



MEJORAS EN EL ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS ALTOANDINAS EN LA REGIÓN PUNO

Improvements in the thermal conditioning of high Andean homes in the Puno region

Víctor Linares Zaferson ^{1*}, Nayeli Cuéllar Cajahuaringa ¹

¹ Departamento Académico de Ordenamiento Territorial y Construcción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina, Lima, Perú

* E-mail: vlinares@lamolina.edu.pe

Recibido: 03/06/2020; Aceptado: 15/07/2022; Publicado: 31/07/2022

ABSTRACT

During the frost periods in Puno, as in other highlands regions, the most vulnerable population are children and the elderly. They suffer respiratory illnesses and death due to inadequate thermal conditioning in their homes. The objective of the research is to evaluate the thermal behavior of an "improved" housing prototype built in the Santa Rosa district (Puno) at an altitude of 3800 meters. This research propose alternatives for the improvement of thermal conditioning in the manufacture of repetitive modules. For this, it was necessary to characterize the house and continuously monitor the interior and exterior temperatures of two sample houses. The measurement was at an hour interval and during cold days, using DataLogger equipment. The evaluation of these results determined that homes lose heat due to conduction of wall, ceiling, door and window. Also, the heat is lost due to the inadequate home's orientation in sunlight and ventilation. Alternative solutions were proposed for the thermal conditioning of the "improved" house with respect to the problems encountered. It was observed that the largest area of the envelope made up of adobe walls that represents 60% of the total enclosure, and that even though this material has a low conductivity coefficient presents 77% of heat losses due to lack of a suitable coating. Through these modifications in the envelope of the improved house, it has been possible to increase the interior temperature by 1.87 °C during the hours of coldest temperatures and to maintain an average interior temperature of 14 °C

Forma de citar el artículo (Formato APA):

Linares, V., & Cuéllar, N. (2022). Mejoras en el acondicionamiento térmico de viviendas altoandinas en la región puno. *Anales Científicos*. 83(1), 18-32. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v83i1.1895>

Autor de correspondencia (*): Víctor Linares. Email: vlinares@lamolina.edu.pe

© Los autores. Publicado por la Universidad Nacional Agraria La Molina.

This is an open access article under the CC BY

Keywords: Rural housing | thermal comfort | heat exchange | thermal conditioning | heat flow.

RESUMEN

Durante los periodos de heladas en Puno, como en otras regiones altoandinas, la población más vulnerable, niños y ancianos, sufren problemas bronco-respiratorios y muerte por el inadecuado acondicionamiento térmico de sus viviendas. El objetivo de la investigación es evaluar el comportamiento térmico de un prototipo de vivienda “mejorada” construida en el distrito Santa Rosa (Puno) a 3800 m.s.n.m. y proponer alternativas para el mejoramiento del acondicionamiento térmico en la fabricación de módulos repetitivos. Para lo cual, se realizó el monitoreo de temperaturas interiores y exteriores de viviendas de manera continua en dos muestras durante días fríos con un intervalo de una hora utilizando equipos DataLogger, complementariamente se realizó un levantamiento físico de las viviendas. La evaluación de estos resultados determinó que las viviendas pierden calor por conducción de materiales de muros, techos, puertas y ventanas y a la inadecuada orientación de estas por asoleamiento y ventilación. Se plantearon alternativas de solución para el acondicionamiento térmico de la vivienda “mejorada” respecto a los problemas encontrados. Se observó que la mayor área de la envolvente compuesta por muros de adobe representa el 60% del total del cerramiento, y que, a pesar de ser un material de baja conductividad, representa el 77% de las pérdidas de calor por falta de un adecuado revoco. Considerando las modificaciones propuestas en la envolvente de la vivienda “mejorada” se ha logrado aumentar la temperatura interior en 1,87°C en las horas de más bajas temperaturas y mantener una temperatura promedio interior de 14°C.

Palabras clave: Vivienda rural | confort térmico | intercambio de calor | acondicionamiento térmico | flujo de calor.

1. INTRODUCCIÓN

Las poblaciones de las regiones altoandinas del Perú vienen siendo afectadas durante muchos años por una multiplicidad de problemas; entre ellos la pobreza y pobreza extrema (Palacios, 2008), condiciones ambientales con baja temperatura, especialmente en épocas de “heladas”, que se ven incrementadas por efectos del cambio climático (Zarate y Miranda, 2016) y la poca educación y capacitación de sus pobladores (Oviedo, 2019). Estos problemas se ven reflejados en la precariedad de sus viviendas y las malas condiciones para enfrentar su supervivencia debido a la naturaleza de su hábitat y del confort térmico que no les permite cobijarse adecuadamente (Espinoza et al., 2009). La población más vulnerable debido al problema del friaje son los adultos mayores y niños que según el Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2017) representan el 34,2% de la población censada en Puno y el 14,4% del área rural viven en viviendas del tipo cabañas. Muchas de sus autoconstrucciones siguen patrones que son consecuencia de la herencia familiar de generación en generación y del conocimiento tradicional que en la mayoría de los casos no realiza óptimos procedimientos constructivos con soluciones de aislamiento térmico adecuado y en muchos casos no

aplican conceptos para la adecuación bioclimática respecto a la orientación debido al sol y el viento. Candy et al. (2012), estudió soluciones para conseguir temperaturas de confort en Nepal, y comprobó que los materiales naturales y estrategias en diseño reducen las pérdidas de calor en invernaderos consiguiendo un incremento de 3,5°C respecto a las temperaturas frías de la noche. Otros estudios respecto al análisis bioclimático (Rincón y Fuentes, 2014) determinaron la importancia de mejores espacios dignos, cómodos y saludables para el bienestar familiar.

En el Perú existen estudios aislados para la mejora de la vivienda rural tales como: “viviendas saludables” realizado por el Ministerio de Salud (MINSA) y la empresa privada (Araujo y Gross, 2011), el “grupo PUCP” realiza proyectos tecnológicos para mejorar la calidad de vida de la población rural como “K’oñichuyawasi - Casa Caliente”, pero por otro lado existe una débil política del estado peruano que integre propuestas respecto a la vivienda en el medio rural. Según indicadores respecto a diagnóstico de brechas del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) para la programación multianual 2021-2023, el porcentaje de brechas para la población rural de Puno sin acceso al servicio de agua potable mediante red

pública o pileta llega al 54,73%, el porcentaje de la población rural sin acceso al servicio de disposición sanitaria de excretas y servicio de alcantarillado llega al 66,91% y el porcentaje de predios urbanos sin catastro llega al 93,02% (MVCS, 2020).

