



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**



**INCIDENCIA DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN EL CONFORT  
TÉRMICO PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE UN  
SISTEMA DE CALEFACCIÓN PASIVA EN VIVIENDA URBANA  
DE CLIMA FRÍO-SECO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**KEYSI ZENaida HUANCA CHOQUEHUANCA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**ARQUITECTO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



# KEYSI ZENAIDA HUANCA CHOQUEHUANCA

## INCIDENCIA DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN EL CONFORT TÉRMICO PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE UN SISTE...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:414605459

Fecha de entrega

10 dic 2024, 9:07 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

10 dic 2024, 9:10 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

KEYSI ZENAIDA HUANCA CHOQUEHUANCA - PILAR.pdf

Tamaño de archivo

4,4 MB

72 Páginas

8,076 Palabras

44,693 Caracteres





## 6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alerta de integridad para revisión

- Texto oculto**  
1 caracteres sospechosos en N.º de página  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Mg. Arq. José A. Llanos Condori  
COORDINADOR DE SUB DIRECCION DE INVESTIGACION



Cristian Marmora  
E. ARQUITECTURA Y URBANISMO  
CAP. 14835





## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a Dios por concederme la vida y la fortaleza para culminar esta etapa de mi formación. Con inmenso cariño a mis padres Elisban Huanca y Belia Choquehuanca quienes con su dedicación, enseñanzas y apoyo incondicional han sido un pilar fundamental en mi desarrollo personal y académico. Con aprecio fraternal a mis hermanos Katia, Lenard, Yhoselin, Eduardo y sobrina Kahely por su constante respaldo y estímulo. A mis abuelos Damaso, Prudencia, Mariano y Francisca quienes desde la diestra del señor me cuidan y guían mi camino. Con sincera amistad expreso también mi gratitud a todas las personas que, con sus palabras de aliento, sus consejos y su experiencia en el área, contribuyeron al logro de este objetivo académico y a quienes difunden su compromiso con la sostenibilidad y el urbanismo responsable, inspirando” La creación de ciudades más justas y resilientes para las futuras generaciones”.*

**Keysi Zenaida Huanca Choquehuanca**



## AGRADECIMIENTO

*A Dios, por brindarme fortaleza espiritual en momentos difíciles y guiarme hacia personas que fueron fundamentales en este camino.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano por el valioso apoyo brindado a través del concurso “Mi Tesis en un Poster”, a quienes participaron directamente en la ejecución del proyecto de investigación y permitieron la materialización del mismo.*

*A mis padres y hermanos por su colaboración, amor y apoyo incondicional a lo largo de este proceso.*

*A mis amistades cercanas, a quien con su apoyo y energía me acompañó a lo largo de este proceso y a las personas que conocí en el ámbito académico y laboral, quienes fueron fuente constante de inspiración y motivación.*

*A mi asesor; expreso mi más sincera gratitud al D.Sc. Arq. Grover Marín Mamani, por la cátedra impartida en la etapa universitaria, la asesoría desde la concepción hasta la consolidación del presente proyecto de investigación, así como su motivación, paciencia, dedicación y el vasto conocimiento en la presente línea de investigación, fueron fundamentales en mi desarrollo académico. Guardaré con aprecio y respeto sus enseñanzas.*

*A los miembros del Jurado, por el tiempo dedicado a la revisión del presente proyecto. Sus observaciones y recomendaciones enriquecieron significativamente el desarrollo de este proyecto de investigación.*

**Keysi Zenaida Huanca Choquehuanca**



# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTO</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>INDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>CARTA DE ACEPTACIÓN DE PUBLICACIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>ARTÍCULO ADMITIDO .....</b>	<b>17</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>36</b>

**AREA:** Diseño Arquitectónico

**TEMA:** Infraestructura residencial

**LINEA DE INVESTIGACION:** Arquitectura, confort ambiental y eficiencia energética.

**FECHA DE SUSTENTACION:** 20 de diciembre, 2024.



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figure 1 1:5 scale models, (a) passive heating system based on Agrofilm (APHS), passive heating system constructed with recycled PET (PPHS). ....	20
Figure 2 Experimental prototypes 1:5 scale, in (a) APHS with thermal storage and differentiated airlocks, (b) PPHS with thermal storage and airlocks. ....	24
Figure 3 Thermal operation diagram of the APHS (a, c) and PPHS (b, d) and thermal behavior in the Morning (a, b) and Afternoon (c, d). ....	28



## INDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO 1: PRESENTATION AND CERTIFICATE OF ACHIEVEMENT BTSym'24.....	36
ANEXO 2: LICENCIAS “SPRINGER NATURE” .....	37
ANEXO 3: TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL.....	42
ANEXO 3: PANEL GRAFICO DESCRIPTIVO – PROTOTIPOS.....	57
ANEXO 4: ARTICULO PRESENTADO .....	61





## ACRÓNIMOS

BTSym'24	:	Simposio Brasileño de Tecnología 2024.
APHS	:	Passive Heating System based on Agrofilm
PET	:	Polyethylene Terephthalate
PHSP	:	Passive Heating System with recycled PET
CG	:	Control Group
PPHS	:	Passive PET Heating System
APHS	:	Agrofilm Passive Heating System
SMC	:	Standard Measuring Conditions
SCPA	:	Sistema de Calefacción Pasiva Agrofilm
SCPP	:	Sistema de Calefacción Pasiva PET
GC	:	Grupo Control
ATC	:	Almacenador Térmico por Capas
CEM	:	Condiciones Estándares de Medida



## CARTA DE ACEPTACIÓN DE PUBLICACIÓN

La Resolución Rectoral N°0671-2020-R-UNA, aprueba el reglamento de titulación alternativa estableciendo pautas y términos correspondientes para ser aplicado en las distintas escuelas profesionales. En ese sentido, el presente proyecto de investigación se realiza bajo la modalidad de Artículo Científico y fue redactado acorde a los criterios establecidos para la evaluación por la revista BTSym'24 - Simposio Brasileño de Tecnología, cuyos registros son publicados por la editorial Springer Nature mediante el Libro "Proceedings of the 10th Brazilian Technology Symposium - Emerging Trends and Challenges in Technology", en la serie "Smart Innovation, Systems and Technologies", indexado en ISI Proceedings, EI-Compindex, SCOPUS, Google Scholar y Springerlink.

En el 2024 la revista admitió 70 proyectos de investigación, 50 artículos admitidos en la Opción A (Publicación por Springer Nature) y 20 proyectos por la Opción B (Publicados por LCV-Laboratory of Visual Communication). Entre ellos, 20 proyectos, incluido en artículo en detalle, fueron invitados a realizar una presentación oral en el evento denominado BTSym'24 - Satellite Event Perú - 10th Brazilian Technology Symposium (Anexo 1). La presente investigación fue presentada y admitida luego de cumplir criterios y parámetros establecidos, además de respetar las condiciones de Ética, derechos de autor y Políticas de Plagio establecidas. Finalmente, se firma el acuerdo mutuo y las licencias de Publicación con la editorial "Springer Nature" detalladas en el Anexo 2.

En relación al idioma, es importante señalar que la presentación del presente artículo fue realizada en inglés, debido a que la revista solo acepta artículos en el idioma correspondiente, sin embargo, se adjunta la traducción correspondiente para fines pertinentes (Anexo 3). A continuación, se presenta la carta de aceptación emitida por parte la Revista BTSym'24 al artículo científico con código ID.023.



## BTSym'24 Satellite Event - Acceptance Letter ID 023



BTSym'24 Satellite Event PERÚ  
Virtual Event  
10th Brazilian Technology Symposium  
"Smart Innovation, System and Technologies"



Campinas/SP, Brazil, October 06, 2024

**BTSym'24 – Satellite Event Perú - Virtual Event - Ref.: Paper (ID 023 – “INCIDENCE OF SOLAR IRRADIATION ON THERMAL COMFORT FOR THE ARCHITECTURAL DESIGN OF A PASSIVE HEATING SYSTEM IN URBAN HOUSING IN A COLD-DRY CLIMATE”)**

Dear(s) : Keysi Zenaida Huanca Choquehuanca, and Grover Marín Mamani

We are pleased to inform you that your submitted paper has been accepted to be presented at our upcoming conference. We have admired your research dedication and we believe that your contribution will certainly enrich the discussions and knowledge of all the participants.

On behalf of Prof. Dr. Yuzo Iano, I am pleased and honored to invite you as *Speaker* of the Brazilian Technology Symposium (BTSym-2024) panel discussions.

We look forward to your presentation and your valuable contribution to our event. Thank you for your commitment to advancing knowledge and fostering collaboration within our industry. Thank you for your consideration. We are very happy and grateful for your participation and the presentation of your research at BTSym'24.

Yours faithfully,

**Organizing and Executive Committee - BTSym'24**  
Gabriel Gomes Oliveira - Institutional Relationship Chair  
LCV/DECOM/FEEC/UNICAMP



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda la problemática relacionada al cambio climático el cual genera alteraciones significativas en la temperatura, afectando el rendimiento de los edificios a largo plazo y el confort interior de los usuarios, impactando directamente en su productividad, bienestar y salud. El confort en un espacio esta ínfimamente determinado por factores ambientales, características arquitectónicas y necesidades individuales, Al mismo tiempo, la irradiancia solar, el albedo, la carencia de protección solar y la falta de aislamiento térmico influyen en la calidad ambiental. Actualmente, el uso de energías renovables es poco frecuente debido a la considerable densidad urbana, la cual limita el espacio para instalaciones solares o eólicas significativas, considerando que las tendencias actuales adaptan la infraestructura urbana a fuentes de energías convencionales dificultando su integración e implementación masiva. Sin embargo, su aplicación y aprovechamiento óptimo de estas energías en las ciudades, es esencial para reducir la huella de carbono, registrar avances relevantes en este campo, y contribuir con estrategias que mejoren el confort térmico, optimicen el uso de energías renovables y nos permitan avanzar hacia la sostenibilidad urbana.

El presente estudio se estructuro en base a tres objetivos fundamentales: Medir la Irradiancia solar, verificar el confort térmico y finalmente relacionar la Irradiancia solar con el confort térmico; cada uno de estos objetivos apporto a un entendimiento más detallado para evaluar el impacto de la irradiancia solar en el confort térmico para el diseño arquitectónico de sistemas de calefacción pasiva en viviendas urbanas de clima frio-seco. En ese sentido, durante el año 2023, se realiza el diseño y replica de tres prototipos arquitectónicos de vivienda urbana en la ciudad de Juliaca ubicada a 3820



m.s.n.m. destacada por la notable influencia comercial que genera en el Sur del Perú. La construcción de los prototipos se realiza en la intemperie a Escala 1:5, empleando materiales convencionales del medio como ladrillo con mortero, cubierta sólida, acceso y abertura correspondiente, manteniendo una geometría simétrica con un volumen de 4m<sup>3</sup> cada uno. Respecto a las intervenciones experimentales, el primer prototipo fue denominado Grupo control (GC), el cual no recibió alguna modificación. El segundo prototipo fue denominado SCPA (Sistema de Calefacción Pasiva de Agrofilm) debido a que se le incluye dos esclusas de aire las cuales conectan al Prototipo con el sistema de calefacción pasiva incorporado, el cual presenta un colector solar con geometría prismática de base rectangular truncada, elaborada con madera de pino, tornillos galvanizados, cubierta exterior de Polietileno Agrícola de 2mm, conocido comercialmente como Agrofilm o Plastico amarillo. El tercer prototipo, también fue modificado, presenta dos esclusas de aire las cuales relacionan al prototipo con su Sistema de calefacción Pasiva, cuyo colector solar es similar al anterior, sin embargo la cubierta exterior está elaborada con Polietileno Tereftalato o PET de Tipo I, es decir botellas de plástico cortadas y configuradas en forma de tejas, destacando su disponibilidad como material reciclable y su alta transmitancia térmica. Ambos sistemas de calefacción pasiva presentan un almacenar térmico elaborado con Yeso, Residuos de madera (Aserrin) y Totorá (*Schoenoplectus californicus*). Las esclusas integradas mejoran considerablemente el flujo de aire y la eficiencia de los sistemas, optimizando y manteniendo las condiciones térmicas estables.

La recopilación de datos fue realizada por un periodo de 120 días, entre las 8:00 y 22:00 horas. El radiómetro fue ubicado a una altura de 1.20m y a una distancia máxima de 3m del centro de los prototipos obteniendo así los datos correspondientes a la



irradiancia solar. De forma paralela se obtuvieron los datos de temperatura y humedad con una Estación meteorológica y termohigrómetros digitales. Los datos obtenidos fueron organizados en hojas de cálculo y procesados con IBM SPSS Statics, versión 26.0, realizando la verificación de la normalidad de los resultados y empleando 20 °C y 40% como valores de referencia establecidos en la Norma A110. del Reglamento Nacional de Edificaciones para realizar el análisis T de student para una única muestra. Finalmente, el Análisis de Varianza (ANOVA) se desarrollo para evaluar las diferencias entre los prototipos en términos de temperatura y humedad.

El proceso constructivo y producto obtenido refleja la empleabilidad, viabilidad técnica y económica de los prototipos puesto que: El SCPA requirió un tiempo estimado de 2 horas para su construcción con un costo de \$29.33, mientras que SCPP fue construido en 6 a 7 horas con un costo de \$37.33, en ambos casos el almacenador térmico de Yeso, aserrín y Totora se elaboro en 3 horas aproximadamente con un costo de \$5.66 cada por componente. Además, los resultados obtenidos del procesamiento de datos reflejan la capacidad de captación de energía solar, rendimiento y eficiencia térmica demostrando que, aunque el SCPA presenta un costo más reducción y construcción factible, el SCPP ofrece ventajas significativas relacionadas a la durabilidad y mantenimiento.

Con respecto a la evaluación térmica desarrollada, la radiación solar promedio en la zona fue de 502.9 W/m<sup>2</sup>, muy inferior con respecto a lo establecido por las Condiciones Estándares de Medida (CEM) destacando el incremento de esta medida hasta 811.0 W/m<sup>2</sup> durante la tarde. Sin embargo, el SCPA, destaca por captar entre el 85% y 90% de la radiación solar como se observa en la Figura 2, evidenciando una eficiencia térmica significativa durante el día. Además, los datos meteorológicos obtenidos proyectan una mejor estabilidad térmica interior frente a las condiciones térmicas externas.



En relación a los prototipos, durante el día y la tarde el SCPA y SCPP alcanzan temperaturas promedios superiores y cercanas al Estándar de 20°C establecido por la norma A.110, indicando entornos neutros y óptimos térmicamente. Sin embargo, en la mañana y en la noche los prototipos junto al grupo control revelan una baja retención térmica. Los resultados obtenidos en el periodo mañana fueron estadísticamente significativos ( $p > 0.001$ ) indicando mejoras favorables a nivel térmico en comparación con el grupo control. Durante el periodo día, la temperatura del SCPA Y SCPP se optimizan y mejoran el confort térmico alcanzando temperaturas de 23.96°C y 19.64°C respectivamente, durante la tarde no existe diferencia significativa debido al incremento de irradiancia solar y estabilización de los materiales, finalmente por la noche se evidencia que SCPA pierde calor con celeridad mientras que el SCPP indica una mejor retención del calor, con respecto a la humedad en la mañana el SCPP denota una mayor humedad alcanzando 32.04%, durante el día, tarde y noche el SCPA mantiene un ambiente más seco con indicadores de 20.86%, 19.93% y 25.58% respectivamente, en ese sentido no se evidencian diferencias estadísticamente significativas.

En conclusión, el análisis realizado al SCPA Y SCPP evidencian diferencias primordiales en eficiencia y aplicabilidad. El SCPA capta mayor energía solar disponible, sin embargo, su eficiencia reduce en condiciones de nubosidad, a diferencia del SCPP, que presenta una menor captación de irradiación solar, destaca por su retención de calor y durabilidad. En términos económicos, el SCPA se ajusta y es viable para proyectos con presupuesto limitado además de su implementación eficiente. Por su parte, el SCPP a pesar de la inversión inicial significativa y mayor dificultad de implementación, destaca por su durabilidad y bajo mantenimiento además de contribuir como una aplicación sostenible a largo plazo.



El presente estudio fue presentado a la convocatoria desarrollada para el Simposio Brasileño de Tecnología (BTSym) 2024, encuentro académico que congrega a diferentes investigadores, estudiantes, académicos y profesionales de diversas áreas interesados en contribuir con proyectos significativos. La edición 2024, se enfocó en "Innovación Inteligente, Sistemas y Tecnologías aperturando 07 paneles de discusión, entre ellos el Panel 03 fue denominado "Tecnología aplicada a la edificación", el cual concentra temas como: Confort ambiental, Eficiencia energética en edificios, Construcciones, Edificios sostenibles y Edificios inteligentes entre otros, los cuales son temas similares a la línea de investigación del presente proyecto. En ese sentido, es pertinente señalar que las actas generadas en el Simposio Brasileño de Tecnología 2024 (BTSym) serán publicadas por la editorial Springer Nature, la cual es reconocida por publicaciones de revistas científicas con impacto relevante en el área. Además, es necesario cumplir de forma idónea el proceso de revisión por pares, selección y evaluación realizada por expertos en el área previa publicación, efectivizando la calidad y autenticidad científica de los contenidos. La admisión del artículo para su presentación y publicación en el BTSym 2024.

En definitiva, el enfoque holístico denotado pretende innovar e implementar estrategias con el fin de mejorar el confort ambiental en las viviendas urbanas mediante productos reciclados como las botellas PET, residuos de materia prima como el aserrín, productos naturales como la totora e integrarlos a materiales convencionales como el Yeso, la madera, las grapas de acero entre otros, para elaborar sistemas de calefacción pasiva efectivos, viables, económicos y fundamentalmente sostenibles, reduciendo la huella de carbono, optimizando el confort ambiental y la calidad de vida del usuario, creando soluciones constructivas que transforman los desafíos ambientales en oportunidades sostenibles.





