), 1367. <https://doi.org/10.3390/en10091367>
- [11] Torres, V. M., & Tacza, J. R. (2025). Bio Thermal Panels Applied to the Comfort of Rural Homes in the District of Sincos in 2024. *E3S Web of Conferences*, 620, 03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202562003002>
- [12] Yin, H. M., Yang, D. J., Kelly, G., & Garant, J. (2013). Design and performance of a novel building integrated PV/thermal system for energy efficiency of buildings. *Solar Energy*, 87, 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.10.022>
- [13] Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 11-23.
- [14] Granados, H. (2006). Eficiencia energética. Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo. Madrid: Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España

PALABRAS CLAVES	Confort térmico	Eficiencia energética	Panel multicapa	Aislamiento térmico
------------------------	-----------------	-----------------------	-----------------	---------------------