El gobierno peruano a través del Programa Nacional de Vivienda Rural (PNVR) del MVCS, ha construido unidades habitacionales en regiones afectadas por heladas y friajes para poblaciones altoandinas vulnerables con pobreza y pobreza extrema con el propósito de lograr mejores condiciones térmicas y de salud en su hábitat (Reynoso, 2019). Con la finalidad de conocer los resultados del PNVR y aportar con la mejora de su intervención, se elaboró un estudio para evaluar el comportamiento térmico de las unidades habitacionales conocidas como viviendas “mejoradas” construidas en el distrito Santa Rosa (Puno) a 3800 m.s.n.m.

La investigación comprende el estudio de una vivienda “mejorada” y una vivienda local de un centro poblado de Santa Rosa (Puno, Perú) con características de área y volumen similar. El estudio de la vivienda local se utilizó como referente comparativo en la investigación. Una primera etapa del trabajo corresponde a la caracterización de las viviendas, monitoreo de temperatura y recolección de data meteorológica. La metodología considera evaluaciones por orientación del recorrido aparente del sol, ventilación e intercambio térmico entre el exterior e interior de la vivienda en función de la forma y materiales de la envolvente. El análisis realizado mediante una modelación permitió identificar deficiencias y necesidades del edificio con relación a la transferencia térmica de los materiales y su forma. Considerando este análisis, se replanteó el modelo aplicando medidas correctivas en busca de la temperatura de confort (Castañeda, 2013) al interior de la vivienda “mejorada” en la época monitoreada.

La finalidad del trabajo fue proponer medidas correctivas en las nuevas construcciones de los modelos de la vivienda “mejorada”, y con ello, contribuir en la mejora de los diseños y proyectos de futuras construcciones de viviendas que pueda realizar el MVCS en beneficio de la población vulnerable y el perfeccionamiento de la política de vivienda rural en el Perú. Permitirá también la reducción de los índices de morbilidad y mortalidad por afecciones bronco-

respiratorias de la población altoandina (Eccles y Wilkinson, 2015), al alcanzar condiciones de confort térmico en sus viviendas.

El objetivo principal del trabajo es la evaluación del comportamiento térmico de viviendas “mejoradas” ubicadas en el centro poblado “Buena Vista” del distrito Santa Rosa (Puno, Perú), la identificación de problemas de acondicionamiento ambiental, proponer las correcciones constructivas con la finalidad de optimizar la transferencia térmica, y así reproducir los módulos de vivienda “mejoradas” estudiados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Viviendas en estudio

Se realizó la evaluación térmica de dos viviendas, durante el mes de octubre, elegidas como muestras representativas: una vivienda mejorada (Muestra 1) y una vivienda local (Muestra 2), ubicadas en el centro poblado “Buena Vista” del departamento Puno, seleccionadas por su semejanza en cuanto a dimensiones, orientación con respecto al norte magnético, condiciones de distanciamiento con otras construcciones, cantidad de personas que las ocupaban y actividad realizada dentro de las viviendas. Son viviendas de carácter económico-social, están compuestas por un solo ambiente y sirven de resguardo con respecto al entorno a pobladores en pobreza y pobreza extrema.



Figura 1. Muestra 1 - Vivienda mejorada



Figura 2. Muestra 2 - Vivienda Local

Muestra 1: vivienda mejorada

A una altitud de 3963 m.s.n.m., latitud 14°40'2''S y longitud 70°47'3''O; esta vivienda es habitada por una familia compuesta por dos padres y dos hijos. Durante los días de monitoreo, la vivienda es ocupada desde las 6 p.m. hasta las 6 a.m. para dormir y un tiempo de dos horas para reposar después del almuerzo.

La estructura es de muros portantes con unidades de albañilería de adobe de 38x38x10 cm. compuesto de tierra tamizada con malla de N°4 ASTM y mezclado con paja local (Ichu) en proporción 2:1 en volumen. El muro incluye tarrajeo interno y externo de yeso de 1 cm. La altura máxima del techo es de 3,33 m. a la cumbrera interna, parte más alta del encuentro de viguetas, que parten desde el nivel 2,29 m. Los techos están compuestos con viguetas de madera, planchas de Triplay de 4 mm y planchas de poliestireno expandido de 5 cm de espesor con una densidad de 20kg/m³ y una cobertura de calamina galvanizada con espesor de 0,30 mm. La puerta es contraplacada, tiene la cara exterior de madera machihembrada con un espesor de 3/4'' de pulgada, y la cara interior es de triplay fenólico de 4 mm. de espesor, el espacio intermedio este relleno con poliestireno expandido de 1'' pulgada de espesor. Las ventanas son hojas con bastidores de madera, teniendo un área con doble vidrio de 4 mm de espesor. Los pisos de madera machihembrada de 1'' pulgada de espesor, apoyados sobre durmientes de madera, incorporando entre éste y el terreno compactado, una plancha de poliestireno expandido de 5 cm de espesor, una cámara de aire de 12 mm y una lámina de polipropileno, para aislamiento de la humedad. El área del ambiente es de 4,20 x 3,60 m². Es relevante indicar que la orientación

de la puerta y una de las ventanas es hacia el sur y la otra ventana, hacia el norte; en tanto que, el eje longitudinal del módulo está orientado de este a oeste. La corriente predominante del viento proviene del sur y sur oeste con una velocidad promedio entre 2.1 y 3.6 m/seg. La familia dispone de un foco ahorrador de 20 watts, el cual está encendido un promedio de 4 horas durante la noche normalmente. (figura 1)

Muestra 2: vivienda local

A una altitud de 3965 m.s.n.m., latitud 14°39'48''S y longitud 70°46'34''O; esta vivienda es habitada por una familia compuesta por dos padres y un hijo; y durante los días de monitoreo, la vivienda es ocupada desde las 8 p.m. hasta las 5 a.m. para dormir y una hora de reposo después del almuerzo.

La vivienda está construida con muros compuestos por unidades de albañilería de adobe tradicional, consiguiendo un espesor de muro de 25 cm, recubierto por una capa de barro y paja de 2,5 cm tanto al interior como al exterior del mismo. El muro alcanza una altura máxima de 2,50 m. en la parte central y más alta del ambiente, teniendo una altura de 2.18 m. en las partes más bajas. El techo está compuesto por viguetas de madera rolliza de eucalipto y correas de caña brava, que reciben una cubierta de paja del lugar (ichu) de 0,10 m de espesor que es renovado cada vez que es necesario cuando es afectado por los vientos y lluvias de la zona. La puerta es de bastidores de madera maciza con tableros de 2,5 cm de espesor, con orientación hacia el sur. Las ventanas tienen marco de perfiles metálicos y son de vidrio simple, protegidos interiormente con planchas de cartón rudimentario para lograr aislamiento térmico, tienen una dimensión de 0,66 x 0,50 m. y una orientación hacia el este y el oeste. El ambiente tiene una dimensión de 5,00 x 2,44 m. el cual se orienta con el eje longitudinal de la vivienda de este a oeste. Es importante mencionar que el piso del ambiente es de tierra compactada y que disponen de energía eléctrica, por lo que, utilizan iluminación mediante un foco incandescente, el cual es empleado por un tiempo promedio de 4 horas durante la noche, consumen energía eléctrica también para el funcionamiento de un pequeño televisor de 15'' utilizado para su distracción durante un lapso promedio de una hora. (Figura 2).