## CAPÍTULO II

### ARTÍCULO ADMITIDO

#### INCIDENCE OF SOLAR IRRADIATION ON THERMAL COMFORT FOR THE ARCHITECTURAL DESIGN OF A PASSIVE HEATING SYSTEM IN URBAN HOUSING IN A COLD-DRY CLIMATE

Keysi Zenaida Huanca Choquehuanca<sup>1</sup>[0009-0009-4536-6560], Grover Marín Mamani<sup>1</sup>[0000-0003-4222-6297]

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.  
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura

#### ABSTRACT

Climate change impacts the thermal performance of buildings, accentuating the need for adaptive architectural systems. This study optimizes thermal comfort in dwellings in cold-dry climates through passive heating that takes advantage of solar irradiation. Two 1:5 scale prototypes were built in Juliaca, Peru: one with Agrofilm (APHS) and one with recycled PET (PPHS), plus a control group (CG). During the four winter months, the APHS, at \$21.33, achieved daytime temperatures of 26.6°C, higher than the CG (20.4°C), making it viable for communities with limited resources. The PPHS, at \$37.33, maintained nighttime temperatures of 14.99°C, excelling in heat retention. Both systems faced challenges in moisture management, affecting thermal inertia and pointing to the need for improved PET shingles on the PPHS to reduce thermal bridging. Although APHS is more economical and efficient during the day, PPHS offers durability and lower maintenance, making it suitable for long-term sustainable applications. This study suggests optimizing materials for high cloud cover environments and further researching passive heating systems for similar climates, contributing to sustainability in high Andean areas.



**Keywords:** Bioclimatic design, solar energy, recycled materials, passive technologies, thermal performance evaluation.

## INTRODUCTION

The lack of indoor comfort generates dissatisfaction, decreases the productivity and well-being of occupants, and can affect their physical and mental health, with comfort being dependent on environmental conditions, constructive characteristics, and individual needs (Ganesh et al., 2021), together, they are closely linked to climate change seen as a global challenge that significantly alters temperatures, affecting the performance of buildings and their repercussions over time (Rodríguez et al., 2024). A significant environmental factor is reflected in solar irradiance, its increase is influenced by the environment, the season of the year, and the position of the sun, while the increase in albedo notably affects exposed surfaces (Heim & Knera, 2021). Although there have been advances in this field, it is necessary to deepen the understanding of the perception of comfort in different spaces (Baquero, 2021). The study of solar irradiance, defined as the intensity of sunlight reaching the earth's surface (Cañibano & Confalone, 2020), is key to developing strategies to improve thermal comfort and reduce dependence on conventional energy sources (Parreño et. al, 2020). Passive heating systems, which take advantage of solar energy, the building envelope, and building materials, optimize comfort without relying on mechanical systems (Toroxel & Silva, 2024). Passive building design, using passive or active heating, transforms the approach to heating needs (Lamrani et al., 2023). Projects such as “Sun-lighthouse Velux” (Austria), “Vivienda 3C2C” (Chile), and “Mi Abrigo o Muro Trombe” (Peru) demonstrate the potential of advanced technologies and sustainable materials to improve thermal comfort and reduce the carbon footprint (Molina et al., 2023). In cities with cold-dry climates, such as Puno in Peru, low humidity intensifies cold sensations, reaching temperatures as low as  $-4^{\circ}\text{C}$  during frosty periods



(Dursun & Yavaş, 2024; SENAHMI, 2022). One of these cities is Juliaca, located on the Collao plateau at 3826 m.a.s.l., which acts as a crucial economic center for the south of the region and the country (Quiñonez et. al, 2019). Despite its importance, Juliaca presents limited and unplanned infrastructure development, with housing ranging from rural and traditional typologies to multifamily structures, predominantly brick masonry, and conventional finishes (Aucapuri et. al, 2018). Although the use of renewable energy is not common, the use of evacuated tube solar collectors has increased, positively impacting housing by improving thermal comfort and reducing dependence on fossil fuels and greenhouse gas emissions (Aquino, 2018; Omeiza et al., 2023). This study evaluates the impact of solar irradiance on the thermal comfort of dwellings in Juliaca, Peru, and develops strategies to optimize passive heating systems.

## **MATERIALS AND METHODS**

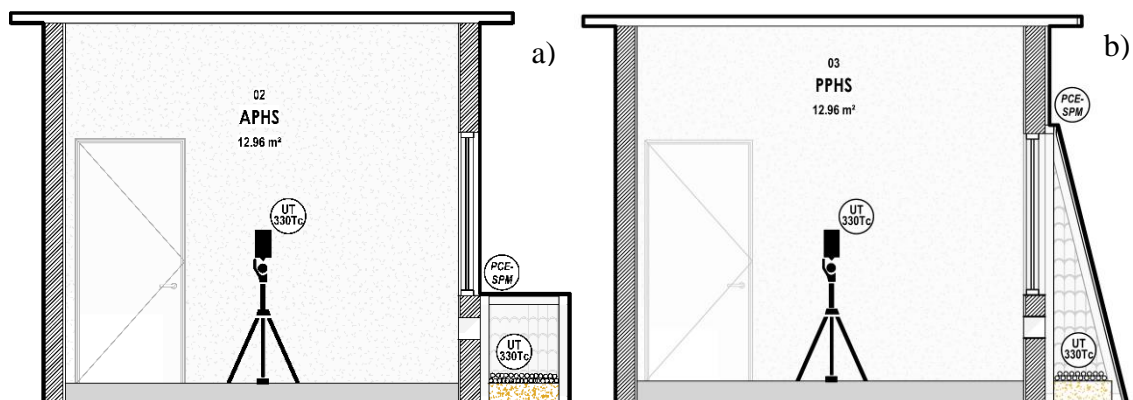
### **2.1. Passive Heating System Design.**

This study adopted a quantitative explanatory approach, based on a cross-sectional measurement, to analyze the relationship between solar irradiance and thermal comfort (Galarza, 2020). The research was conducted in the Santiago urbanization, in Juliaca, at 3820 meters above sea level (UTM WGS84, zone 19, 379734.00 m E, 8287067.00 m S). In this high Andean region, solar irradiance and ambient temperature were systematically measured inside 14 urban single-family houses, selected a priori according to their location in the center, semi-center, and urban periphery, and considering the predominant materials, brick, and concrete, as well as their accessibility to solar energy, according to their orientation and layout. Preliminary results indicated that low average temperatures represent a significant thermal challenge for housing comfort.

To address this situation, three architectural prototypes were designed and replicated at a scale of 1:5, using traditional construction techniques with brick and mortar, as well as solid roofs. The prototypes maintained a symmetrical geometry, with an interior volume of 4.00 m<sup>3</sup> and scaled dimensions, including a 2.00 x 1.50 m window facing north and a 2.10 x 0.90 m door facing east. The design sought to reproduce thermal conditions equivalent to those of a full-scale architectural space, by previous studies (Martínez García et al., 2023). The prototypes were built outdoors in an uncontrolled climatic environment to ensure the external validity and applicability of the data obtained in situ. As for the experimental treatments, the prototype, the control group (CG), did not receive any intervention. However, it was selected with an intermediate location between prototypes, optimizing its orientation to capture solar irradiation under normal conditions. The second prototype incorporated a passive heating system with Agrofilm (APHS), as shown in Fig. 1a, while the third used a passive heating system with recycled PET (PPHS), as illustrated in Fig. 1b. In these models, solar irradiance, temperature, and relative humidity were rigorously measured simultaneously to evaluate their thermal performance and viability in cold-dry climates.

### Figure 1

1:5 scale models, (a) passive heating system based on Agrofilm (APHS), passive heating system constructed with recycled PET (PPHS).



Evaluate thermal comfort in the APHS and PPHS prototypes, two main objectives were established. The first was the construction of three 1:5 scale modules, using materials representative of the study area. These modules incorporated the APHS and PPHS systems, designed with a focus on cost reduction, prioritizing materials that would optimize the cost-quality ratio and guarantee heat generation from renewable sources (Mamani et al., 2023). The second objective was to compare the temperatures and humidities recorded in the modules with a control group (CG). This approach not only made it possible to evaluate the efficiency of the systems in a controlled environment, but also to identify improvements to optimize thermal comfort in future architectural applications.

### **2.1.1 Construction of APHS and PCHS Modules.**

In the development of Agrofilm's Passive Heating System (APHS), shown in Fig. 2a, a solar collector with a prismatic geometry with a trapezoidal base was used, designed to maximize solar radiation during the hours of highest irradiance. With a volume of 0.02 m<sup>3</sup>, the collector effectively balances solar collection and heat dissipation, ensuring high thermal efficiency. The structure was manufactured with treated radiata pine wood, selected for its resistance to humidity and durability in adverse conditions. For the outer shell, a 2 mm thick yellow Agrofilm agricultural polyethylene was used, thermoformed to ensure a precise fit and minimize heat loss by convection. The construction process consisted of assembling the wood sections with galvanized screws of an adequate thickness for the structure, ensuring corrosion resistance and structural durability. Finally, the roof was fastened with stainless steel staples, highlighting its durable fastening and weather resistance. The Passive Heating System with PET (PPHS), shown in Fig. 2b, uses



a wooden structure similar to the APHS, but with a different cover. The collector, with a volume of  $0.03 \text{ m}^3$ , uses recycled type I PET bottles, cut longitudinally and arranged in the form of shingles to enlarge the solar collection surface and improve radiation dispersion, thus achieving more uniform heating. PET bottles were selected for their high thermal transmittance, resistance to UV degradation, and availability as a recyclable material. In the construction process, the PET tiles were attached to the wooden structure with stainless steel staples, ensuring a leak-free joint, which increases the durability and efficiency of the system.

The APHS and PPHS systems integrate layered thermal storage (LTS) using materials such as sawdust, gypsum, and cattail. Sawdust, with its cellular structure, effectively retains heat and improves thermal conductivity (Mwango & Kambole, 2019). When mixed with gypsum mortar, it increases thermal insulation in interior applications and enhances structural stability, ensuring uniform performance. Cattail (*Schoenoplectus californicus*), a natural fiber endemic to southern Peru is notable for its interconnected cell structure, which provides excellent thermal insulation with low embodied energy (Jiménez-Dianderas et al., 2024). It is economical, accessible, and due to its low environmental impact, it is viable for passive heating projects in regions with limited resources. Both systems were north-facing to maximize solar gain in midlatitudes and optimize thermal efficiency. The APHS was installed under the model window, covering  $0.49 \text{ m}^2$ , while the PPHS covered  $0.87 \text{ m}^2$ . Both systems were anchored to the partition wall with galvanized screws, selected for their corrosion resistance and ability to withstand dynamic loads, ensuring structural stability. The connection between the solar collector and the interior was made by means of airlocks, which are essential for controlled exchange and optimal heat transfer. These airlocks, of  $0.005 \text{ m}^2$  in area, were



installed at 0.2 m and 0.3 m in height, allowing the airflow to be adjusted according to internal and external thermal variations, improving the efficiency of the system and maintaining stable thermal conditions.

### **2.1.2 Thermal Comparison of APHS and PPHS.**

Solar irradiance was measured during a 120-day winter period (May-August), taking advantage of the environmental stability of winter to consistently evaluate variations in irradiance. Measurements were taken between 8:00 am and 5:00 pm, at 30-minute intervals, using a PCE-SPM 1 solar irradiance meter, calibrated according to the manufacturer's specifications, with an accuracy of  $\pm 0.5\%$ . The meter was installed at a height of 1.20 m and at a maximum distance of 3.00 m from the center of the CG, APHS, and PPHS prototypes, thus ensuring the representativeness of the measurements. In parallel, ambient temperature and humidity were recorded using a Sainlogic weather station, equipped with Weather Under-ground and Weathercloud for real-time data transmission and storage. Both devices were periodically calibrated and maintained to ensure data accuracy and reliability. Temperature and internal humidity in the CG, APHS, and PPHS prototypes were measured during the same period, between 7:00 am and 11:00 pm, at 60-minute intervals, capturing diurnal and nocturnal variations. USB Unit UT330Tc Thermo hygrometers, strategically placed in the solar collectors and adjacent environments, were used to capture accurate data. The results were organized into spreadsheets, with five-column tables including the prototype, month, day, measurement period (Morning, Day, Afternoon, Evening, Night), and temperature and humidity values. Subsequently, the data was processed with IBM SPSS Statistics, version 26.0, verifying the normality of the results and performing a student's t analysis for a single sample, using 20 °C and 40% as reference values according to the regulations of the National Building



Regulations A110. Finally, an analysis of variance (ANOVA) was performed to determine the significance of the differences between the prototypes in terms of temperature and relative humidity.

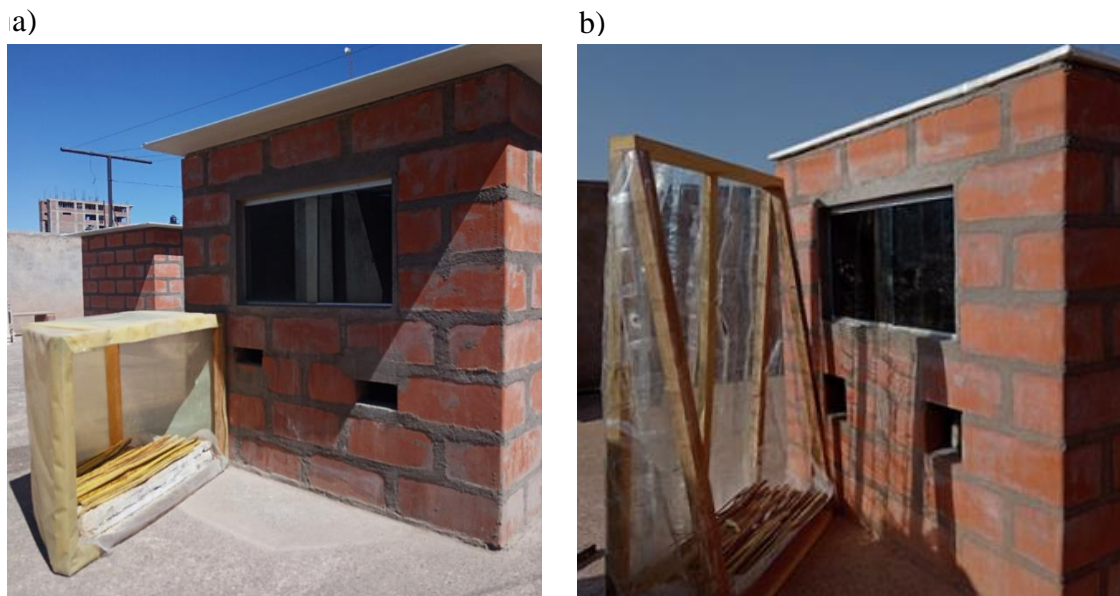
## RESULTS

### 3.1 Construction of APHS and PPHS Prototypes

The construction process of the solar collectors and the thermal store was carried out with different times and costs associated with each component, reflecting both the technical and economic feasibility of the systems.

#### Figure 2

Experimental prototypes 1:5 scale, in (a) APHS with thermal storage and differentiated airlocks, (b) PPHS with thermal storage and airlocks.



The construction of the Agrofilm Passive Heating System (APHS), illustrated in Fig. 2a, required approximately 2 hours to assemble the wood frame and place the Agrofilm, at \$2.67 per square meter. For an area of 2 m<sup>2</sup>, the cost of the Agrofilm was \$5.33, and the wood for the frame cost \$8.00. Labor, at a rate of \$8.00 per hour, added up





to \$16.00, resulting in a total cost of \$29.33 for the solar collector. On the other hand, the construction of the PET Passive Heating System (PPHS), as shown in Fig. 2b, was more labor intensive, requiring 6 to 7 hours due to the manual fabrication of the tile-like sheets. The PET bottles, costing \$0.03 per unit, totaled \$1.33, and the wood for the frame also cost \$8.00. Labor, due to the additional time, totaled \$28.00, resulting in a total cost of \$37.33 for the PET solar collector. The use of recycled materials such as PET bottles not only reduces costs but also contributes significantly to environmental sustainability.

The thermal store was constructed using a 2:5 sawdust and gypsum mixture, with an estimated construction time of 2 to 3 hours. Costs included \$1.33 for sawdust and \$2.33 for gypsum. In addition, cattail was used as an insulating material at \$2.00, resulting in a total cost of \$5.66 for the storeroom. The total estimated time for construction of all components was 11 to 12 hours, providing a realistic view of the resources required.

The APHS, with its cubic design, captures 85% to 90% of solar energy in cold and dry climates, optimizing performance on winter days. However, its efficiency decreases in high cloud cover or accumulated snow. The PPHS, although it captures 75% to 80% of irradiance due to the lower transmittance of recycled plastic, has an adjustable tilt that facilitates drainage and maintains stable performance. The thermal efficiency of the APHS is notable for its ability to concentrate heat in a well-insulated space, with low heat loss at night. In contrast, the PPHS, with its stronger material, retains heat better and releases it slowly during the night. The structure of the bottles creates air chambers that improve heat retention. APHS is more vulnerable to wear and tear from UV radiation and extreme cold, which may require more frequent replacements. PPHS is more durable, with greater resistance to UV degradation and physical impacts, and requires less maintenance, making it a reliable and sustainable option for long-term applications.



Although APHS is less expensive and easier to install, PPHS offers significant advantages in durability and maintenance, making it ideal for environments where sustainability and longevity are crucial.