2.2. Metodología del trabajo

Para evaluar el prototipo de vivienda, la metodología utilizada planteó una primera parte de carácter cualitativo para estudiar la orientación de las caras de la envolvente en base a la incidencia solar y la procedencia de las corrientes de viento en la zona de estudio. Una segunda parte de carácter cuantitativo para determinar el balance de las ganancias y pérdidas térmicas de la edificación con relación al medio que la rodea. Se realizó mediante una modelación matemática basada en el método de cálculo térmico de Koenisberger (1977).

Se consideró estudiar una muestra de una vivienda local, además del prototipo de la vivienda mejorada que es el objeto de estudio, para tomarla como referencia en el trabajo de evaluación, con similares características a la vivienda “mejorada”. La vivienda local muestra el conocimiento tradicional basado en el ensayo-error. Se

recopiló data meteorológica de 10 años de la provincia Melgar, planos del módulo de la vivienda mejorada e información in situ como la caracterización de las viviendas en base a condiciones de semejanza y mediante inspección visual: materiales utilizados, sistemas constructivos, uso, mobiliario y costumbres. Se midió la orientación mediante una brújula y la altitud sobre el nivel del mar con un GPS. Se monitoreó temperatura mediante equipos “Dataloggers” en tres ubicaciones: al interior de cada vivienda, de forma equidistante a muros, techos, pisos y en el medio exterior protegidas de la lluvia y bajo sombra. Estas mediciones representativas fueron tomadas en lapsos de una hora y durante cuatro días continuos, que procesadas en curvas de temperatura se extrapoló con la data meteorológica para obtener una visión del problema térmico global.

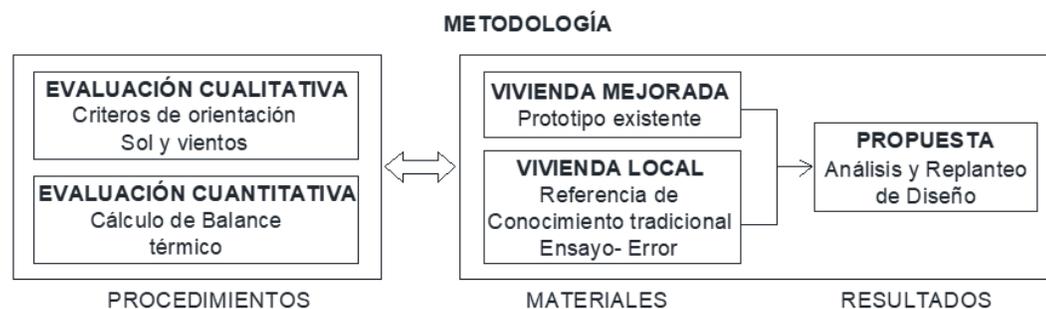


Figura 3. Esquema de metodología.

Se realizó las siguientes evaluaciones:

a) Evaluación de la orientación:

En base a la proyección ortogonal del recorrido aparente del sol, se analizó la incidencia sobre la envolvente, para hallar la mejor oportunidad de ganancia solar. Este análisis preliminar evaluó la ubicación de las pantallas de transferencia térmica (muros) y las aberturas de vanos favorables para la ganancia térmica de la edificación.

La rosa de vientos, muestreo la frecuencia de vientos predominantes mediante la cual se evaluó la correcta orientación para proteger la envolvente de la vivienda: muros, techos, puertas y ventanas.

b) Evaluación del balance térmico:

Este método aplicado por Koenisberger et. al (1977) consistió en calcular la ganancia o pérdida de calor al interior de las viviendas con respecto a la temperatura

ambiental, ocasionado por la producción de calor interno (personas y/o artefactos), y la transferencia de calor por radiación solar, conducción y convección, en el que la suma de estos es cero si existe el equilibrio térmico; sin embargo, si es menor o mayor que cero indica las necesidades de calefacción o enfriamiento del edificio.

Análisis de resultados

Se analizó las incidencias del asoleamiento y las corrientes de viento sobre la edificación y las causas del resultado obtenido del balance térmico relativo al calor interno, flujo de calor por radiación solar, conducción y convección.

Replanteo

Las incidencias del sol y el viento deberán ser corregidas en función del análisis de resultados. De otro lado si el resultado del análisis de las viviendas muestra un balance térmico que no es igual a cero, es

decir, indica que está en desequilibrio con el medio exterior y no se ha logrado conseguir el confort térmico, se plantea alternativas correctivas para mejorar la eficiencia térmica.

2.3. Método del cálculo térmico

Koenisberger et al. (1977) explica que “el concepto de intercambio térmico se puede analizar como un estado de cuentas en el que el saldo final debe ser cero para que todo marche bien. Entonces se dice que el balance térmico entre el individuo y su entorno está en equilibrio”. La expresión que describe este comportamiento es:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_m - Q_e = 0$$

Ganancia interna de calor (Qi)

Esta ganancia de calor (medida en watt) se debe a la emisión calorífica del cuerpo humano, lámparas o artefactos que consuman energía y éste sea liberado en forma de calor.

El desprendimiento de calor de un cuerpo (dentro de un edificio) es un aporte de calor para la edificación. En consecuencia, se selecciona la tasa de calor desprendido y se multiplica por el número de ocupantes. Además, debe considerarse como un aporte interno de calor la cantidad total de emisión de energía de las lámparas eléctricas, la mayor parte de esta energía se emite en forma de calor (95% para las lámparas incandescentes y 79% para las fluorescentes) y la parte emitida como luz, cuando incide en las superficies se convertirá en calor; es decir, hay que añadir la potencia total en vatios (watt) de todas las lámparas y/o artefactos eléctricos del edificio (cuando estén encendidas) a la Qi. (Koenisberger et al., 1977).

Calor por radiación solar (Qs)

Estudios realizados por Koenisberger et al. (1977) sobre el calor obtenido por radiación solar a través de las ventanas, demuestran que si se conoce la intensidad de la radiación solar (I) que incide sobre el plano de la ventana, habrá que multiplicarla por el área del hueco (m²) para obtener el flujo calorífico en watt. Este resultado se cumple para aberturas sin cristal.

Y para ventanas con cristales, se reduce este valor por medio de un factor de ganancia solar (θ) que depende

de la calidad del cristal y del ángulo de incidencia. Por consiguiente, la ecuación del flujo calorífico solar queda establecida:

$$Q_s = A \times I \times \theta \times t$$

Donde:

Qs: Radiación solar a través de las ventanas, en watt.hora/día

A: Área de la ventana, en m²

I: Densidad de flujo calorífico, en watt/m²

θ : Factor de ganancia solar del cristal de la ventana, en número decimal

t: Tiempo, en horas

Calor por conducción (Qc):

Se transmite a través del techo, muros, puertas, ventanas e incluso del piso. Según Rozis y Guinebault (1997) “el intercambio con el suelo se define teniendo como temperatura a 10 metros de profundidad la temperatura promedio anual del lugar considerado”. La pérdida por conducción representa la mayor parte de la pérdida calorífica total y es causada por las diferencias entre la temperatura exterior e interior, el coeficiente de transmisión de calor que existe en cualquier material y la cantidad de superficie frente al exterior, lo que se ve reflejado en la siguiente ecuación. (Hertz, 1981).

$$Q_c = A \times U \times \Delta T$$

Donde:

A: Área, en m²

U: Transmitancia, en watt/m² °C

ΔT : Diferencia de temperaturas, en °C

Esta ecuación se cumple en régimen estacionario, es decir, si la temperatura exterior e interior son constantes. Sin embargo, en la naturaleza, la variación de las condiciones climáticas da lugar a un estado periódico en el que las variaciones diarias producen un ciclo que se repite cada veinticuatro horas de aumento y descenso de temperaturas. Koenisberger et al. (1977) explica que esto sucede cuando la primera partícula de la pared comienza a recibir calor del entorno, ésta lo transmitirá a la próxima partícula causando un tiempo de retardo (o desfase " ϕ ") y reducción del calor recibido (o atenuación de amplitud " μ ") hasta lograr traspasar el espesor del material, dicho flujo de calor se obtiene con la siguiente ecuación.

$$Q_c = A \times U \times [(T_m - T_i) + \mu(T_\phi - T_m)] ; T_\phi = T_o + \frac{I \times a}{f_o}$$

Donde:

A: Área en m²

U: Transmitancia, en watt/m² °C

T_m: Temperatura exterior media diaria, en °C

T_o: Temperatura del aire exterior, en °C

T_i: Temperatura interior (constante), en °C

T_φ: Temperatura (sol-aire) exterior φ horas antes, en °C

μ: Factor de reducción.

I: Intensidad de la radiación, en watt/m²

a: Absorbancia de la superficie.

La transmitancia térmica (U) es la inversa de la resistencia total y ésta es igual al espesor (e) entre la conductividad (λ) de los materiales que componen el elemento constructivo. Además, R_{ic} y R_{ec} es la resistencia térmica del revestimiento interno y externo, R_{UW} es la resistencia térmica del muro no revestido y R_n es la resistencia térmica de cada capa de material aislante, cámaras de aire, etc. aplicadas al muro (Morales et al. 2016).

$$U_i = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{ic} + R_{UW} + R_{n1} + \dots + R_{ni} + R_{ec}} ; R_n = \frac{e}{\lambda_n}$$

Calor por convección (Q_v)

Koenisberger et al. (1977) explica que el flujo calorífico por convección entre el interior de un edificio y el aire libre depende de la ventilación, es decir del intercambio de aire que se debe a una infiltración de aire involuntario o a una ventilación deliberada. La siguiente ecuación describe el flujo de calor que se pierde a través de aberturas alrededor de puertas y ventanas.

$$Q_v = 0,335 \times V \times C \times \Delta T$$

Donde:

Q_v: Medida del flujo por calorífico de ventilación, en watt

V: Volumen del ambiente interior, en m³

C: Números de cambios por hora, que depende de los lados con aberturas

ΔT: Diferencia de temperaturas, en °C.

En cuanto a mecanismos de intercambio de calor por controles mecánicos (Q_m) se asumió cero debido a que las viviendas evaluadas no presentan sistemas de refrigeración o de calefacción; y respecto a la evaporación (Q_e) Koenisberger et al. (1977) considera que “Normalmente en los cálculos no se tiene en cuenta la pérdida de calor por evaporación (excepto en las instalaciones mecánicas)”.

3. RESULTADOS

3.1. Analisis de resultados

La curva de temperatura ambiental (Figura 4) muestra inversión térmica después de picos máximos al mediodía y mínimos a las 5 a.m. siendo la temperatura promedio ambiental 11,48 °C. Las curvas de temperatura interior de la vivienda mejorada reflejan una tendencia lineal debido a los materiales que componen a la envolvente, con un amortiguamiento en promedio de 7 °C. Las temperaturas promedio de la vivienda mejorada fue de 12,62 °C y de la vivienda local 12,67 °C; cifras menores a la temperatura de confort 14 °C para regiones frías según Koenisberger et al. (1977). El comportamiento interior de las temperaturas promedio de ambas muestras son muy semejantes, teniendo una diferencia máxima de 6 grados entre la temperatura máxima y la mínima, mientras que en el exterior existe una diferencia máxima de 28 grados en ese mismo rango.

Evaluación de la orientación

La evaluación corresponde a una latitud 14,667° S y recorrido solar de un año completo (Figura 5) mostrándose el solsticio de verano (22 diciembre) y solsticio de invierno (22 junio).

La figura 7 muestra que la vivienda mejorada no está orientada correctamente. La incidencia solar de las mañanas y las tardes en orientación este y oeste actúan sobre las menores áreas de muros y no presentan ventanas en esta orientación. La vivienda local muestra una correcta orientación de las ventanas para recibir radiación solar de las mañanas y las tardes, pero por otro lado no ofrece las mayores áreas de muros en este sentido.