### 3.2 Thermal Evaluation of APHS y PCHS

The average solar radiation in the region was  $502.9 \text{ W/m}^2$ , significantly lower than the  $1000 \text{ W/m}^2$  Standard Measuring Conditions (SMC) standard. This reflects local challenges in solar gain, affected by cloud cover and low winter temperatures. Mornings, with an average of  $200.4 \text{ W/m}^2$ , present the lowest radiation, influenced by fog or frost. In the afternoon, radiation increases to  $811.0 \text{ W/m}^2$ , approaching EMF levels, suggesting higher solar gain in this period. The meteorological data showed a mean outdoor temperature of  $13.02 \text{ }^\circ\text{C}$ , with a standard deviation of  $4.68 \text{ }^\circ\text{C}$ , showing moderate thermal variability. In contrast, the indoor temperature was higher and more stable, with a mean of  $19.27 \text{ }^\circ\text{C}$  and a deviation of  $2.28 \text{ }^\circ\text{C}$ , suggesting good insulation. Outdoor humidity averaged  $35.95\%$  with high variability (deviation of  $15.78\%$ ), while indoor humidity was more controlled, with a mean of  $27.45\%$  and deviation of  $2.39\%$ , reflecting indoor thermal stability versus outdoor conditions.

The temperature analysis in the evaluation of the efficiency of passive heating systems in cold-dry climates indicates that, during the day, the Agrofilm Passive Heating System (PACS) reached an average temperature of  $23.96^\circ\text{C}$ , exceeding the standard of  $20^\circ\text{C}$  of the A110 norm ( $p < 0.001$ ), demonstrating its efficiency in cold climates. The Recycled PET Passive Heating System (RCPS) recorded an average temperature of  $19.64^\circ\text{C}$ , close to the standard ( $p = 0.583$ ), suggesting a thermally neutral environment, suitable for balancing efficiency and cost. In the afternoon, both APHS and PPHS and the Control Group (GP) exceeded  $20^\circ\text{C}$ , with APHS reaching  $26.62^\circ\text{C}$  ( $p < 0.001$ ). However,

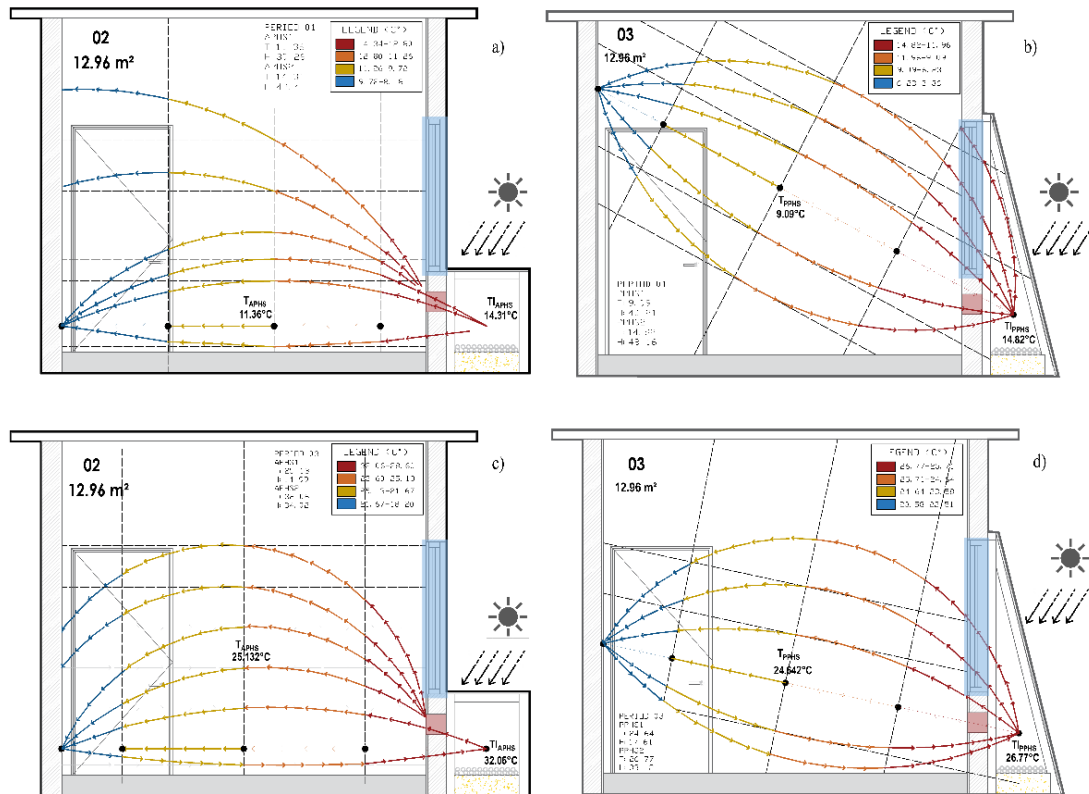


in the morning and evening, no module maintained temperatures above 20°C. Although APHS and PPHS showed better performance than GP, they all fell below the standard, evidencing the difficulty of maintaining heat without sufficient solar radiation. This underscores the thermal limitations of full-scale housing.

The performance of the APHS is shown in Fig. 3a morning, 3c afternoon, and the PPHS in Fig. 3b morning, 3d afternoon. Both systems were evaluated in terms of temperature and relative humidity. Whereas, the analysis of relative humidity, with a standard of 40%, showed that neither module reached adequate levels. The PPHS had lower humidity deficits (-7.96% in the morning and -13.56% in the evening,  $p < 0.001$ ), but was still insufficient, indicating the need to improve moisture retention. Although APHS complies with daytime and evening temperature regulations, both systems require improvements to maintain adequate performance in periods of lower solar radiation and humidity management to fully comply with A110.

**Figure 3**

Thermal operation diagram of the APHS (a, c) and PPHS (b, d) and thermal behavior in the Morning (a, b) and Afternoon (c, d).



### 3.2.1 Thermal Efficiency (Temperature - Humidity)

To determine their thermal efficiency, to temperature, in the morning, a significant difference was observed in the mean temperatures. The Control Group (CG) recorded a mean temperature of 9.77°C, while the Agrofilm Module (APHS) and PET Module (PPHS) reached 13.10°C and 12.25°C, respectively. These differences were statistically significant ( $p < 0.001$ ), suggesting that both modules provide a more thermally favorable environment than the CG, with the APHS achieving slightly higher temperatures. As the day progressed, the differences became more pronounced. The CG maintained 16.79°C, while the APHS reached 23.96°C and the PPHS 19.64°C, both significantly higher than the CG ( $p < 0.001$ ). These results underscore the effectiveness of APHS in maintaining



warmer temperatures during the day, improving thermal comfort. In the afternoon, mean temperatures were equalized, with CG recording 25.99°C, APHS 25.13°C, and PPHS 24.64°C, with no significant differences ( $p > 0.05$ ). This suggests that, as the day progresses, thermal differences attenuate due to the higher incidence of solar radiation and thermal stabilization of the materials. At night, CG maintained 15.40°C, while APHS recorded 13.58°C ( $p = 0.002$ ), indicating that APHS loses heat faster. In contrast, PPHS showed 14.99°C, with no significant difference compared to CG ( $p = 0.398$ ), suggesting better heat retention in PPHS.

Regarding relative humidity, in the morning, CG recorded 24.76%, APHS 27.75%, and PPHS 32.04%, the latter being significantly higher ( $p < 0.05$ ). During the day, APHS maintained a drier environment with 20.86%, compared to CG (26.90%) and PPHS (28.28%) ( $p < 0.001$ ). In the afternoon, APHS continued at 19.93%, compared to 24.78% for CG and 23.50% for PPHS ( $p < 0.001$ ), in the evening, differences in humidity levels stabilized and were not significant ( $p > 0.05$ ), with CG registering 25.82%, APHS 25.58%, and PPHS 26.44%.

### **3.2.2 Thermal Effectiveness (Comparative Analysis)**

The results of this study confirm the effectiveness of passive heating systems in cold and dry climates, as observed in the APHS and PPHS. The APHS, which captures 85% to 90% of solar radiation, maintains high thermal efficiency during the day, crucial for comfort in extreme conditions. This performance coincides with the findings of (Molina et al., 2023), who emphasize the need to adapt passive solar heating for high Andean areas. Also, Agurto et al. (2020), has shown that passive solar technologies, such as Trombe walls in Chile, reduce energy demand and improve comfort, aligning with the APHS efficiency observed here. However, APHS efficiency decreases under cloud cover



and snow accumulation, which limits its performance in variable climates, as also noted by Bensehla et al. (2021), who advocate increasing PV capacity in regions with high solar potential. PPHS, although less efficient in capturing solar radiation, showed better heat retention and durability, crucial for long-term applications, in line with that reported by Lu et al. (2023), who underlined the importance of thermal storage in improving energy efficiency. Economically, APHS is more viable for projects with limited budgets, ideal for rural communities or subsidized programs, as suggested by Chandel et al. (2024), in the western Himalayan region. PPHS, with higher durability and lower maintenance, is better for long-term sustainable applications, as discussed by Larrea-Sáez et al. (2024), in Chile, and Tungnung (2020) in India, who highlight the importance of passive design in optimizing indoor temperature. The effectiveness of these solutions can be further enhanced with flexible ventilation and optimized glazing (Wang et al., 2023).

## **CONCLUSION**

Analysis of two types of solar collectors designed for cold and dry climates reveals key differences in efficiency and applicability. The APHS captures 85-90% of the available solar energy, but its performance decreases in high cloud or snow conditions. In contrast, the PPHS, which captures 75%-80% of solar irradiance, excels in heat retention and durability thanks to the structure of the bottles and their adjustable tilt, optimizing collection according to latitude. Economically, APHS is viable for projects with limited budgets and quick implementation, ideal for rural communities or subsidy programs. Although the PPHS has a higher initial cost and is more complex to construct, it offers durability and lower maintenance, being more suitable for long-term applications in environments where sustainability is crucial. The study evidences the feasibility of innovative passive heating solutions as sustainable alternatives to improve thermal



comfort in dry cold climate urban dwellings, highlighting the role of passive systems in sustainable cities in the face of climate change. However, further research is recommended to optimize the materials of both collectors in environments with high cloud cover and solid precipitation.



## REFERENCES

- Agurto, L., Allacker, K., Fissore, A., Agurto, C., De Troyer, F.: 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 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.003>.
- Agurto, L., Allacker, K., Fissore, A., Agurto, C., De Troyer, F.: 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 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.003>.
- Aquino Larico, E. R., & SINACE S.A.C. *Proyectos en Energía Solar*. (2018). Determinación de la Energía Solar para el Diseño Bioclimático de Viviendas en la Ciudad de Juliaca Región Puno. *Revista de Investigaciones*, 7(1), 410–421. <https://doi.org/10.26788/riepg.2018.1.66>
- Aucapuri Figueroa, J., Caviedes Villa, Y., Chura Quispe, G. E., & Zanabria Acuña, A. (2018). Planeamiento estratégico del Distrito de Juliaca. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/11753>
- Baquero Larriva, M. T. (2021). Confort térmico y acústico para la tercera edad en espacios públicos de la ciudad consolidada del clima mediterráneo continental: caso de estudio barrio Arapiles, Madrid. *Arquitectura*. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.67079>.
- Bensehla, S., Lazri, Y., Brito, M.C.: Solar potential of urban forms of a cold semi-arid city in Algeria in the present and future climate. *Energy for Sustainable Development*. 62, 151–162 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.04.004>.
- Cañibano, A., & Confalone, A. (2020). Los conocimientos previos matemáticos en otras ciencias: caso de la irradiancia solar en agrometeorología. *Revista Épsilon*, 105, 59–65. <http://funes.uniandes.edu.co/23924/>
- Chandel, R., Chandel, S.S., Prasad, D., Dwivedi, R.P.: Sustainable passive solar and photovoltaic integrated technology interventions for climate responsive net zero





- energy buildings in western Himalayan mountainous terrain of India. *Next Sustainability*, 3, 100039 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2024.100039>.
- Dursun, D., & Yavaş, M. (2024). Chasing comfort in the chill: Simulating the impact of opened streamlines on microclimatic conditions, thermal comfort and building facades in cold climate cities. *Sustainability*, 16(5), 2138. <https://doi.org/10.3390/su16052138>
- Galarza, C. A. R. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 9(3), 1–6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746475>
- Ganesh, G. A., Sinha, S. L., Verma, T. N., & Dewangan, S. K. (2021). Investigation of indoor environment quality and factors affecting human comfort: A critical review. *Building and Environment*, 204(108146), 108146. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108146>
- Heim, D., & Knera, D. (2021). A novel photometric method for the determination of reflected solar irradiance in the built environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137(110451), 110451. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110451>
- Jiménez-Dianderas, G. C., Montoya Robles, T. del P., & Loayza León, S. (2024). De la “Quesana” tradicional a un sistema modular de paneles aislantes de Totorá. *Revista de Arquitectura*, 26(1), 125–146. <https://doi.org/10.14718/revarq.2024.26.4578>
- Lamrani Alaoui, A., Amrani, A.I., Alami Merrouni, A., Salhi, J.E., Boulerhcha, O., Daoudia, A., El Hassouani, Y., Chaabelasri, E., & Halimi, M. (2023). Thermal and energy efficiency study of passive heating and cooling systems in Morocco’s cold desert climate. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 6(100355), 100355. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100355>
- Larrea-Sáez, L., Muñoz, E., Cuevas, C., Casas-Ledón, Y.: Optimizing insulation and heating systems for social housing in Chile: Insights for sustainable energy policies. *Energy*, 290, 130024 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130024>.



- Lu, S., Zheng, J., Wang, R., Zhu, J.: Thermal performance research on a novel coupled heating system combined solar air heater with ventilation PCM wall. *Solar Energy*. 265, 112100 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112100>.
- Mamani, G. M., Paucara, E. M., Condori, J. A. L., Mamani, V. E., & Espinoza, N. B. (2023). Construction of a low-cost solar air collector prototype for heating Andean houses. In *Smart Innovation, Systems and Technologies* (pp. 180–188). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2_18)
- Martínez García, A. J., Estrada Cahuapaza, Y. R., Marín Mamani, G., Enríquez Mamani, V., Cotacallapa Ochoa, K. L., & Curro Pérez, F. (2023). Thermal evaluation of a rustic building prototype at 1/5 scale with vegetal envelope during the winter in southern Peru. *Data & Metadata*. <https://doi.org/10.56294/dm202334>
- 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), 112757. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112757>
- Mwango, A., & Kambole, C. (2019). Engineering characteristics and potential increased utilisation of sawdust composites in construction. A review. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 07(03), 59–88. <https://doi.org/10.4236/jbcpr.2019.73005>
- Omeiza, L. A., Abid, M., Dhanasekaran, A., Subramanian, Y., Raj, V., Kozak, K., Mamudu, U., & Azad, A. K. (2023). Application of solar thermal collectors for energy consumption in public buildings – An updated technical review. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.09.011>
- Parreño, J., Lara, O., Jumbo, R., Caicedo, H., & Sarzosa, D. (2020). Diseño de un modulo de energía solar como estrategia de ahorro energético y disminución de la emisión de CO<sub>2</sub>. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 2(15), 4-18. <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2849>
- Quiñonez Choquecota, J., Huanca Callata, E., & Holguino Huarza, A. (2019). Caracterización del recurso eólico en la ciudad de Juliaca. *Revista de Investigaciones*



- Altoandinas - Journal of High Andean Research, 21(1), 57–68.  
<https://doi.org/10.18271/ria.2019.445>
- Rodrigues, E., Parente, J., & Fernandes, M. S. (2024). Building for tomorrow: Analyzing ideal thermal transmittances in the face of climate change in Brazil. *Applied Energy*, 355(122360), 122360. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122360>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). Análisis del periodo de bajas temperaturas mayo – setiembre 2021 a nivel nacional. Informe Técnico. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1760>
- Toroxel, J. L., & Silva, S. M. (2024). A review of passive solar heating and cooling technologies based on bioclimatic and vernacular architecture. *Energies*, 17(5), 1006. <https://doi.org/10.3390/en17051006>
- Tungnung, K.: Parametric strategy on passive design affordances in cool-humid climate zones of North-East India. *Solar Energy*. 207, 1–9 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.024>.
- Wang, N., Ghaeili, N., Wang, J., Feng, Y., Zhang, E., Chen, C.: Using architectural glazing systems to harness solar thermal potential for energy savings and indoor comfort. *Renewable Energy*. 219, 119436 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119436>.

## ANEXOS

### ANEXO 1: PRESENTATION AND CERTIFICATE OF ACHIEVEMENT BTSym'24

#### 1. PRESENTACION DEL ARTICULO CIENTIFICO MEDIANTE LA PLATAFORMA “EQUINOCS – SPRINGER NATURE” – PANEL 03 – ID.023

The screenshot displays the Springer Nature EquinOCS interface for Paper 023. The title is "Incidence of solar irradiation on thermal comfort for the architectural design of a passive heating system in urban housing in a cold-dry climate", submitted on August 30, 2024, to the Panel 03 - Peru. The authors listed are Keysi Zenaida Huanca Choquehuanca and Grover Marin Mamani. The abstract discusses the impact of climate change on building energy performance and the evaluation of two passive heating prototypes (APHS and PCHS) in a cold-dry climate. Keywords include bioclimatic design, solar energy, recycled materials, high Andean regions, and pas-sive technologies.

#### 2. EL CERTIFICADO DE PARTICIPACION COMO AUTOR EN EL “BRAZILIAN TECHNOLOGY SYMPOSIUM - BTSYM'24 SATELLITE PERÚ”

The certificate is issued by the organizing committee of BTSym'24, expressing gratitude to Keysi Zenaida Huanca Choquehuanca for her participation and presentation of the research "INCIDENCE OF SOLAR IRRADIATION ON THERMAL COMFORT FOR THE ARCHITECTURAL DESIGN OF A PASSIVE HEATING SYSTEM IN URBAN HOUSING IN A COLD-DRY CLIMATE". The research was presented at the 10th Brazilian Technology Symposium'24 - BTSym'24 - Satellite Event Perú, held from October 28th to 30th, 2024, at the Universidad Nacional del Altiplano - Puno - UNAP, Puno, Peru, via online. The certificate is signed by Yuzo Iano (General Chair), Rangel Arthur (Vice-General Chair), and Gabriel Gomes de Oliveira (Technical Program and Finance Chair) on October 30, 2024, in Puno, Peru.