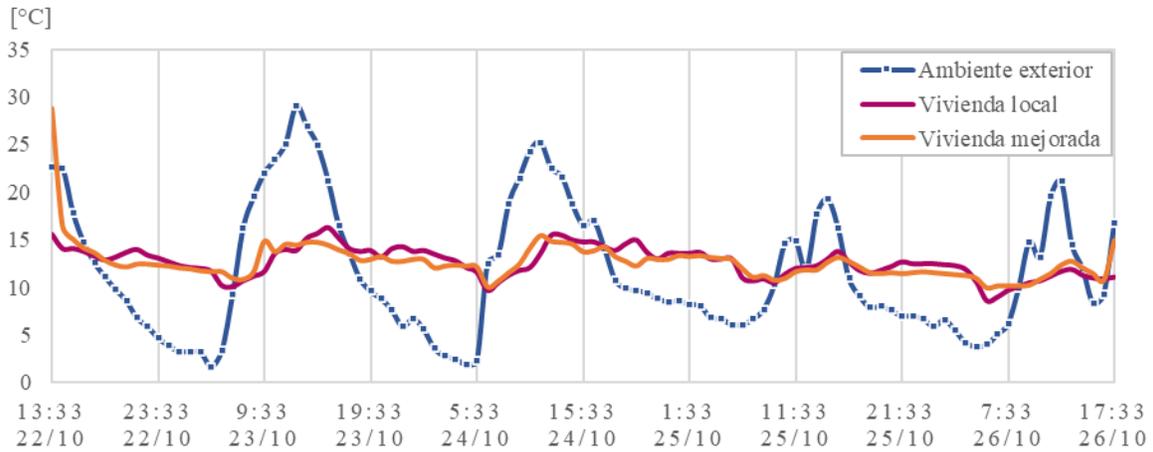


Figura 4. Temperaturas registradas en campo.

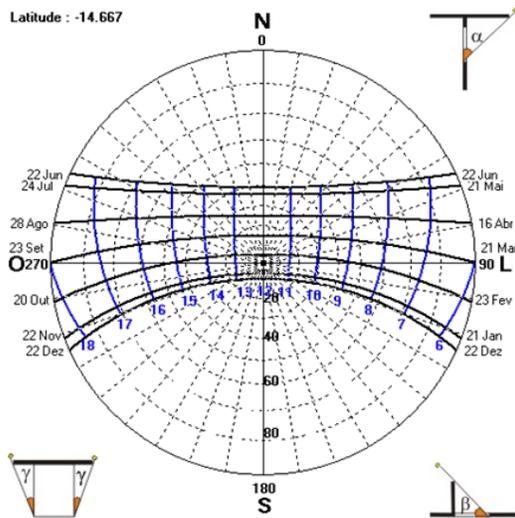


Figura 5. Proyección solar de Puno.

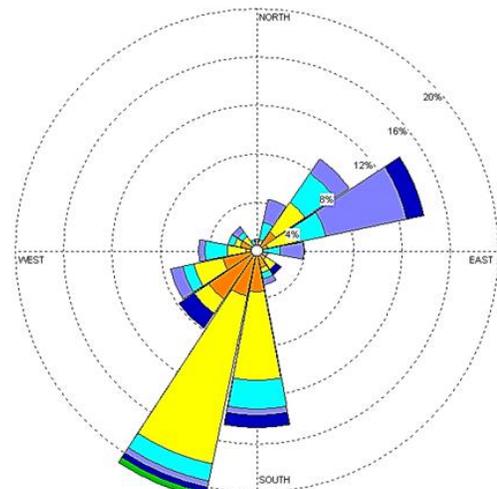


Figura 6. Rosa de vientos de Puno.

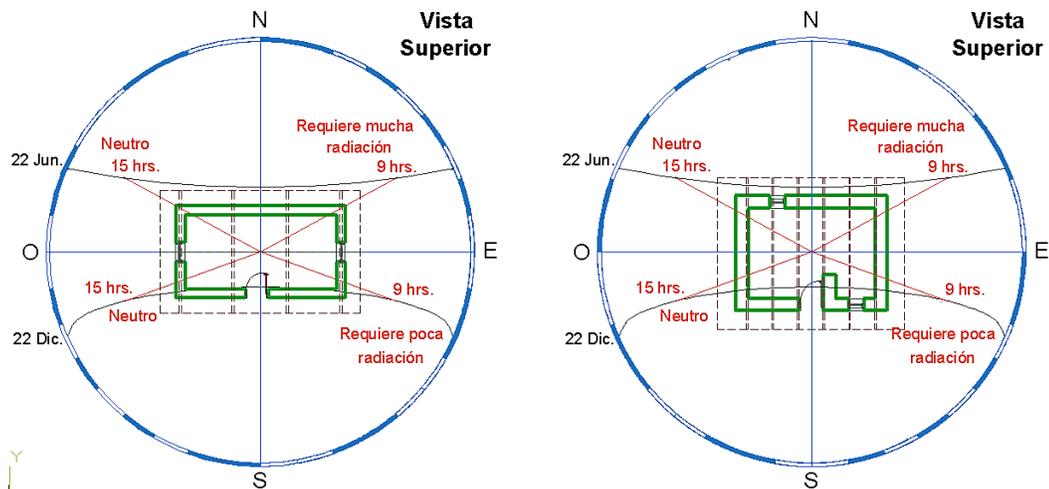


Figura 7. Orientación de la vivienda local (Izq.) y la vivienda mejorada (Der.).

Respecto a las corrientes de viento en la fecha evaluada, la rosa de vientos (Figura 6) indica que provienen del noreste y suroeste con mayor frecuencia y velocidad. La vivienda mejorada presenta mayor vulnerabilidad para una ventana en orientación sur, mientras la vivienda local no presenta ventanas en esta orientación. Ambas muestras tienen sus puertas ubicadas en dirección sur, lo cual no es una buena orientación pues enfrenta predominantes corrientes de viento.

Evaluación del balance térmico:

El balance térmico (Tabla 1) muestra que las viviendas pierden calor principalmente por conducción a través de los materiales que componen la envolvente.

Tabla 1. Balance térmico de las muestras.

	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Evaluación por:	Vivienda mejorada	Vivienda local
Calor Interno (Q_i)	4964,60	3116,75
Calor por radiación solar (Q_s)	441,78	1361,97
Calor por conducción (Q_c)	-9515,23	-9323,79
Calor por convección (Q_v)	-4438,99	-3197,67
Calor Total (watt.hr/día)	-8547,84	-8042,74

Tabla 2. Resultados del calor por conducción.

Componente	MUESTRA 1		MUESTRA 2	
	Q_c [watt.hr/día]	Por unidad de área	Q_c [watt.hr/día]	Por unidad de área
Muro	-7293,81	-193,95	-4339,58	-143,25
Techo	-1575,08	-104,59	-4104,13	-341,44
Puerta	-221,44	-148,57	-519,58	-494,84
Ventanas	-291,14	-392,16	-239,52	-362,91
Piso	-133,76	-9,04	-120,97	-9,92
Calor total	-9515,23	-848,30	-9323,79	-1352,35

A través de los muros se perdió mayor calor en la Muestra 1 a pesar de tener un mayor espesor de muro (40 cm), lo que sugiere conseguir mayor aislamiento con la utilización de otros materiales como la tierra y paja que fueron utilizados en el recubrimiento de los muros de la Muestra 2.

El techo de la Muestra 1 presentó menor pérdida por el uso de planchas de tecknopor como aislante; sin embargo, el uso de calaminas metálicas como cubierta

La evaluación comparativa de las dos muestras refleja la mayor pérdida o ganancia de calor y del análisis se determinó que las principales causas fueron:

El calor interno producido por las personas evidencia una diferencia grande (1847,85 watt.hr/día) en la ganancia de calor, como sucedió con la Muestra 1. El calor por radiación solar que ingresa a través de las ventanas es mayor cuando están orientadas hacia el oeste y este, como en la Muestra 2. La mayor pérdida por convección se debe al mayor volumen que ocupa el flujo del aire al interior de la vivienda, es decir, el volumen (15,12 m³) y altura libre de (3,3.m) de la Muestra 1, los cuales debe reducirse. La evaluación térmica por conducción considera puentes térmicos en la envolvente. El análisis por componente y unidad de área en m² (Tabla 2) determina un escenario comparativo del efecto producido por la calidad y no por la cantidad de los materiales utilizados.

exterior propicio la rápida transmisión de calor no favorable durante las noches.

Los materiales que componen la puerta de Muestra 1 mostraron una mejor alternativa al considerar aislamiento con planchas de tecknopor en el interior de su estructura. Aunque, debe considerarse la protección contra las corrientes de viento, dado su exposición directa con el medio exterior.

Las ventanas de la Muestra 2, a pesar de no tener doble vidrio como la Muestra 1, presentaron un efecto positivo debido a la protección desde el interior de la vivienda local mediante la colocación de cartón y tela durante todo el día, generando así una cámara de aire que actúa como barrera térmica según estudios de Koenisberger et al. (1977).

El piso de la Muestra 1 tiene menor pérdida de flujo de calor por m² que la Muestra 2, debido a la utilización de materiales aislantes como el tecnopor y la madera machihembrada, además implementar técnicas para generar cámaras de aire para el aislamiento, pero el resultado global tiene mayor pérdida, debido al área del piso. La Muestra 2 solo presenta un piso de tierra compactada.

Finalmente, los resultados analizados por unidad de área (Tabla 3) corroboraron que la vivienda mejorada pierde 14.24 % menos calor, debido a los materiales y técnicas aislantes utilizados. No obstante, no ha logrado alcanzar la temperatura de confort para climas fríos, entre 14 y 20 °C según Koenisberger et al. (1977), de manera que se procedió a plantear medidas correctivas para mejorar la eficiencia térmica mediante un replanteo de soluciones y el cálculo respectivo.

Tabla 3. Resultados del calor por unidad de área en las muestras evaluadas.

	MUESTRA 1	MUESTRA 2
	Vivienda mejorada	Vivienda local
Calor Total (watt)	-8547,84	-8042,74
Área (m ²)	15,12	12,20
Calor (watt/m²)	-565,33	-659,24

3.2. Replanteo

En base al análisis realizado, se planteó las siguientes medidas correctivas y de adición para el diseño y construcción de la vivienda “mejorada”:

Orientación norte - sur del eje longitudinal de la vivienda, de modo que los muros de mayor área reciban de forma directa el calor por radiación solar del día. Puerta debe orientarse hacia el oeste para evitar que las corrientes de vientos del noreste y suroeste impacten directamente. Ventanas orientadas hacia el este y oeste para el mayor ingreso de radiación solar. Colocación de

contraventanas de madera para un mejor control de salida de calor mediante su apertura durante el día y cierre durante las noches. Muros con aislamiento de planchas de tecnopor que deben ser aseguradas con una malla metálica y anclajes que permita la adhesión del mortero cemento – cal para el recubrimiento interno. Alternativamente utilización de tarrajeo de mortero de tierra con paja y una capa de acabado de tierra tamizada con arena fina y cemento.

Cubierta para el techo de planchas de poliblock (compuesto por “tecnopor” y planchas de fibras celulósicas aglomeradas con cemento) y mortero de barro con paja para la adhesión de tejas de arcilla. Añadir un falso techo o cielo raso de tela para disminuir el exceso de volumen de aire. Invertir el muro interior detrás de la puerta hacia afuera de la vivienda, y acompañarlo con uno paralelo y una puerta adicional, para generar una antesala de protección frente a los fuertes vientos y que a su vez cumpla la función de una cámara de aire. Utilización de una estufa como fuente de calor.

Con la propuesta planteada, se ha obtenido los siguientes resultados.

Evaluación de la orientación:

La corrección de orientación (Figuras 8 y 9) permite que los muros de mayor área y las ventanas orientados hacia el este y oeste, puedan recibir por más tiempo la radiación solar. Además, con la adición de una antesala y puerta orientada hacia el oeste se logra evitar filtraciones de las corrientes de viento.

Evaluación del balance térmico:

Con las medidas correctivas de la propuesta de acondicionamiento térmico, la sumatoria del balance térmico fue cero (Figura 10), es decir se logró el confort térmico (14,49 °C) en la fecha evaluada (Figura 12) y elevar la temperatura en promedio 1,87 °C más que la vivienda mejorada. Los resultados de las pérdidas por conducción que se logra reducir a través de los componentes de la envolvente y por unidad de área se muestran en la figura 11, las cuales son expuestas en discusión de resultados.

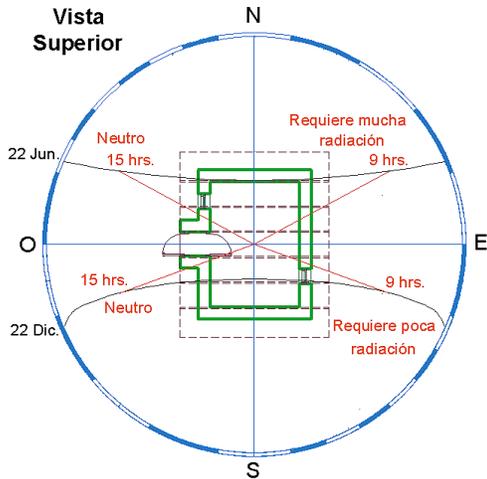


Figura 8. Estudio solar de la correcta orientación de la propuesta.