## ANEXO 2: LICENCIAS “SPRINGER NATURE”

LICENCIAS PARA LA PUBLICACION DEL ARTICULO DE INVESTIGACION EN  
LA REVISTA CIENTIFICA MEDIANTE “SPRINGER NATURE”.

Licence to Publish Proceedings Papers		SPRINGER NATURE
Licensee	Springer Nature Switzerland AG	(the 'Licensee')
Title of the Proceedings Volume/Edited Book or Conference Name:	"INCIDENCE OF SOLAR IRRADIATION ON THERMAL COMFORT FOR THE ARCHITECTURAL DESIGN OF A PASSIVE HEATING SYSTEM IN URBAN HOUSING IN A COLD-DRY CLIMATE "	(the 'Volume')
Volume Editor(s) Name(s):	Yuzo Iano, Osamu Saotome, Rangel Arthur, Marco Antonio Quispe-Barra, Marcelo Zambrano Vizuete, Kanubhai K. Patel, Gabriel Gomes de Oliveira	
Proposed Title of the Contribution:	<b>Proceedings of the 10th Brazilian Technology Symposium (BTSym'24)</b>	(the 'Contribution')
Series: The Contribution may be published in the following series	A Springer book series Smart Innovation, Systems and Technologies	
Author(s) Full Name(s):	Keysi Zenaida Huanca Choquehuanca, Grover Marin Mamani	(the 'Author')
<i>When Author is more than one person the expression "Author" as used in this Agreement will apply collectively unless otherwise indicated.</i>		
Corresponding Author Name:	Keysi Zenaida Huanca Choquehuanca	
Instructions for Authors	<a href="https://www.springer.com/gp/authors-editors/conference-proceedings/conference-proceedings-guidelines">https://www.springer.com/gp/authors- editors/conference-proceedings/conference-proceedings- guidelines</a>	(the 'Instructions for Authors')

### 1 Grant of Rights

- a) For good and valuable consideration, the Author hereby grants to the Licensee the perpetual, exclusive, world-wide, assignable, sublicensable and unlimited right to: publish, reproduce, copy, distribute, communicate, display publicly, sell, rent and/or otherwise make available the contribution identified above, including any supplementary information and graphic elements therein (e.g. illustrations, charts, moving images) (the 'Contribution') in any language, in any versions or editions in any and all forms and/or media of expression (including without limitation in connection with any and all end-user devices), whether now known or developed in the future. Without limitation, the above grant includes: (i) the right to edit, alter, adapt, adjust and prepare derivative works; (ii) all advertising and marketing rights including without limitation in relation to social media; (iii) rights for any training, educational and/or instructional purposes; (iv) the right to add and/or remove links or combinations with other media/works; and (v) the right to create, use and/or license and/or sublicense content data or metadata of any kind in relation to the Contribution (including abstracts and summaries) without restriction. The above rights are granted in relation to the Contribution as a whole or any part and with or in relation to any other works.
- b) Without limiting the rights granted above, Licensee is granted the rights to use the Contribution for the purposes of analysis, testing, and development of publishing- and research-related workflows, systems, products, projects, and services; to confidentially share the Contribution with select third parties to do the same; and to retain and store the





Contribution and any associated correspondence/files/forms to maintain the historical record, and to facilitate research integrity investigations. The grant of rights set forth in this clause (b) is irrevocable.

- c) If the Licensee elects not to publish the Contribution for any reason, all publishing rights under this Agreement as set forth in clause 1a above will revert to the Author.

## 2 Copyright

Ownership of copyright in the Contribution will be vested in the name of the Author. When reproducing the Contribution or extracts from it, the Author will acknowledge and reference first publication in the Volume.

## 3 Use of Contribution Versions

- a) For purposes of this Agreement: (i) references to the "Contribution" include all versions of the Contribution; (ii) "Submitted Manuscript" means the version of the Contribution as first submitted by the Author prior to peer review; (iii) "Accepted Manuscript" means the version of the Contribution accepted for publication, but prior to copy-editing and typesetting; and (iv) "Version of Record" means the version of the Contribution published by the Licensee, after copy-editing and typesetting. Rights to all versions of the Manuscript are granted on an exclusive basis, except for the Submitted Manuscript, to which rights are granted on a non-exclusive basis.

- b) The Author may make the Submitted Manuscript available at any time and under any terms (including, but not limited to, under a CC BY licence), at the Author's discretion. Once the Contribution has been published, the Author will include an acknowledgement and provide a link to the Version of Record on the publisher's website: "This preprint has not undergone peer review (when applicable) or any post-submission improvements or corrections. The Version of Record of this contribution is published in [insert volume title], and is available online at [https://doi.org/\[insert DOI\]](https://doi.org/[insert DOI])".

- c) The Licensee grants to the Author (i) the right to make the Accepted Manuscript available on their own personal, self-maintained website immediately on acceptance, (ii) the right to make the Accepted Manuscript available for public release on any of the following twelve (12) months after first publication (the "Embargo Period"): their employer's internal website; their institutional and/or funder repositories. Accepted Manuscripts may be deposited in such repositories immediately upon acceptance, provided they are not made publicly available until after the Embargo Period.

The rights granted to the Author with respect to the Accepted Manuscript are subject to the conditions that (i) the Accepted Manuscript is not enhanced or substantially reformatted by the Author or any third party, and (ii) the Author includes on the Accepted Manuscript an acknowledgement in the following form, together with a link to the published version on the publisher's website: "This version of the contribution has been accepted for publication, after peer review (when applicable) but is not the Version of Record and does not reflect post-acceptance improvements, or any corrections. The Version of Record is available online at: [http://dx.doi.org/\[insert DOI\]](http://dx.doi.org/[insert DOI]). Use of this Accepted Version is subject to the publisher's Accepted Manuscript terms of use <https://www.springernature.com/gp/open-research/policies/accepted-manuscript-terms>". Under no circumstances may an Accepted Manuscript be shared or distributed under a Creative Commons or other form of open access licence.



Any use of the Accepted Manuscript not expressly permitted under this subclause (c) is subject to the Licensee's prior consent.

- d) The Licensee grants to Author the following non-exclusive rights to the Version of Record, provided that, when reproducing the Version of Record or extracts from it, the Author acknowledges and references first publication in the Volume according to current citation standards. As a minimum, the acknowledgement must state: "First published in [Volume, page number, year] by Springer Nature".
- i. to reuse graphic elements created by the Author and contained in the Contribution, in presentations and other works created by them;
  - ii. the Author and any academic institution where they work at the time may reproduce the Contribution for the purpose of course teaching (but not for inclusion in course pack material for onward sale by libraries and institutions);
  - iii. to reuse the Version of Record or any part in a thesis written by the same Author, and to make a copy of that thesis available in a repository of the Author(s)' awarding academic institution, or other repository required by the awarding academic institution. An acknowledgement should be included in the citation: "Reproduced with permission from Springer Nature";
  - iv. to reproduce, or to allow a third party to reproduce the Contribution, in whole or in part, in any other type of work (other than thesis) written by the Author for distribution by a publisher after an embargo period of 12 months; and
  - v. to publish an expanded version of their Contribution provided the expanded version (i) includes at least 30% new material (ii) includes an express statement specifying the incremental change in the expanded version (e.g., new results, better description of materials, etc.).

#### 4 Warranties & Representations

Author warrants and represents that:

- a)
- i. the Author is the sole copyright owner or has been authorised by any additional copyright owner(s) to grant the rights defined in clause 1,
  - ii. the Contribution does not infringe any intellectual property rights (including without limitation copyright, database rights or trade mark rights) or other third party rights and no licence from or payments to a third party are required to publish the Contribution,
  - iii. the Contribution has not been previously published or licensed, nor has the Author committed to licensing any version of the Contribution under a licence inconsistent with the terms of this Agreement,
  - iv. if the Contribution contains materials from other sources (e.g. illustrations, tables, text quotations), Author has obtained written permissions to the extent necessary from the copyright holder(s), to license to the Licensee the same rights as set out in



clause 1 but on a non-exclusive basis and without the right to use any graphic elements on a stand-alone basis and has cited any such materials correctly;

- b) all of the facts contained in the Contribution are according to the current body of research true and accurate;
- c) nothing in the Contribution is obscene, defamatory, violates any right of privacy or publicity, infringes any other human, personal or other rights of any person or entity or is otherwise unlawful and that informed consent to publish has been obtained for any research participants;
- d) nothing in the Contribution infringes any duty of confidentiality owed to any third party or violates any contract, express or implied, of the Author;
- e) all institutional, governmental, and/or other approvals which may be required in connection with the research reflected in the Contribution have been obtained and continue in effect;
- f) all statements and declarations made by the Author in connection with the Contribution are true and correct;
- g) the signatory who has signed this Agreement has full right, power and authority to enter into this Agreement on behalf of all of the Authors; and
- h) the Author complies in full with: i. all instructions and policies in the Instructions for Authors, ii. the Licensee's ethics rules (available at <https://www.springernature.com/gp/authors/book-authors-code-of-conduct>), as may be updated by the Licensee at any time in its sole discretion.

## **5 Cooperation**

- a) The Author will cooperate fully with the Licensee in relation to any legal action that might arise from the publication of the Contribution, and the Author will give the Licensee access at reasonable times to any relevant accounts, documents and records within the power or control of the Author. The Author agrees that any Licensee affiliate through which the Licensee exercises any rights or performs any obligations under this Agreement is intended to have the benefit of and will have the right to enforce the terms of this Agreement.
- b) Author authorises the Licensee to take such steps as it considers necessary at its own expense in the Author's name(s) and on their behalf if the Licensee believes that a third party is infringing or is likely to infringe copyright in the Contribution including but not limited to initiating legal proceedings.

## **6 Author List**

Changes of authorship, including, but not limited to, changes in the corresponding author or the sequence of authors, are not permitted after acceptance of a manuscript.

## **7 Post Publication Actions**

The Author agrees that the Licensee may remove or retract the Contribution or publish a





correction or other notice in relation to the Contribution if the Licensee determines that such actions are appropriate from an editorial, research integrity, or legal perspective.

## 8 Controlling Terms

The terms of this Agreement will supersede any other terms that the Author or any third party may assert apply to any version of the Contribution.

## 9 Governing Law

This Agreement shall be governed by, and shall be construed in accordance with, the laws of Switzerland. The courts of Zug, Switzerland shall have the exclusive jurisdiction.

---

Signed for and on behalf of the Author	Print Name:	Date:
	Keysi Zenaída Huanca Choquehuanca	November 10, 2024
Address:	Jr. Miraflores 659, Urbanización San Isidro	
Email:	khuancac@est.unap.edu.pe	

Springer Nature Switzerland AG, Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland  
ER\_Book\_ProceedingsPaper\_LTP\_ST\_v.1.0 (10\_2021)



## ANEXO 3: TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL

### INCIDENCIA DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN EL CONFORT TÉRMICO PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN PASIVA EN VIVIENDA URBANA DE CLIMA FRÍO-SECO.

Keysi Zenaida Huanca Choquehuanca<sup>1</sup>[0009-0009-4536-6560], Grover Marín Mamani<sup>1</sup>[0000-0003-4222-6297]

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.  
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura

#### RESUMEN

El cambio climático impacta el rendimiento térmico de los edificios, acentuando la necesidad de sistemas arquitectónicos adaptables. Este estudio optimiza el confort térmico en viviendas de climas frío-secos mediante calefacción pasiva que aprovecha la irradiación solar. Dos prototipos a escala 1:5 se construyeron en Juliaca, Perú: uno con Agrofilm (SCPA) y otro con PET reciclado (SCPP), además de un grupo control (GC). Durante cuatro meses invernales, el SCPA, con un costo de \$21.33, alcanzó temperaturas diurnas de 26.6°C, superior al GC (20.4°C), lo que lo hace viable para comunidades con recursos limitados. El SCPP, con un costo de \$37.33, mantuvo temperaturas nocturnas de 14.99°C, destacándose en retención de calor. Ambos sistemas enfrentaron desafíos en la gestión de humedad, afectando la inercia térmica y señalando la necesidad de mejorar las tejas PET en el SCPP para reducir puentes térmicos. Aunque el SCPA es más económico y eficiente durante el día, el SCPP ofrece durabilidad y menor mantenimiento, adecuado para aplicaciones sostenibles a largo plazo. Este estudio sugiere optimizar materiales para entornos con alta nubosidad y ampliar investigaciones en sistemas de calefacción pasiva para climas similares, contribuyendo a la sostenibilidad en zonas altoandinas.



**Palabras claves:** Diseño bioclimático, energía solar, materiales reciclados, tecnologías pasivas, evaluación del rendimiento térmico.

## INTRODUCCIÓN

La falta de confort interior genera insatisfacción, disminuye la productividad y bienestar de los ocupantes, y puede afectar su salud física y mental, siendo el confort dependiente de las condiciones ambientales, las características constructivas y las necesidades individuales (Ganesh et al., 2021), en conjunto, se encuentran estrechamente vinculados al cambio climático visto como un desafío global que altera significativamente las temperaturas, afectando el rendimiento de los edificios y sus repercusiones a lo largo del tiempo (Rodríguez et al., 2024). Un factor ambiental significativo es la irradiancia solar reflejada, su incremento está influenciado por el entorno, la estación del año, y la posición del sol, mientras que el aumento del albedo afecta notablemente las superficies expuestas (Heim & Knera, 2021). Aunque ha habido avances en este campo, es necesario profundizar en la comprensión de la percepción del confort en diferentes espacios (Baquero, 2021). El estudio de la irradiancia solar, definida como la intensidad de luz solar que llega a la superficie terrestre (Cañibano & Confalone, 2020), es clave para desarrollar estrategias que mejoren el confort térmico y reduzcan la dependencia de fuentes de energía convencionales (Parreño et. al, 2020). Los sistemas de calefacción pasiva, que aprovechan la energía solar, la envolvente y los materiales del edificio, optimizan el confort sin depender de sistemas mecánicos (Toroxel & Silva, 2024). La proyección de edificios pasivos, que utilizan calefacción pasiva o activa, transforma el enfoque de las necesidades de calefacción (Lamrani et al., 2023). Proyectos como “Sunlighthouse Velux” (Austria), “Vivienda 3C2C” (Chile) y “Mi abrigo o Muro Trombe” (Perú) demuestran el potencial de tecnologías avanzadas y materiales sostenibles para mejorar el confort térmico y reducir la huella de carbono (Molina et al.,



2023). En ciudades de clima frío-seco, como Puno en Perú, la baja humedad intensifica las sensaciones de frío, alcanzando temperaturas de hasta  $-4^{\circ}\text{C}$  en épocas de heladas (Dursun & Yavaş, 2024; SENAHMI, 2022). Una de estas ciudades es Juliaca, situada en la meseta del Collao a 3826 m.s.n.m., que actúa como un centro económico crucial para el sur de la región y del país (Quiñonez et. al, 2019). A pesar de su importancia, Juliaca presenta un desarrollo de infraestructura limitado y sin planificación, con viviendas que abarcan desde tipologías rurales y tradicionales hasta estructuras multifamiliares, predominando la mampostería de ladrillo y acabados convencionales (Aucapuri et. al, 2018). Aunque el uso de energías renovables no es común, ha aumentado el uso de colectores solares de tubo de vacío, impactando positivamente las viviendas al mejorar el confort térmico y reducir la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero (Aquino, 2018; Omeiza et al., 2023). Este estudio evalúa el impacto de la irradiancia solar en el confort térmico de las viviendas en Juliaca, Perú, y desarrolla estrategias para optimizar sistemas de calefacción pasiva.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Diseño del Sistema de Calefacción Pasiva**

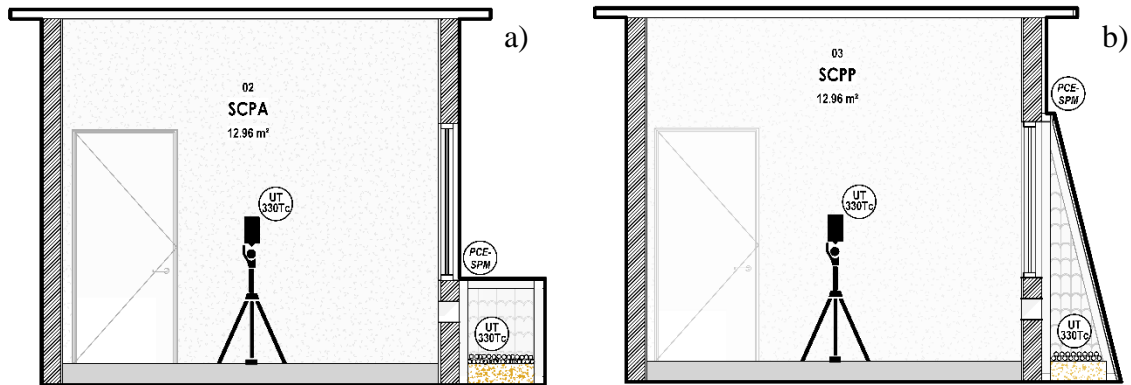
Este estudio adoptó un enfoque cuantitativo explicativo, basado en una medición transversal, para analizar la relación entre irradiancia solar y confort térmico (Galarza, 2020). La investigación se realizó en la urbanización Santiago, en Juliaca, a 3820 metros sobre el nivel del mar (UTM WGS84, zona 19, 379734.00 m E, 8287067.00 m S). En esta región altoandina, se midieron sistemáticamente la irradiancia solar y la temperatura ambiente en el interior de 14 viviendas unifamiliares urbanas, seleccionadas a priori en función de su ubicación en el centro, semi-centro y periferia urbana, y considerando los materiales predominantes, ladrillo y concreto, así como su accesibilidad a la energía solar, en función de su orientación y disposición. Los resultados preliminares indicaron que las

bajas temperaturas promedio representan un desafío térmico significativo para el confort habitacional.