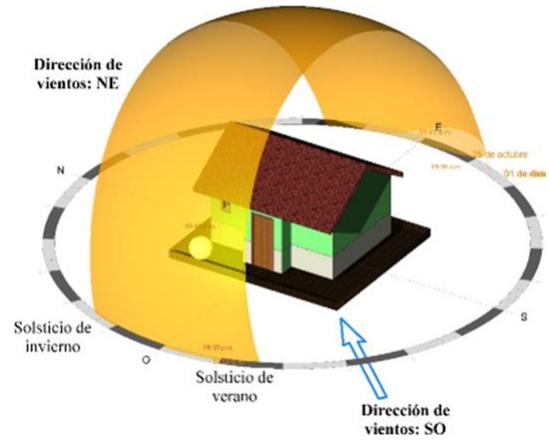


Figura 9. Bóveda celeste de Santa Rosa (Puno) para la vivienda propuesta en la latitud 14,667° S.

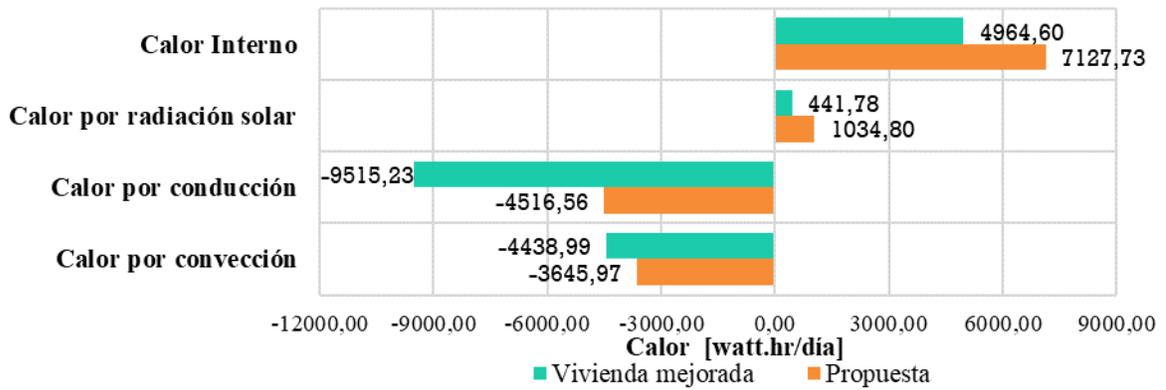


Figura 10. Resultados del balance térmico

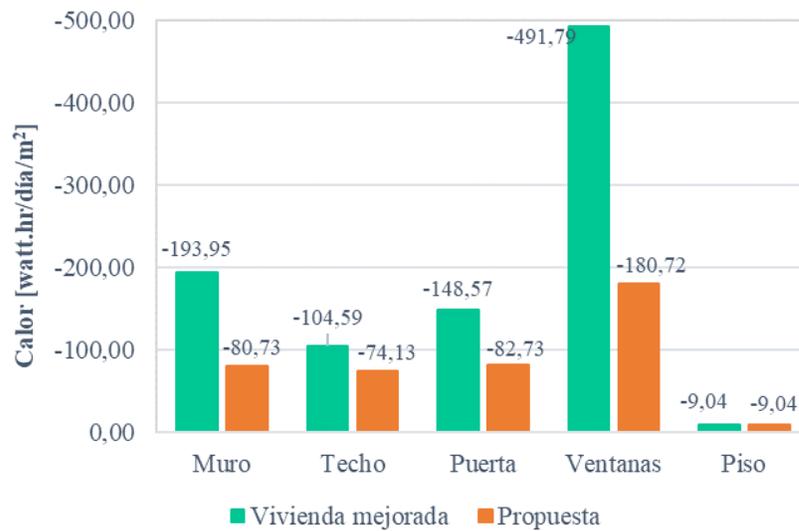


Figura 11. Pérdidas de calor por conducción de los materiales

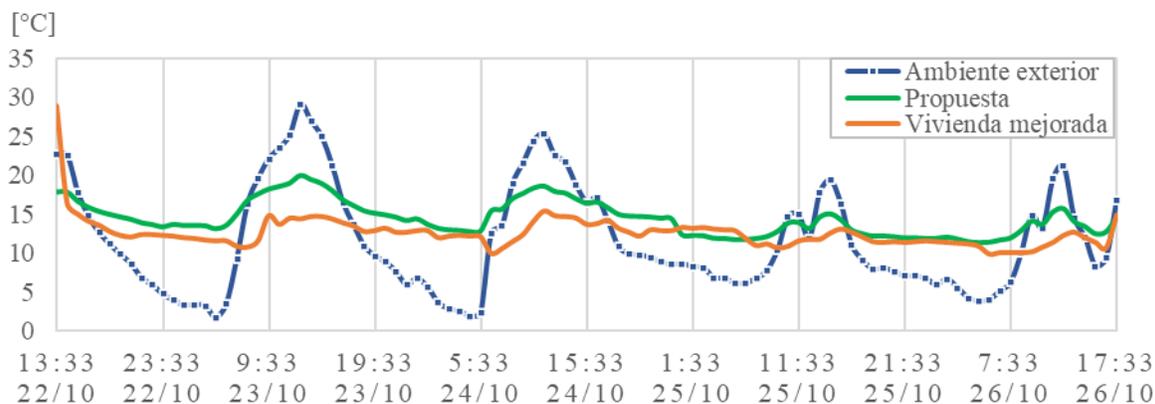


Figura 12. Curvas de temperaturas con la propuesta de acondicionamiento térmico.

Los resultados proyectados, de una data de temperatura del 2000 al 2010, muestran que el mes crítico de mayor descenso de temperatura ambiental es julio, con temperaturas diarias media máxima 15,1 °C y media mínima -6,7 °C (Figura 13). En la gráfica se ha insertado la proyección de las temperaturas interiores promedio mensual de la vivienda propuesta con relación a la vivienda mejorada.

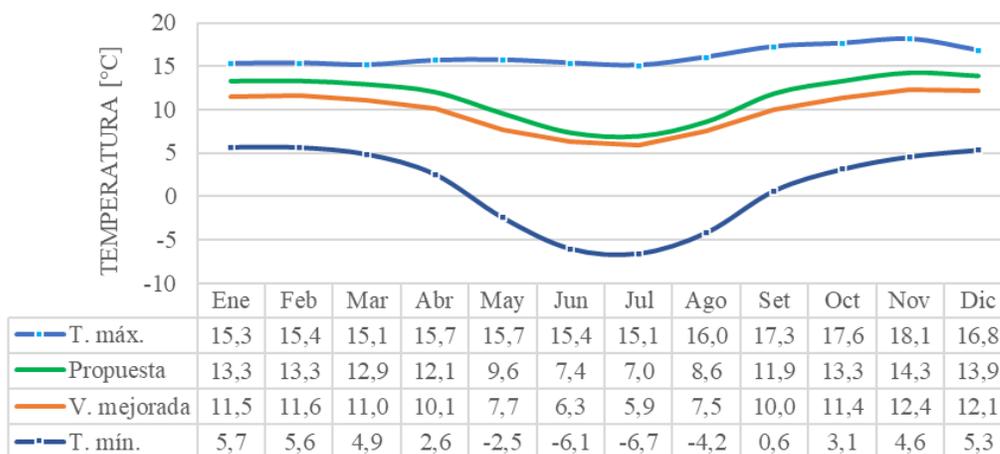


Figura 13. Promedio de temperaturas mensuales media máxima y media mínima del 2000 al 2010 vs. Temperatura de viviendas.