Para abordar esta situación, se diseñaron y replicaron tres prototipos arquitectónicos a escala 1:5, empleando técnicas constructivas tradicionales con ladrillo y mortero, así como cubiertas sólidas. Los prototipos mantuvieron una geometría simétrica, con un volumen interior de 4.00 m<sup>3</sup> y dimensiones a escala, incluyendo una ventana de 2.00 x 1.50 m orientada al norte y una puerta de 2.10 x 0.90 m orientada al este. El diseño buscó reproducir condiciones térmicas equivalentes a las de un espacio arquitectónico a escala real, de acuerdo con estudios previos (Martínez García et al., 2023). Los prototipos fueron construidos a la intemperie en un entorno climático no controlado para asegurar la validez externa y aplicabilidad de los datos obtenidos in situ. En cuanto a los tratamientos experimentales, el primer prototipo, grupo control (GC), no recibió intervención alguna. Sin embargo, se seleccionó con una ubicación intermedia entre prototipos, optimizando su orientación para captar la irradiación solar en condiciones normales. El segundo prototipo incorporó un sistema de calefacción pasiva con Agrofilm (SCPA), como se muestra en la Fig. 1a, mientras que el tercero utilizó un sistema de calefacción pasiva con PET reciclado (SCPP), según se ilustra en la Fig. 1b. En estos modelos, se midieron rigurosamente la irradiancia solar, temperatura y humedad relativa de manera simultánea para evaluar su desempeño térmico y viabilidad en climas frío-secos.

## Figura 1

Modelos a escala 1:5, (a) sistema de calefacción pasiva basado en Agrofilm (SCPA), sistema de calefacción pasiva construido con PET reciclado (SCPP).



Para evaluar el confort térmico en los prototipos SCPA y SCPP, se establecieron dos objetivos principales. El primero fue la construcción de tres módulos a escala 1:5, utilizando materiales representativos del área de estudio. Estos módulos incorporaron los sistemas SCPA y SCPP, diseñados con un enfoque en la reducción de costos, priorizando materiales que optimizaran la relación costo-calidad y garantizaran la generación de calor a partir de fuentes renovables (Mamani et al., 2023). El segundo objetivo fue comparar las temperaturas y humedades registradas en los módulos con un grupo control (GC). Este enfoque no solo permitió evaluar la eficacia de los sistemas en un entorno controlado, sino también identificar mejoras para optimizar el confort térmico en futuras aplicaciones arquitectónicas.

### 2.1.1 Construcción de los módulos SCPA y SCPP.

En el desarrollo del Sistema de Calefacción Pasiva de Agrofilm (SCPA), mostrado en la Fig. 2a, se utilizó un colector solar con geometría prismática de base trapezoidal, diseñado para maximizar la captación de radiación solar durante las horas de mayor irradiancia. Con un volumen de 0.02 m<sup>3</sup>, el colector equilibra eficazmente la captación

solar y la disipación de calor, garantizando alta eficiencia térmica. La estructura fue fabricada con madera de pino radiata tratada, seleccionada por su resistencia a la humedad y durabilidad en condiciones adversas. Para la cubierta exterior, se utilizó un polietileno agrícola Agrofilm amarillo de 2 mm de espesor, termoformado para asegurar un ajuste preciso y minimizar la pérdida de calor por convección. El proceso constructivo consistió en ensamblar con tornillos galvanizados las secciones de madera de un espesor adecuado para la estructura, garantizando resistencia a la corrosión y durabilidad estructural. Finalmente, la cubierta se fijó con grapas de acero inoxidable, destacando su sujeción duradera y su resistencia a la intemperie. El Sistema de Calefacción Pasiva con PET (SCPP), mostrado en la Fig. 2b, utiliza una estructura de madera similar al SCPA, pero con una cubierta diferente. El colector, de un volumen de  $0.03 \text{ m}^3$ , emplea botellas PET tipo I recicladas, cortadas longitudinalmente y dispuestas en forma de tejas para ampliar la superficie de captación solar y mejorar la dispersión de la radiación, logrando así un calentamiento más uniforme. Las botellas PET fueron seleccionadas por su alta transmitancia térmica, resistencia a la degradación UV y disponibilidad como material reciclable. En el proceso constructivo, las tejas de PET se fijaron a la estructura de madera con grapas de acero inoxidable, asegurando una unión sin filtraciones, lo que incrementa la durabilidad y la eficiencia del sistema.

Los sistemas SCPA y SCPP integran un almacenador térmico por capas (ATC) que utiliza materiales como aserrín, yeso y totora. El aserrín, con su estructura celular, retiene eficazmente el calor y mejora la conductividad térmica (Mwango & Kambole, 2019). Al mezclarse con mortero de yeso, aumenta el aislamiento térmico en aplicaciones interiores y refuerza la estabilidad estructural, garantizando un rendimiento uniforme. La totora (*Schoenoplectus californicus*), una fibra natural endémica del sur de Perú destaca por su estructura de celdas interconectadas, lo que le proporciona un excelente





aislamiento térmico con baja energía incorporada (Jiménez-Dianderas et al., 2024). Es económica, accesible y, debido a su bajo impacto ambiental, resulta viable para proyectos de calefacción pasiva en regiones con recursos limitados. Ambos sistemas fueron orientados hacia el norte para maximizar la captación solar en latitudes medias y optimizar la eficiencia térmica. El SCPA se instaló bajo la ventana del modelo, cubriendo  $0.49 \text{ m}^2$ , mientras que el SCPP abarcaba  $0.87 \text{ m}^2$ . Ambos sistemas se anclaron a la tabiquería con tornillos galvanizados, seleccionados por su resistencia a la corrosión y su capacidad para soportar cargas dinámicas, lo que asegura la estabilidad estructural. La conexión entre el colector solar y el interior se realizó mediante esclusas de aire, fundamentales para un intercambio controlado y una transferencia de calor óptima. Estas esclusas, de  $0.005 \text{ m}^2$  de área, se instalaron a  $0.2 \text{ m}$  y  $0.3 \text{ m}$  de altura, permitiendo ajustar el flujo de aire según las variaciones térmicas internas y externas, mejorando la eficiencia del sistema y manteniendo condiciones térmicas estables.

### **2.1.2 Comparación térmica del SCPA y SCPP**

La irradiancia solar se midió durante un periodo invernal de 120 días (mayo-agosto), aprovechando la estabilidad ambiental del invierno para evaluar de forma consistente las variaciones en la irradiancia. Las mediciones se realizaron entre las 8:00 y las 17:00 horas, a intervalos de 30 minutos, utilizando un medidor de radiación solar PCE-SPM 1, calibrado según las especificaciones del fabricante, con una precisión de  $\pm 0.5\%$ . El medidor se instaló a una altura de  $1.20 \text{ m}$  y a una distancia máxima de  $3.00 \text{ m}$  del centro de los prototipos GC, SCPA y SCPP, asegurando así la representatividad de las mediciones. Paralelamente, se registraron la temperatura y la humedad ambiental mediante una estación meteorológica Sainlogic, equipada con Weather Underground y Weathercloud para la transmisión y almacenamiento de datos en tiempo real. Ambos



dispositivos fueron calibrados y mantenidos periódicamente para asegurar la precisión y fiabilidad de los datos. La temperatura y la humedad interna en los prototipos GC, SCPA y SCPP se midieron durante el mismo periodo, entre las 7:00 y las 23:00 horas, a intervalos de 60 minutos, capturando variaciones diurnas y nocturnas. Se emplearon termohigrómetros USB Unit UT330Tc, colocados estratégicamente en los colectores solares y ambientes contiguos, para capturar datos precisos. Los resultados se organizaron en hojas de cálculo, con tablas de cinco columnas que incluían prototipo, mes, día, periodo de medición (Mañana, Día, Tarde, Noche), y valores de temperatura y humedad. Posteriormente, los datos se procesaron con IBM SPSS Statistics, versión 26.0, verificando la normalidad de los resultados y realizando un análisis t de Student para una sola muestra, utilizando 20 °C y 40% como valores de referencia según los normativos del Reglamento Nacional de Edificaciones A110. Finalmente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la significancia de las diferencias entre los prototipos en cuanto a temperatura y humedad relativa.

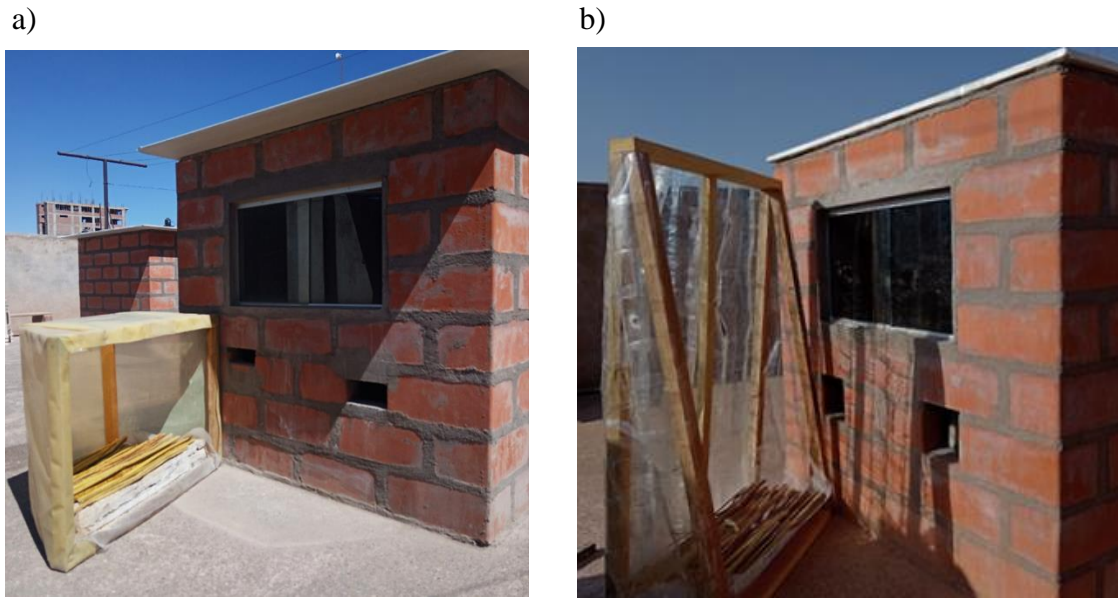
## **RESULTADOS**

### **3.1 Construcción de prototipos SCPA y SCPP**

El proceso de construcción de los colectores solares y el almacenador térmico se llevó a cabo con diferentes tiempos y costos asociados a cada componente, reflejando tanto la viabilidad técnica como económica de los sistemas.

## Figura 2

*Prototipos experimentales escala 1:5, en (a) SCPA con almacenador térmico y exclusas diferenciadas de aire, (b) SCPP con almacenador térmico y exclusas de aire.*



La construcción del Sistema de Calefacción Pasiva de Agrofilm (SCPA), ilustrado en la Fig. 2a, requirió aproximadamente 2 horas para ensamblar el marco de madera y colocar el Agrofilm, con un costo de \$2.67 por metro cuadrado. Para un área de 2 m<sup>2</sup>, el costo del Agrofilm fue de \$5.33, y la madera para el marco costó \$8.00. La mano de obra, a una tasa de \$8.00 por hora, sumó \$16.00, resultando en un costo total de \$29.33 para el colector solar. Por otro lado, la construcción del Sistema de Calefacción Pasiva con PET (SCPP), como se muestra en la Fig. 2b, fue más laboriosa, requiriendo entre 6 y 7 horas debido a la fabricación manual de las láminas tipo teja. Las botellas PET, con un costo de \$0.03 por unidad, totalizaron \$1.33, y la madera para el marco también costó \$8.00. La mano de obra, debido al tiempo adicional, sumó \$28.00, resultando en un costo total de \$37.33 para el colector solar de PET. El uso de materiales reciclados como las botellas PET no solo reduce costos, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental.



El almacenador térmico fue construido utilizando una mezcla de aserrín y yeso en una proporción de 2:5, con un tiempo de construcción estimado entre 2 y 3 horas. Los costos incluyeron \$1.33 para el aserrín y \$2.33 para el yeso. Además, se utilizó totora como material aislante, con un costo de \$2.00, resultando en un costo total de \$5.66 para el almacenador. El tiempo total estimado para la construcción de todos los componentes fue de 11 a 12 horas, proporcionando una visión realista de los recursos necesarios.

El SCPA, con su diseño cúbico, captura entre el 85% y 90% de la energía solar en climas fríos y secos, optimizando el rendimiento en días invernales. Sin embargo, su eficacia disminuye con nubosidad alta o nieve acumulada. El SCPP, aunque capta entre el 75% y 80% de la irradiación debido a la menor transmitancia del plástico reciclado, cuenta con una inclinación ajustable que facilita el drenaje y mantiene un rendimiento estable. La eficiencia térmica del SCPA destaca por su capacidad de concentrar el calor en un espacio bien aislado, con baja pérdida de calor durante la noche. En contraste, el SCPP, con su material más resistente, retiene mejor el calor y lo libera lentamente durante la noche. La estructura de las botellas crea cámaras de aire que mejoran la retención de calor. El SCPA es más vulnerable al desgaste por radiación UV y frío extremo, lo que podría requerir reemplazos más frecuentes. El SCPP es más duradero, con mayor resistencia a la degradación UV e impactos físicos, y requiere menos mantenimiento, haciéndolo una opción confiable y sostenible para aplicaciones a largo plazo. Aunque el SCPA es más económico y fácil de instalar, el SCPP ofrece ventajas significativas en durabilidad y mantenimiento, siendo ideal para entornos donde la sostenibilidad y la longevidad son cruciales.

### 3.2 Evaluación térmica de SCPA y SCPP

La radiación solar promedio en la región fue de  $502.9 \text{ W/m}^2$ , significativamente inferior al estándar de  $1000 \text{ W/m}^2$  de las Condiciones Estándares de Medida (CEM). Esto refleja los desafíos locales en la captación solar, afectados por nubosidad y bajas temperaturas invernales. Las mañanas, con un promedio de  $200.4 \text{ W/m}^2$ , presentan la menor radiación, influenciadas por neblina o heladas. Por la tarde, la radiación aumenta a  $811.0 \text{ W/m}^2$ , acercándose a los niveles CEM, lo que sugiere una mayor captación solar en este periodo. Los datos meteorológicos mostraron una temperatura exterior media de  $13.02 \text{ }^\circ\text{C}$ , con una desviación estándar de  $4.68 \text{ }^\circ\text{C}$ , mostrando variabilidad térmica moderada. En contraste, la temperatura interior fue más alta y estable, con una media de  $19.27 \text{ }^\circ\text{C}$  y desviación de  $2.28 \text{ }^\circ\text{C}$ , lo que sugiere buen aislamiento. La humedad exterior promedió  $35.95\%$  con alta variabilidad (desviación de  $15.78\%$ ), mientras que la humedad interior fue más controlada, con una media de  $27.45\%$  y desviación de  $2.39\%$ , reflejando la estabilidad térmica interior frente a las condiciones externas.

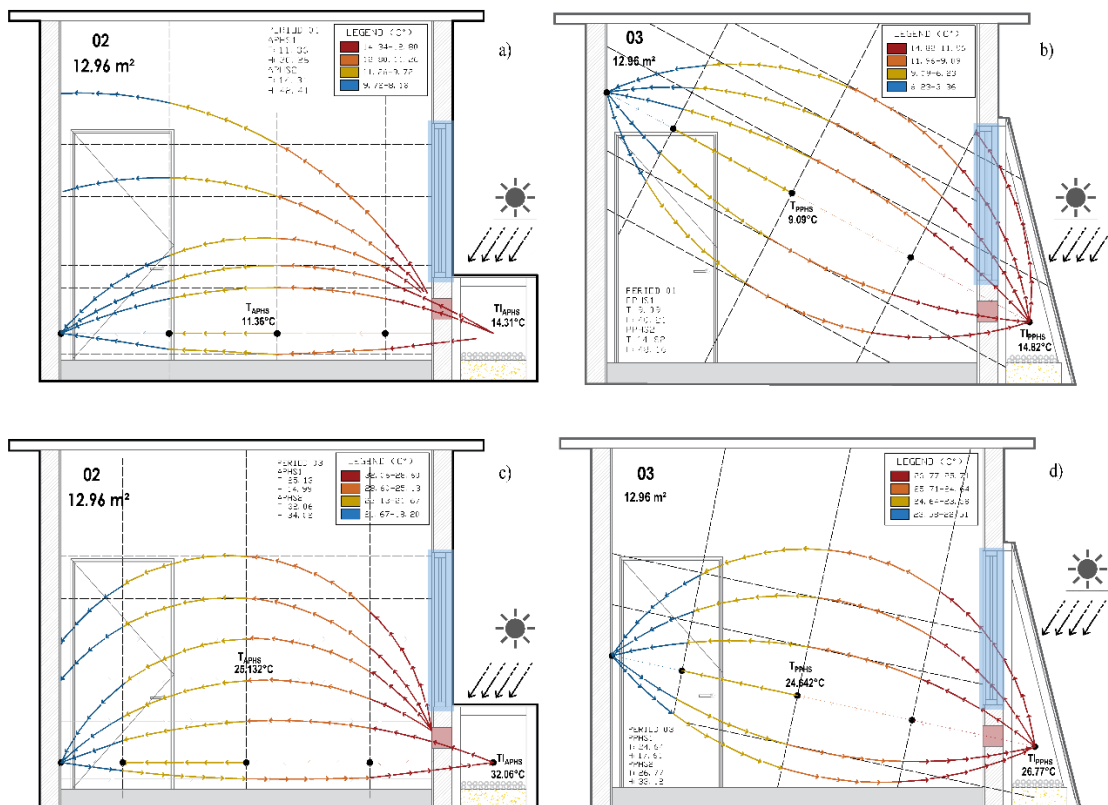
El análisis de Temperatura en la evaluación de la eficiencia de los sistemas de calefacción pasiva en climas frío-secos nos indican que, durante el día, el Sistema de Calefacción Pasiva de Agrofilm (SCPA) alcanzó una temperatura promedio de  $23.96^\circ\text{C}$ , superando el estándar de  $20^\circ\text{C}$  de la norma A110 ( $p < 0.001$ ), demostrando su eficacia en climas fríos. El Sistema de Calefacción Pasiva con PET reciclado (SCPP) registró una temperatura promedio de  $19.64^\circ\text{C}$ , cercana al estándar ( $p = 0.583$ ), sugiriendo un entorno térmicamente neutro, adecuado para equilibrar eficiencia y costo. En la tarde, tanto el SCPA como el SCPP y el Grupo Control (GP) superaron los  $20^\circ\text{C}$ , con el SCPA alcanzando  $26.62^\circ\text{C}$  ( $p < 0.001$ ). Sin embargo, en la mañana y la noche, ningún módulo mantuvo temperaturas superiores a  $20^\circ\text{C}$ . Aunque SCPA y SCPP mostraron un mejor

rendimiento que el GP, todos quedaron por debajo del estándar, evidenciando la dificultad de mantener el calor sin radiación solar suficiente. Esto subraya las limitaciones térmicas de las viviendas a escala real.

El funcionamiento del SCPA se muestran en la Fig. 3a mañana, 3c tarde, y el SCPP en las Fig. 3b mañana, 3d tarde. Ambos sistemas fueron evaluados en términos de temperatura y humedad relativa.

### Figura 3

*Diagrama de funcionamiento térmico del SCPA (a, c) y SCPP (b, d) y comportamiento térmico de la Mañana (a, b), Tarde (c, d).*



Mientras que, el análisis de la humedad relativa, con un estándar de 40%, mostró que ningún módulo alcanzó niveles adecuados. El SCPP tuvo menores déficits de humedad (-7.96% en la mañana y -13.56% en la noche,  $p < 0.001$ ), pero aún insuficientes,



indicando la necesidad de mejorar la retención de humedad. Aunque el SCPA cumple con las normativas de temperatura durante el día y la tarde, ambos sistemas requieren mejoras para mantener un rendimiento adecuado en periodos de menor radiación solar y en la gestión de la humedad, para cumplir plenamente con la norma A110.

### 3.2.1 Eficacia Térmica (Temperatura - Humedad)

Para determinar su eficacia térmica, con respecto a la temperatura, en la mañana, se observó una diferencia significativa en las temperaturas medias. El Grupo Control (GC) registró una temperatura media de  $9.77^{\circ}\text{C}$ , mientras que el Módulo Agrofilm (SCPA) y el Módulo PET (SCPP) alcanzaron  $13.10^{\circ}\text{C}$  y  $12.25^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.001$ ), sugiriendo que ambos módulos proporcionan un ambiente térmicamente más favorable que el GC, con el SCPA logrando temperaturas ligeramente superiores. A medida que avanza el día, las diferencias se hacen más pronunciadas. El GC mantuvo  $16.79^{\circ}\text{C}$ , mientras que el SCPA alcanzó  $23.96^{\circ}\text{C}$  y el SCPP  $19.64^{\circ}\text{C}$ , ambas significativamente superiores a la del GC ( $p < 0.001$ ). Estos resultados subrayan la eficacia del SCPA en mantener temperaturas más cálidas durante el día, mejorando el confort térmico. Por la tarde, las temperaturas medias se igualaron, con el GC registrando  $25.99^{\circ}\text{C}$ , el SCPA  $25.13^{\circ}\text{C}$ , y el SCPP  $24.64^{\circ}\text{C}$ , sin diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Esto sugiere que, a medida que el día avanza, las diferencias térmicas se atenúan debido a la mayor incidencia de radiación solar y la estabilización térmica de los materiales. Por la noche, el GC mantuvo  $15.40^{\circ}\text{C}$ , mientras que el SCPA registró  $13.58^{\circ}\text{C}$  ( $p = 0.002$ ), indicando que el SCPA pierde calor más rápidamente. En contraste, el SCPP mostró  $14.99^{\circ}\text{C}$ , sin diferencias significativas en comparación con el GC ( $p = 0.398$ ), lo que sugiere mejor retención de calor en el SCPP.





En cuanto a la humedad relativa, en la mañana, el GC registró 24.76%, el SCPA 27.75% y el SCPP 32.04%, siendo esta última significativamente superior ( $p < 0.05$ ). Durante el día, el SCPA mantuvo un ambiente más seco con 20.86%, en comparación con el GC (26.90%) y el SCPP (28.28%) ( $p < 0.001$ ). En la tarde, el SCPA continuó con 19.93%, frente al 24.78% del GC y al 23.50% del SCPP ( $p < 0.001$ ), por la noche, las diferencias en los niveles de humedad se estabilizaron y no fueron significativas ( $p > 0.05$ ), con el GC registrando 25.82%, el SCPA 25.58%, y el SCPP 26.44%.

### **3.2.2 Efectividad Térmica (Análisis Comparativo)**

Los resultados de este estudio confirman la efectividad de los sistemas de calefacción pasiva en climas fríos y secos, como se observó en el SCPA y el SCPP. El SCPA, que capta entre el 85% y el 90% de la radiación solar, mantiene alta eficiencia térmica durante el día, crucial para el confort en condiciones extremas. Este desempeño coincide con los hallazgos de Molina et al. (2023), quienes subrayan la necesidad de adaptar la calefacción solar pasiva para zonas altoandinas. Asimismo, Agurto et al. (2020) han demostrado que tecnologías solares pasivas, como los muros Trombe en Chile, reducen la demanda de energía y mejoran el confort, alineándose con la eficiencia del SCPA observada aquí. Sin embargo, la eficiencia del SCPA disminuye bajo nubosidad y acumulación de nieve, lo que limita su rendimiento en climas variables, como también señalan Bensehla et al. (2021), quienes abogan por aumentar la capacidad fotovoltaica en regiones con alto potencial solar. El SCPP, aunque menos eficiente en captar radiación solar, mostró mejor retención de calor y durabilidad, cruciales para aplicaciones a largo plazo, en línea con lo reportado por Lu et al. (2023), que subrayan la importancia del almacenamiento térmico en mejorar la eficiencia energética. Económicamente, el SCPA es más viable para proyectos con presupuestos limitados, ideal para comunidades rurales



o programas subsidiados, como sugieren Chandel et al. (2024), en la región del Himalaya occidental. El SCPP, con mayor durabilidad y menor mantenimiento, es mejor para aplicaciones sostenibles a largo plazo, como discuten Larrea-Sáez et al. (2024), en Chile, y Tungnung (2020) en India, quienes destacan la importancia del diseño pasivo en optimizar la temperatura interior. La efectividad de estas soluciones puede mejorarse aún más con ventilación flexible y acristalamiento optimizado (Wang et al., 2023).

## CONCLUSIÓN

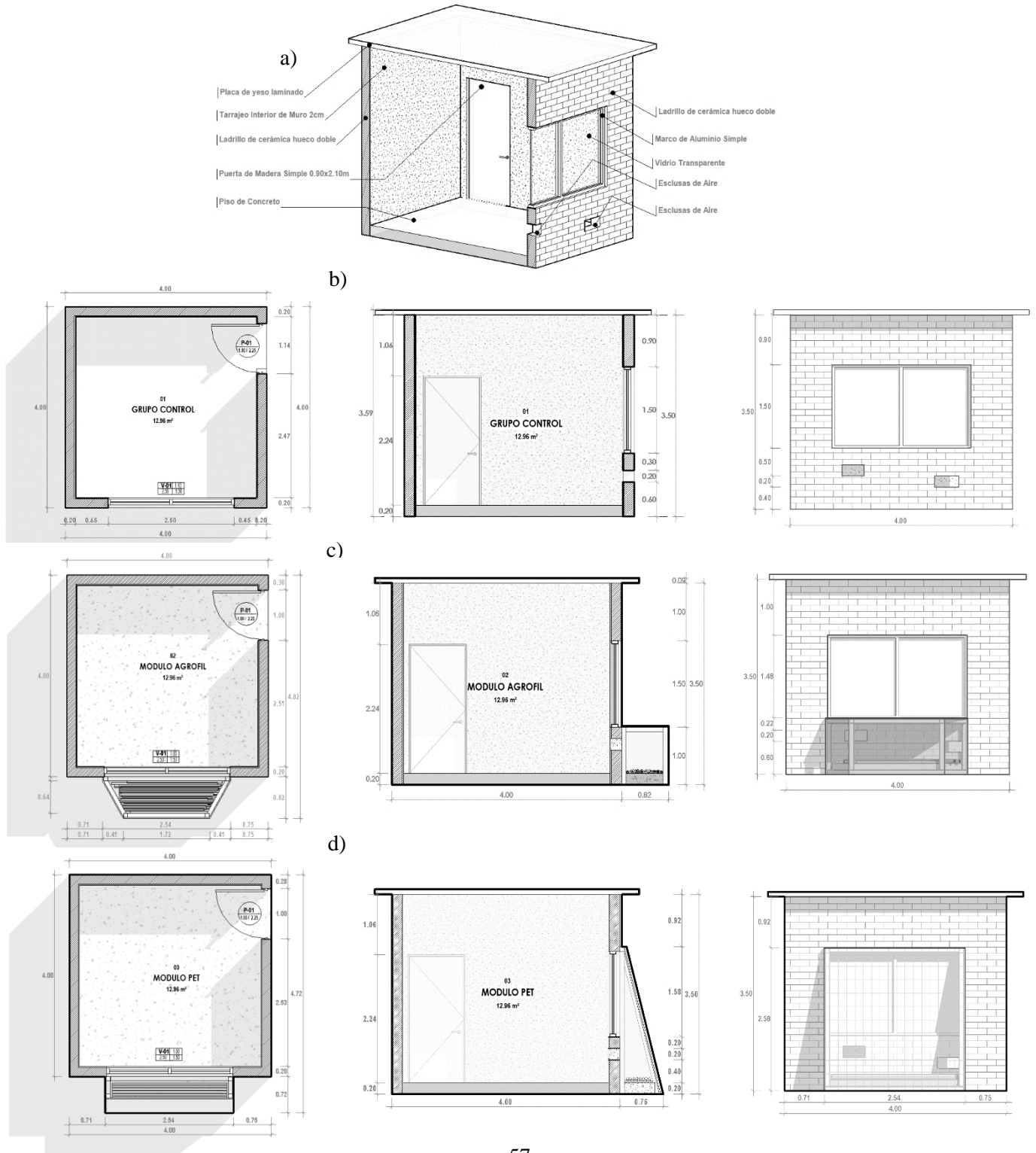
El análisis de dos tipos de colectores solares diseñados para climas fríos y secos revela diferencias clave en eficiencia y aplicabilidad. El SCPA capta entre el 85% y el 90% de la energía solar disponible, pero su rendimiento disminuye en condiciones de alta nubosidad o nieve. En contraste, el SCPP, que captura un 75%-80% de irradiación solar, sobresale en retención de calor y durabilidad gracias a la estructura de las botellas y su inclinación ajustable, optimizando la captación según la latitud. Económicamente, el SCPA es viable para proyectos con presupuestos limitados y rápida implementación, ideal para comunidades rurales o programas de subsidio. Aunque el SCPP tiene un costo inicial más alto y es más complejo de construir, ofrece durabilidad y menor mantenimiento, siendo más adecuado para aplicaciones a largo plazo en entornos donde la sostenibilidad es crucial. El estudio evidencia la viabilidad de soluciones innovadoras de calefacción pasiva como alternativas sostenibles para mejorar el confort térmico en viviendas urbanas de clima frío seco, resaltando el rol de los sistemas pasivos en ciudades sostenibles frente al cambio climático. Sin embargo, se recomienda investigaciones adicionales para optimizar los materiales de ambos colectores en entornos con alta nubosidad y precipitaciones sólidas.

## ANEXO 3: PANEL GRAFICO DESCRIPTIVO – PROTOTIPOS

**Figura 1.**

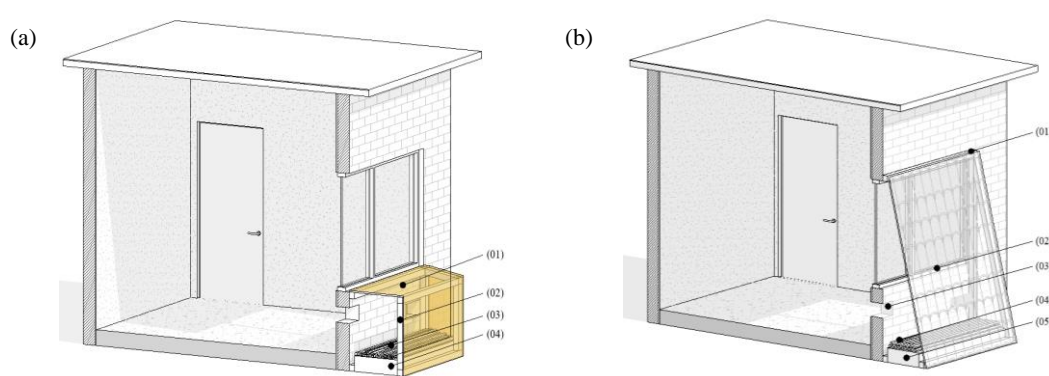
(a) *Detalle de Prototipo, (b) Detalle de Prototipo sin modificaciones – Grupo Control (c,d)*

*Detalle de los SSCP Modulo PET Y Modulo Agrofilm.*



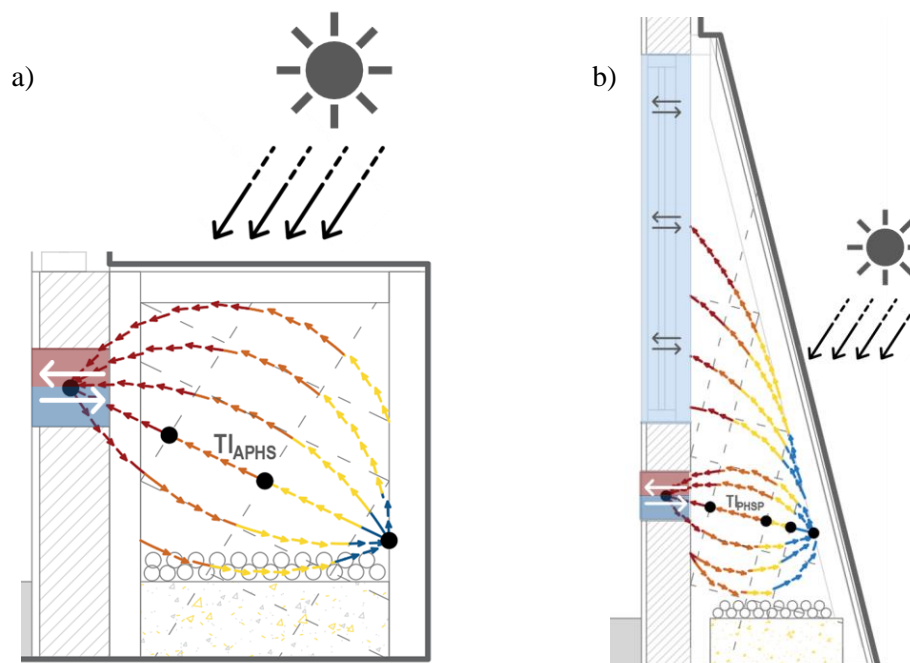
### Figura 2.

(a) Sistema SCPA, 01 Estructura de madera. 02 Tejas de Plástico PET Tipo I, 03 Esclusas de Aire, 03 Totora, 04 Almacenador Térmico de Yeso y Aserrín., (b) Sistema SCPP 01 Plástico Agrofilm 2mm, 02 Estructura de Madera, 03 Totora, 04 Almacenador Térmico de Yeso y Aserrín.



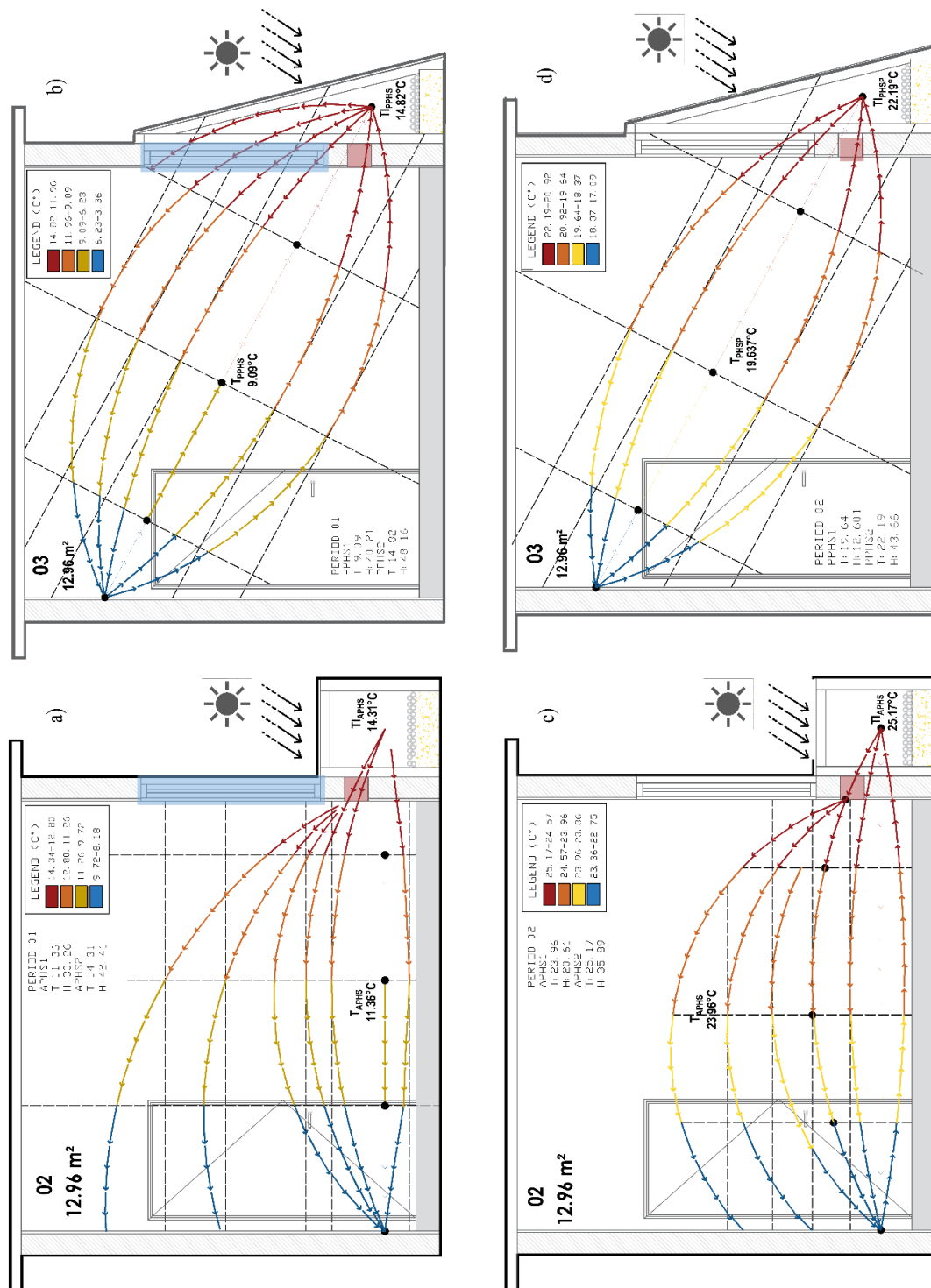
### Figura 3.

Diagrama de Funcionamiento Térmico SCPA (a) Y PCHS (b) a partir de la captación de irradiancia solar en cada sistema.



**Figura 4.**

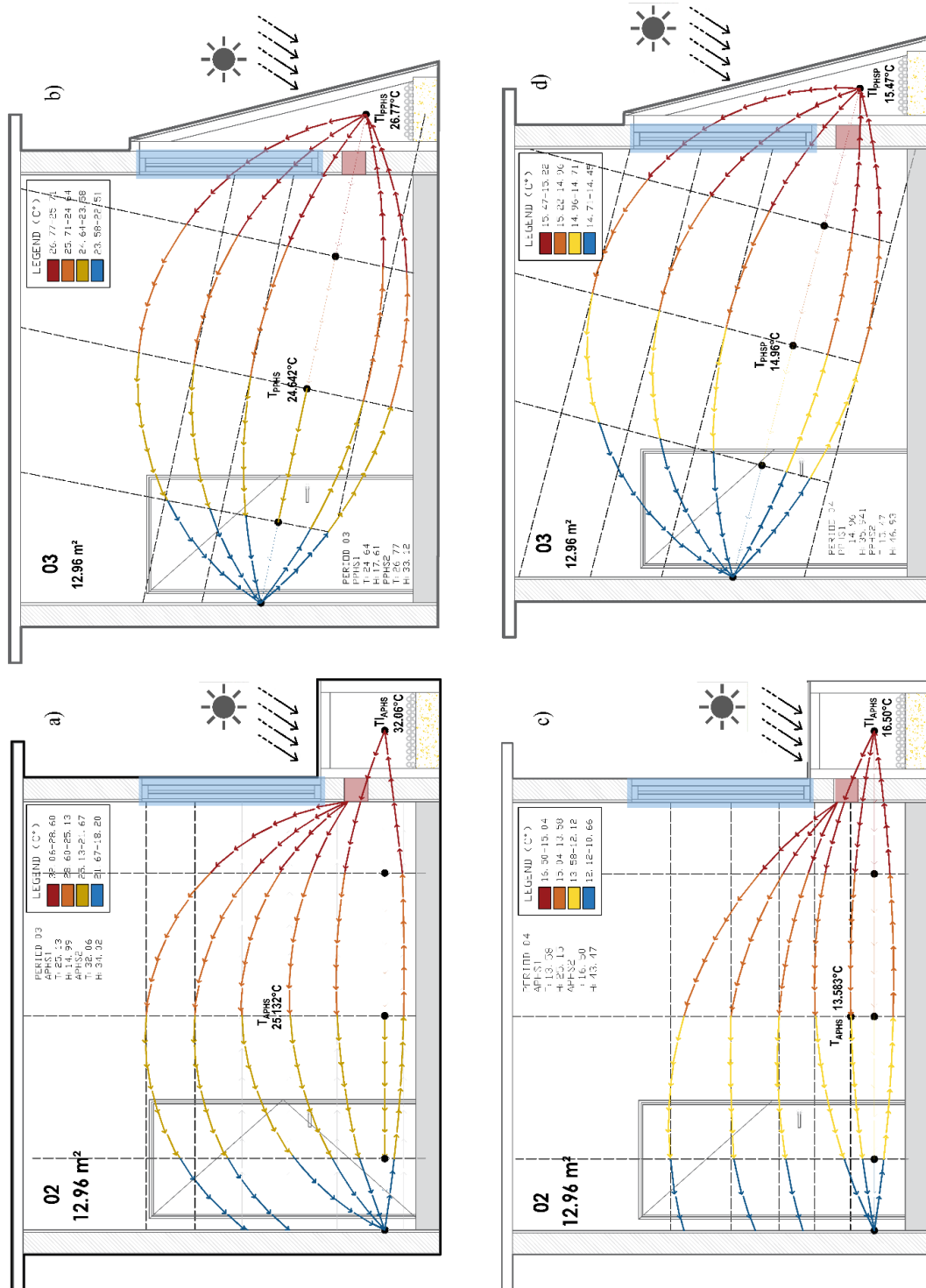
*Diagrama de Funcionamiento Térmico por periodo (01 mañana, 02 día ) SCPA (a) Y PCHS (b) a partir de la captación de irradiación solar en cada sistema.*





**Figura 5.**

*Diagrama de Funcionamiento Térmico por periodo (03 Tarde, 04 noche) SCPA (a) Y PCHS (b) a partir de la captación de irradiación solar en cada sistema.*





## ANEXO 4: ARTICULO PRESENTADO

### **Incidence of solar irradiation on thermal comfort for the architectural design of a passive heating system in urban housing in a cold-dry climate.**

Keysi Zenaida Huanca Choquehuanca<sup>1</sup>[0009-0009-4536-6560], Grover Marín Mamani<sup>1</sup>[0000-0003-4222-6297]

<sup>1</sup>. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.  
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura  
khuancac@est.unap.edu.pe  
gmarin@unap.edu.pe

**Abstract.** Climate change impacts the thermal performance of buildings, accentuating the need for adaptive architectural systems. This study optimizes thermal comfort in dwellings in cold-dry climates through passive heating that takes advantage of solar irradiation. Two 1:5 scale prototypes were built in Juliaca, Peru: one with Agrofilm (APHS) and one with recycled PET (PPHS), plus a control group (CG). During the four winter months, the APHS, at \$21.33, achieved daytime temperatures of 26.6°C, higher than the CG (20.4°C), making it viable for communities with limited resources. The PPHS, at \$37.33, maintained nighttime temperatures of 14.99°C, excelling in heat retention. Both systems faced challenges in moisture management, affecting thermal inertia and pointing to the need for improved PET shingles on the PPHS to reduce thermal bridging. Although APHS is more economical and efficient during the day, PPHS offers durability and lower maintenance, making it suitable for long-term sustainable applications. This study suggests optimizing materials for high cloud cover environments and further researching passive heating systems for similar climates, contributing to sustainability in high Andean areas.

**Keywords:** Bioclimatic design, solar energy, recycled materials, passive technologies, thermal performance evaluation.

#### **1 Introduction**

The lack of indoor comfort generates dissatisfaction, decreases the productivity and well-being of occupants, and can affect their physical and mental health, with comfort being dependent on environmental conditions, constructive characteristics, and individual needs [1], together, they are closely linked to climate change seen as a global challenge that significantly alters temperatures, affecting the performance of buildings and their repercussions over time [2]. A significant environmental factor is reflected in solar irradiance, its increase is influenced by the environment, the season of the year, and the position of the sun, while the increase in albedo notably affects exposed surfaces [3]. Although there have been advances in this field, it is necessary to deepen the understanding of the perception of comfort in different spaces [4]. The study of solar irradiance, defined as the intensity of sunlight reaching the earth's surface [5], is key to



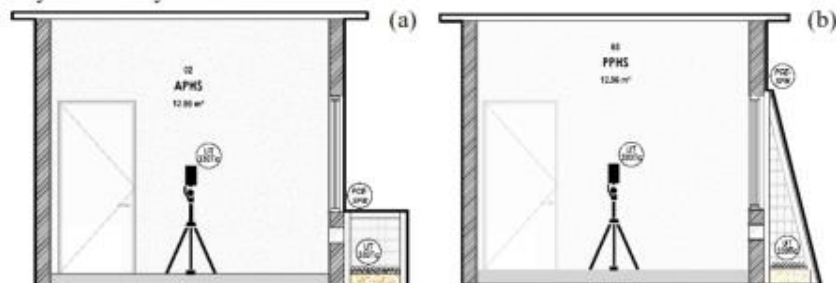
developing strategies to improve thermal comfort and reduce dependence on conventional energy sources [6]. Passive heating systems, which take advantage of solar energy, the building envelope, and building materials, optimize comfort without relying on mechanical systems [7]. Passive building design, using passive or active heating, transforms the approach to heating needs [8]. Projects such as “Sunlighthouse Velux” (Austria), “Vivienda 3C2C” (Chile), and “Mi abrigo o Muro Trombe” (Peru) demonstrate the potential of advanced technologies and sustainable materials to improve thermal comfort and reduce the carbon footprint [9]. In cities with cold-dry climates, such as Puno in Peru, low humidity intensifies cold sensations, reaching temperatures as low as  $-4^{\circ}\text{C}$  during frosty periods [10,11]. One of these cities is Juliaca, located on the Collo plateau at 3826 m.a.s.l., which acts as a crucial economic center for the south of the region and the country [12]. Despite its importance, Juliaca presents limited and unplanned infrastructure development, with housing ranging from rural and traditional typologies to multifamily structures, predominantly brick masonry, and conventional finishes [13]. Although the use of renewable energy is not common, the use of evacuated tube solar collectors has increased, positively impacting housing by improving thermal comfort and reducing dependence on fossil fuels and greenhouse gas emissions [14,15]. This study evaluates the impact of solar irradiance on the thermal comfort of dwellings in Juliaca, Peru, and develops strategies to optimize passive heating systems.

## 2 Passive Heating System Design.

This study adopted a quantitative explanatory approach, based on a cross-sectional measurement, to analyze the relationship between solar irradiance and thermal comfort [16]. The research was conducted in the Santiago urbanization, in Juliaca, at 3820 meters above sea level (UTM WGS84, zone 19, 379734.00 m E, 8287067.00 m S). In this high Andean region, solar irradiance and ambient temperature were systematically measured inside 14 urban single-family houses, selected a priori according to their location in the center, semi-center, and urban periphery, and considering the predominant materials, brick, and concrete, as well as their accessibility to solar energy, according to their orientation and layout. Preliminary results indicated that low average temperatures represent a significant thermal challenge for housing comfort.

To address this situation, three architectural prototypes were designed and replicated at a scale of 1:5, using traditional construction techniques with brick and mortar, as well as solid roofs. The prototypes maintained a symmetrical geometry, with an interior volume of  $4.00\text{ m}^3$  and scaled dimensions, including a  $2.00 \times 1.50\text{ m}$  window facing north and a  $2.10 \times 0.90\text{ m}$  door facing east. The design sought to reproduce thermal conditions equivalent to those of a full-scale architectural space, by previous studies [17]. The prototypes were built outdoors in an uncontrolled climatic environment to ensure the external validity and applicability of the data obtained in situ. As for the experimental treatments, the prototype, the control group (CG), did not receive any intervention. However, it was selected with an intermediate location between prototypes, optimizing its orientation to capture solar irradiation under normal conditions. The second prototype incorporated a passive heating system with Agrofilm (APHS), as shown in Fig. 1a, while the third used a passive heating system with recycled PET (PPHS), as illustrated in Fig. 1b. In these models, solar irradiance, temperature, and relative humidity

were rigorously measured simultaneously to evaluate their thermal performance and viability in cold-dry climates.



**Fig. 1.** 1:5 scale models, (a) passive heating system based on Agrofilm (APHS), passive heating system constructed with recycled PET (PPHS).

Evaluate thermal comfort in the APHS and PPHS prototypes, two main objectives were established. The first was the construction of three 1:5 scale modules, using materials representative of the study area. These modules incorporated the APHS and PPHS systems, designed with a focus on cost reduction, prioritizing materials that would optimize the cost-quality ratio and guarantee heat generation from renewable sources [18]. The second objective was to compare the temperatures and humidities recorded in the modules with a control group (CG). This approach not only made it possible to evaluate the efficiency of the systems in a controlled environment, but also to identify improvements to optimize thermal comfort in future architectural applications.

### 2.1 Construction of APHS and PPHS modules.

In the development of Agrofilm's Passive Heating System (APHS), shown in Fig. 2a, a solar collector with a prismatic geometry with a trapezoidal base was used, designed to maximize solar radiation during the hours of highest irradiance. With a volume of 0.02 m<sup>3</sup>, the collector effectively balances solar collection and heat dissipation, ensuring high thermal efficiency. The structure was manufactured with treated radiata pine wood, selected for its resistance to humidity and durability in adverse conditions. For the outer shell, a 2 mm thick yellow Agrofilm agricultural polyethylene was used, thermoformed to ensure a precise fit and minimize heat loss by convection. The construction process consisted of assembling the wood sections with galvanized screws of an adequate thickness for the structure, ensuring corrosion resistance and structural durability. Finally, the roof was fastened with stainless steel staples, highlighting its durable fastening and weather resistance. The Passive Heating System with PET (PPHS), shown in Fig. 2b, uses a wooden structure similar to the APHS, but with a different cover. The collector, with a volume of 0.03 m<sup>3</sup>, uses recycled type I PET bottles, cut longitudinally and arranged in the form of shingles to enlarge the solar collection surface and improve radiation dispersion, thus achieving more uniform heating. PET bottles were selected for their high thermal transmittance, resistance to UV degradation, and availability as a recyclable material. In the construction process, the PET tiles were attached to the wooden structure with stainless steel staples, ensuring a leak-free joint, which increases the durability and efficiency of the system.





The APHS and PPHS systems integrate layered thermal storage (LTS) using materials such as sawdust, gypsum, and cattail. Sawdust, with its cellular structure, effectively retains heat and improves thermal conductivity [19]. When mixed with gypsum mortar, it increases thermal insulation in interior applications and enhances structural stability, ensuring uniform performance. Cattail (*Schoenoplectus californicus*), a natural fiber endemic to southern Peru is notable for its interconnected cell structure, which provides excellent thermal insulation with low embodied energy [20]. It is economical, accessible, and due to its low environmental impact, it is viable for passive heating projects in regions with limited resources. Both systems were north-facing to maximize solar gain in mid-latitudes and optimize thermal efficiency. The APHS was installed under the model window, covering 0.49 m<sup>2</sup>, while the PPHS covered 0.87 m<sup>2</sup>. Both systems were anchored to the partition wall with galvanized screws, selected for their corrosion resistance and ability to withstand dynamic loads, ensuring structural stability. The connection between the solar collector and the interior was made by means of airlocks, which are essential for controlled exchange and optimal heat transfer. These airlocks, of 0.005 m<sup>2</sup> in area, were installed at 0.2 m and 0.3 m in height, allowing the airflow to be adjusted according to internal and external thermal variations, improving the efficiency of the system and maintaining stable thermal conditions.

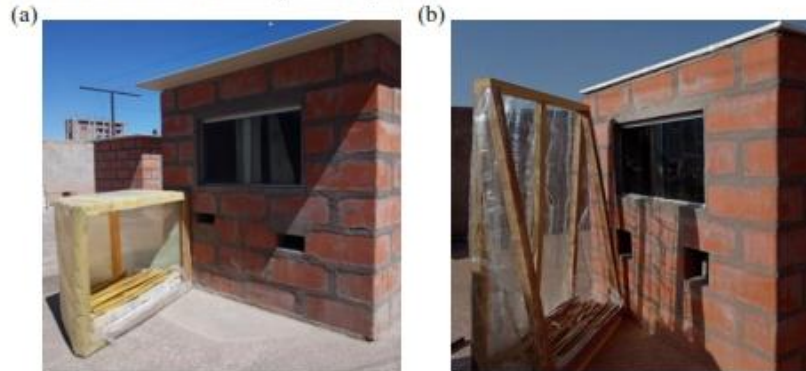
## 2.2 Thermal comparison of APHS and PPHS.

Solar irradiance was measured during a 120-day winter period (May-August), taking advantage of the environmental stability of winter to consistently evaluate variations in irradiance. Measurements were taken between 8:00 am and 5:00 pm, at 30-minute intervals, using a PCE-SPM 1 solar irradiance meter, calibrated according to the manufacturer's specifications, with an accuracy of  $\pm 0.5\%$ . The meter was installed at a height of 1.20 m and at a maximum distance of 3.00 m from the center of the CG, APHS, and PPHS prototypes, thus ensuring the representativeness of the measurements. In parallel, ambient temperature and humidity were recorded using a Sainlogic weather station, equipped with Weather Underground and Weathercloud for real-time data transmission and storage. Both devices were periodically calibrated and maintained to ensure data accuracy and reliability. Temperature and internal humidity in the CG, APHS, and PPHS prototypes were measured during the same period, between 7:00 am and 11:00 pm, at 60-minute intervals, capturing diurnal and nocturnal variations. USB Unit UT330Tc Thermo hygrometers, strategically placed in the solar collectors and adjacent environments, were used to capture accurate data. The results were organized into spreadsheets, with five-column tables including the prototype, month, day, measurement period (Morning, Day, Afternoon, Evening, Night), and temperature and humidity values. Subsequently, the data was processed with IBM SPSS Statistics, version 26.0, verifying the normality of the results and performing a student's *t* analysis for a single sample, using 20 °C and 40% as reference values according to the regulations of the National Building Regulations A110. Finally, an analysis of variance (ANOVA) was performed to determine the significance of the differences between the prototypes in terms of temperature and relative humidity.

### 3 Results

#### 3.1 Construction of APHS and PPHS prototypes

The construction process of the solar collectors and the thermal store was carried out with different times and costs associated with each component, reflecting both the technical and economic feasibility of the systems.



**Fig. 2.** Experimental prototypes 1:5 scale, in (a) APHS with thermal storage and differentiated airlocks, (b) PPHS with thermal storage and airlocks.

The construction of the Agrofilm Passive Heating System (APHS), illustrated in Fig. 2a, required approximately 2 hours to assemble the wood frame and place the Agrofilm, at \$2.67 per square meter. For an area of 2 m<sup>2</sup>, the cost of the Agrofilm was \$5.33, and the wood for the frame cost \$8.00. Labor, at a rate of \$8.00 per hour, added up to \$16.00, resulting in a total cost of \$29.33 for the solar collector. On the other hand, the construction of the PET Passive Heating System (PPHS), as shown in Fig. 2b, was more labor intensive, requiring 6 to 7 hours due to the manual fabrication of the tile-like sheets. The PET bottles, costing \$0.03 per unit, totaled \$1.33, and the wood for the frame also cost \$8.00. Labor, due to the additional time, totaled \$28.00, resulting in a total cost of \$37.33 for the PET solar collector. The use of recycled materials such as PET bottles not only reduces costs but also contributes significantly to environmental sustainability.

The thermal store was constructed using a 2:5 sawdust and gypsum mixture, with an estimated construction time of 2 to 3 hours. Costs included \$1.33 for sawdust and \$2.33 for gypsum. In addition, cattail was used as an insulating material at \$2.00, resulting in a total cost of \$5.66 for the storeroom. The total estimated time for construction of all components was 11 to 12 hours, providing a realistic view of the resources required.

The APHS, with its cubic design, captures 85% to 90% of solar energy in cold and dry climates, optimizing performance on winter days. However, its efficiency decreases in high cloud cover or accumulated snow. The PPHS, although it captures 75% to 80% of irradiance due to the lower transmittance of recycled plastic, has an adjustable tilt that facilitates drainage and maintains stable performance. The thermal efficiency of the





APHS is notable for its ability to concentrate heat in a well-insulated space, with low heat loss at night. In contrast, the PPHS, with its stronger material, retains heat better and releases it slowly during the night. The structure of the bottles creates air chambers that improve heat retention. APHS is more vulnerable to wear and tear from UV radiation and extreme cold, which may require more frequent replacements. PPHS is more durable, with greater resistance to UV degradation and physical impacts, and requires less maintenance, making it a reliable and sustainable option for long-term applications. Although APHS is less expensive and easier to install, PPHS offers significant advantages in durability and maintenance, making it ideal for environments where sustainability and longevity are crucial.

### 3.2 Thermal evaluation of APHS and PPHS

The average solar radiation in the region was 502.9 W/m<sup>2</sup>, significantly lower than the 1000 W/m<sup>2</sup> Standard Measuring Conditions (SMC) standard. This reflects local challenges in solar gain, affected by cloud cover and low winter temperatures. Mornings, with an average of 200.4 W/m<sup>2</sup>, present the lowest radiation, influenced by fog or frost. In the afternoon, radiation increases to 811.0 W/m<sup>2</sup>, approaching EMF levels, suggesting higher solar gain in this period. The meteorological data showed a mean outdoor temperature of 13.02 °C, with a standard deviation of 4.68 °C, showing moderate thermal variability. In contrast, the indoor temperature was higher and more stable, with a mean of 19.27 °C and a deviation of 2.28 °C, suggesting good insulation. Outdoor humidity averaged 35.95% with high variability (deviation of 15.78%), while indoor humidity was more controlled, with a mean of 27.45% and deviation of 2.39%, reflecting indoor thermal stability versus outdoor conditions.

The temperature analysis in the evaluation of the efficiency of passive heating systems in cold-dry climates indicates that, during the day, the Agrofilm Passive Heating System (PACS) reached an average temperature of 23.96°C, exceeding the standard of 20°C of the A110 norm ( $p < 0.001$ ), demonstrating its efficiency in cold climates. The Recycled PET Passive Heating System (RCPS) recorded an average temperature of 19.64°C, close to the standard ( $p = 0.583$ ), suggesting a thermally neutral environment, suitable for balancing efficiency and cost. In the afternoon, both APHS and PPHS and the Control Group (GP) exceeded 20°C, with APHS reaching 26.62°C ( $p < 0.001$ ). However, in the morning and evening, no module-maintained temperatures above 20°C. Although APHS and PPHS showed better performance than GP, they all fell below the standard, evidencing the difficulty of maintaining heat without sufficient solar radiation. This underscores the thermal limitations of full-scale housing.

The performance of the APHS is shown in Fig. 3a morning, 3c afternoon, and the PPHS in Fig. 3b morning, 3d afternoon. Both systems were evaluated in terms of temperature and relative humidity. Whereas, the analysis of relative humidity, with a standard of 40%, showed that neither module reached adequate levels. The PPHS had lower humidity deficits (-7.96% in the morning and -13.56% in the evening,  $p < 0.001$ ), but was still insufficient, indicating the need to improve moisture retention. Although APHS complies with daytime and evening temperature regulations, both systems require

improvements to maintain adequate performance in periods of lower solar radiation and humidity management to fully comply with A110.

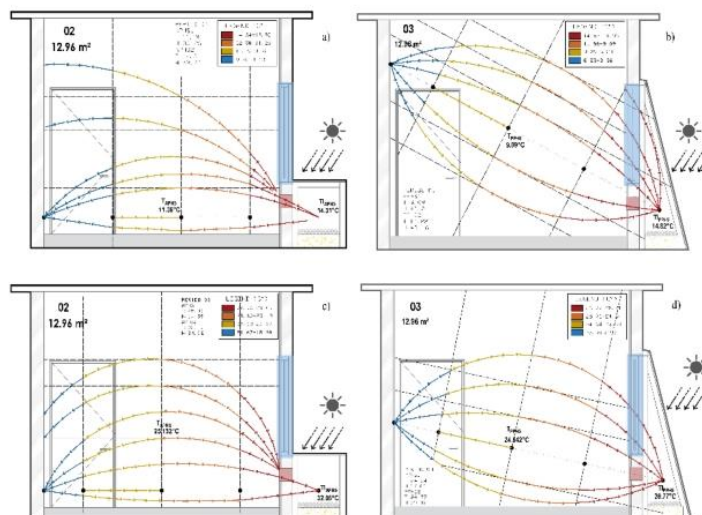


Fig. 3. Thermal operation diagram of the APHS (a, c) and PPHS (b, d) and thermal behavior in the Morning (a, b) and Afternoon (c, d).

### 3.2.1 Thermal Efficiency (Temperature - Humidity)

To determine their thermal efficiency, to temperature, in the morning, a significant difference was observed in the mean temperatures. The Control Group (CG) recorded a mean temperature of 9.77°C, while the Agrofilm Module (APHS) and PET Module (PPHS) reached 13.10°C and 12.25°C, respectively. These differences were statistically significant ( $p < 0.001$ ), suggesting that both modules provide a more thermally favorable environment than the CG, with the APHS achieving slightly higher temperatures. As the day progressed, the differences became more pronounced. The CG maintained 16.79°C, while the APHS reached 23.96°C and the PPHS 19.64°C, both significantly higher than the CG ( $p < 0.001$ ). These results underscore the effectiveness of APHS in maintaining warmer temperatures during the day, improving thermal comfort. In the afternoon, mean temperatures were equalized, with CG recording 25.99°C, APHS 25.13°C, and PPHS 24.64°C, with no significant differences ( $p > 0.05$ ). This suggests that, as the day progresses, thermal differences attenuate due to the higher incidence of solar radiation and thermal stabilization of the materials. At night, CG maintained 15.40°C, while APHS recorded 13.58°C ( $p = 0.002$ ), indicating that APHS loses heat faster. In contrast, PPHS showed 14.99°C, with no significant difference compared to CG ( $p = 0.398$ ), suggesting better heat retention in PPHS.

Regarding relative humidity, in the morning, CG recorded 24.76%, APHS 27.75%, and PPHS 32.04%, the latter being significantly higher ( $p < 0.05$ ). During the day, APHS maintained a drier environment with 20.86%, compared to CG (26.90%) and



PPHS (28.28%) ( $p < 0.001$ ). In the afternoon, APHS continued at 19.93%, compared to 24.78% for CG and 23.50% for PPHS ( $p < 0.001$ ), in the evening, differences in humidity levels stabilized and were not significant ( $p > 0.05$ ), with CG registering 25.82%, APHS 25.58%, and PPHS 26.44%.

### 3.2.2 Thermal Effectiveness (Comparative Analysis)

The results of this study confirm the effectiveness of passive heating systems in cold and dry climates, as observed in the APHS and PPHS. The APHS, which captures 85% to 90% of solar radiation, maintains high thermal efficiency during the day, crucial for comfort in extreme conditions. This performance coincides with the findings of [9], who emphasize the need to adapt passive solar heating for high Andean areas. Also, [21] has shown that passive solar technologies, such as Trombe walls in Chile, reduce energy demand and improve comfort, aligning with the APHS efficiency observed here. However, APHS efficiency decreases under cloud cover and snow accumulation, which limits its performance in variable climates, as also noted by [22], who advocate increasing PV capacity in regions with high solar potential. PPHS, although less efficient in capturing solar radiation, showed better heat retention and durability, crucial for long-term applications, in line with that reported by [23], who underlined the importance of thermal storage in improving energy efficiency. Economically, APHS is more viable for projects with limited budgets, ideal for rural communities or subsidized programs, as suggested by [24] in the western Himalayan region. PPHS, with higher durability and lower maintenance, is better for long-term sustainable applications, as discussed by [25] in Chile, and [26] in India, who highlight the importance of passive design in optimizing indoor temperature. The effectiveness of these solutions can be further enhanced with flexible ventilation and optimized glazing [27].

## 4 Conclusion

Analysis of two types of solar collectors designed for cold and dry climates reveals key differences in efficiency and applicability. The APHS captures 85-90% of the available solar energy, but its performance decreases in high cloud or snow conditions. In contrast, the PPHS, which captures 75%-80% of solar irradiance, excels in heat retention and durability thanks to the structure of the bottles and their adjustable tilt, optimizing collection according to latitude. Economically, APHS is viable for projects with limited budgets and quick implementation, ideal for rural communities or subsidy programs. Although the PPHS has a higher initial cost and is more complex to construct, it offers durability and lower maintenance, being more suitable for long-term applications in environments where sustainability is crucial. The study evidences the feasibility of innovative passive heating solutions as sustainable alternatives to improve thermal comfort in dry cold climate urban dwellings, highlighting the role of passive systems in sustainable cities in the face of climate change. However, further research is recommended to optimize the materials of both collectors in environments with high cloud cover and solid precipitation.



## References

1. Ganesh, G. A., Sinha, S. L., Verma, T. N., & Dewangan, S. K. (2021). Investigation of indoor environment quality and factors affecting human comfort: A critical review. *Building and Environment*, 204(108146), 108146. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108146>
2. Rodrigues, E., Parente, J., & Fernandes, M. S. (2024). Building for tomorrow: Analyzing ideal thermal transmittances in the face of climate change in Brazil. *Applied Energy*, 355(122360), 122360. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122360>
3. Heim, D., & Knera, D. (2021). A novel photometric method for the determination of reflected solar irradiance in the built environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137(110451), 110451. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110451>
4. Baquero Larriva, M. T. (2021). Confort térmico y acústico para la tercera edad en espacios públicos de la ciudad consolidada del clima mediterráneo continental: caso de estudio barrio Arapiles, Madrid. *Arquitectura*. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.67079>.
5. Cañibano, A., & Confalone, A. (2020). Los conocimientos previos matemáticos en otras ciencias: caso de la irradiancia solar en agrometeorología. *Revista Épsilon*, 105, 59–65. <http://funes.uniandes.edu.co/23924/>
6. Parreño, J., Lara, O., Jumbo, R., Caicedo, H., & Sarzosa, D. (2020). Diseño de un módulo de energía solar como estrategia de ahorro energético y disminución de la emisión de CO<sub>2</sub>. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 2(15), 4-18. <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2849>
7. Toroxel, J. L., & Silva, S. M. (2024). A review of passive solar heating and cooling technologies based on bioclimatic and vernacular architecture. *Energies*, 17(5), 1006. <https://doi.org/10.3390/en17051006>
8. Lamrani Alaoui, A., Amrani, A.-I., Alami Merrouni, A., Salhi, J.-E., Boulterhcha, O., Daoudia, A., El Hassouani, Y., Chaabelasri, E., & Halimi, M. (2023). Thermal and energy efficiency study of passive heating and cooling systems in Morocco's cold desert climate. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 6(100355), 100355. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100355>
9. 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), 112757. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112757>
10. Dursun, D., & Yavaş, M. (2024). Chasing comfort in the chill: Simulating the impact of opened streamlines on microclimatic conditions, thermal comfort and building facades in cold climate cities. *Sustainability*, 16(5), 2138. <https://doi.org/10.3390/su16052138>
11. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). Análisis del periodo de bajas temperaturas mayo – setiembre 2021 a nivel nacional. Informe Técnico. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1760>
12. Quiñonez Choquecota, J., Huanca Callata, E., & Holguino Huarza, A. (2019). Caracterización del recurso eólico en la ciudad de Juliaca. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 21(1), 57–68. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.445>
13. Aucapuri Figueroa, J., Caviades Villa, Y., Chura Quispe, G. E., & Zanabria Acuña, A. (2018). Planeamiento estratégico del Distrito de Juliaca. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/11753>
14. Aquino Larico, E. R., & SINACE S.A.C. *Proyectos en Energía Solar*. (2018). Determinación de la Energía Solar para el Diseño Bioclimático de Viviendas en la Ciudad de Juliaca Región Puno. *Revista de Investigaciones*, 7(1), 410–421. <https://doi.org/10.26788/riepg.2018.1.66>



15. Omeiza, L. A., Abid, M., Dhanasekaran, A., Subramanian, Y., Raj, V., Kozak, K., Mamudu, U., & Azad, A. K. (2023). Application of solar thermal collectors for energy consumption in public buildings – An updated technical review. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.09.011>
16. Galarza, C. A. R. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciaAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 9(3), 1–6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746475>
17. Martínez García, A. J., Estrada Cahuapaza, Y. R., Marín Mamani, G., Enriquez Mamani, V., Cotacallapa Ochoa, K. L., & Curro Pérez, F. (2023). Thermal evaluation of a rustic building prototype at 1/5 scale with vegetal envelope during the winter in southern Peru. *Data & Metadata*. <https://doi.org/10.56294/dm202334>
18. Mamani, G. M., Paucara, E. M., Condori, J. A. L., Mamani, V. E., & Espinoza, N. B. (2023). Construction of a low-cost solar air collector prototype for heating Andean houses. In *Smart Innovation, Systems and Technologies* (pp. 180–188). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2_18)
19. Mwango, A., & Kambole, C. (2019). Engineering characteristics and potential increased utilisation of sawdust composites in construction—A review. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 07(03), 59–88. <https://doi.org/10.4236/jbcpr.2019.73005>
20. Jiménez-Dianderas, G. C., Montoya Robles, T. del P., & Loayza León, S. (2024). De la “Quesana” tradicional a un sistema modular de paneles aislantes de Totorá. *Revista de Arquitectura*, 26(1), 125–146. <https://doi.org/10.14718/revarq.2024.26.4578>
21. Agurto, L., Allacker, K., Fissore, A., Agurto, C., De Troyer, F.: Design and experimental study of a low-cost prefab Trombe wall to improve indoor temperatures in social housing in the Biobio region in Chile. *Solar Energy*. 198, 704–721 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.003>.
22. Bensehla, S., Lazri, Y., Brito, M.C.: Solar potential of urban forms of a cold semi-arid city in Algeria in the present and future climate. *Energy for Sustainable Development*. 62, 151–162 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.04.004>.
23. Lu, S., Zheng, J., Wang, R., Zhu, J.: Thermal performance research on a novel coupled heating system combined solar air heater with ventilation PCM wall. *Solar Energy*. 265, 112100 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112100>.
24. Chandel, R., Chandel, S.S., Prasad, D., Dwivedi, R.P.: Sustainable passive solar and photovoltaic integrated technology interventions for climate responsive net zero energy buildings in western Himalayan mountainous terrain of India. *Next Sustainability*. 3, 100039 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2024.100039>.
25. Larrea-Sáez, L., Muñoz, E., Cuevas, C., Casas-Ledón, Y.: Optimizing insulation and heating systems for social housing in Chile: Insights for sustainable energy policies. *Energy*. 290, 130024 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130024>.
26. Tungnung, K.: Parametric strategy on passive design affordances in cool-humid climate zones of North-East India. *Solar Energy*. 207, 1–9 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.024>.
27. Wang, N., Ghaeili, N., Wang, J., Feng, Y., Zhang, E., Chen, C.: Using architectural glazing systems to harness solar thermal potential for energy savings and indoor comfort. *Renewable Energy*. 219, 119436 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119436>.





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo KEYSI ZENAIDA HUANCA CHOQUEHUANCA,  
identificado con DNI 73224692 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

" INCIDENCIA DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN EL CONFORT TÉRMICO  
PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN  
PASIVA EN VIVIENDA URBANA DE CLIMA FRÍO-SECO "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 10 de DICIEMBRE del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo KENSI ZENAIDA HUANCA CHOQUEHUANCA,  
identificado con DNI 73224692 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA Y URBANISMO,  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ INCIENCIA DE LA IRRADIANCIA SOLAR EN EL CONFORT TÉRMICO PARA  
EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN PASIVA  
EN VIVIENDA URBANA DE CLIMA FRÍO - SECO ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de DICIEMBRE del 20 24

  
FIRMA (obligatoria)



Huella