4. DISCUSIÓN

Los resultados indican que la mayor pérdida de calor es por conducción de materiales, como lo explicó Hertz (1981), y a través de los muros (77%) ya que su área comprende el 60% de la envolvente, por ende, el adobe utilizado en los muros debe ser protegido con materiales aislantes como el barro y la paja que se utilizaron en la vivienda local. Por tanto, la propuesta de acondicionamiento considera planchas de “tecnopor”, revestimiento de mortero cemento y cal como impermeabilizante, logrando reducir pérdidas por conducción en 58% respecto al proyecto original.

La solución del techo de la vivienda mejorada utiliza materiales aislantes como el “tecnopor”, planchas de madera “triplay” y calaminas metálicas, aunque estas últimas son mejor evitarlas por su alta conductividad (237 watt/m °C), dato del anexo 3 de la norma EM.110 (2014). A partir de ello, la propuesta logra reducir en 29% las pérdidas por conducción al aplicar el uso de planchas de “poliblock”, colocación de tejas fijadas con mortero de barro con paja y un cielo raso de tela; esta última alternativa contribuye en la reducción de las pérdidas por convección en 18%, corroborándose así la estrategia optada por Candy et al. (2012) en la conservación del calor.

Hertz (1981) explica que la ubicación incorrecta de las ventanas genera ganancias mínimas por radiación solar al no tener la orientación adecuada; por lo que considerando esta medida correctiva y colocación de contraventanas en la propuesta de acondicionamiento se consigue reducir estas pérdidas por conducción en 63% respecto a ventanas con solo vidrio doble, y un aumento del 57% en las ganancias de calor por radiación.

La puerta representa una buena solución, pierde el 2% del calor total por conducción; con relación al intercambio por convección utiliza un sardinel de concreto ubicado delante de la puerta para evitar pérdidas por infiltración. No obstante, se mejora el nivel de confort con la utilización de una antesala en el diseño de la puerta de ingreso a la vivienda lo cual reduce en 44% las pérdidas por conducción, dado que la cámara de aire propuesta controla mejor el flujo de la masa de viento frío entre el exterior e interior.

Rozis y Guinebault (1997) consideran calcular pérdidas por piso debido a la transmitancia térmica por contacto, resultados que fueron del 1%; sin embargo, se pretende que todo piso cumpla condiciones de salubridad evitando el piso de tierra sin acabados.

Con las medidas correctivas se logra un incremento de 1,87 °C en el mes de octubre y de acuerdo a la proyección mensual (Figura 13) se lograría en el mejor de los casos un incremento de 1,94 °C en el mes de mayo, debido a la irradiación variable durante el año.

En el mes de julio, que históricamente es el mes más frío (Figura 13) con temperatura ambiental promedio de 4,2° C en 10 años, se entiende que la temperatura interior de las viviendas descienda más que los promedios obtenidos en octubre. Por tanto, la proyección de temperatura promedio interior de la vivienda “propuesta” con las medidas correctivas se ha calculado en 6,97 °C, con una diferencia de 1,12 °C más que la vivienda “mejorada”. Estos resultados indican que para esta temporada es necesario incrementar la temperatura interna con ayuda de fuentes de calor pasivo como un invernadero con “muro trombe” que según pruebas determinadas por Augurto et al. (2020) en Chile, “se logra aumentar la temperatura interior en 5 °C, en los mejores casos medidos durante la temporada de frío”; por otro lado, Zune et al. (2020)

sugiere “soluciones innovadoras para hacer frente al clima cambiante”, que serían necesarias implementar, como la inclusión de focos de calor interno, para mitigar las bajas temperaturas en los meses críticos.

5. CONCLUSIONES

La vivienda mejorada presenta soluciones adecuadas para los componentes piso, techo y puerta, sin embargo, la envolvente total no logra cumplir la temperatura de confort 14 °C en la fecha evaluada a pesar de tener un amortiguamiento de 7 °C al interior de la vivienda durante la madrugada. Las deficiencias son debidas al aislamiento térmico de materiales utilizados en el revoco de muros, el volumen de aire en el ambiente, determinado por la altura de techos y la incorrecta orientación por asoleamiento y ventilación.

El acondicionamiento térmico en la vivienda propuesta aplica medidas correctivas al diseño de las componentes de la envolvente, mediante las cuales se ha logrado una temperatura promedio interior de 14,49° C en la fecha evaluada, logrando alcanzar el confort térmico y un amortiguamiento de 10° C alrededor de las 5 horas, cuando se presentan las temperaturas críticas promedio más bajas.

Por otro lado, en el trabajo de campo se ha observado que el diseño de la vivienda local presenta pérdidas por convección debido a la falta de hermeticidad en las uniones de los componentes de la envolvente, no obstante, los valores que se muestran en el cálculo son consecuencia del menor volumen del ambiente. Por otro lado, se destaca el buen comportamiento térmico de materiales naturales utilizados en los revocos para la construcción de muros y protección espontánea de ventanas.

Finalmente, se destaca que el adecuado aislamiento y revoco en muros en la propuesta, reducen las pérdidas por conducción en más del 50%, el uso de contraventanas es altamente efectivo en el control solar pasivo. Se recomienda colocar fuentes de calor como teatinas o elementos tipo invernadero central para el mayor incremento de calor que mantenga la temperatura adecuada en temporadas frías.

Conflicto de intereses

Los autores firmantes del presente trabajo de investigación declaran no tener ningún potencial conflicto de interés personal o económico con otras personas u organizaciones que puedan influir indebidamente con el presente manuscrito.

Contribuciones de los autores

Preparación y ejecución: NC, VL; Desarrollo de la metodología: NC, VL; Concepción y diseño: NC, VL; Edición del artículo: NC; Supervisión del estudio: VL

6. REFERENCIAS

- Agurto, L., Allacker, K., Fissore, A., Agurto, C., & Troyer, F. (2020). Design and experimental study of a low-cost prefab Trombe wall to improve indoor temperatures in social housing in the Biobío region in Chile. *Solar Energy*, 198, 704-721.
- Araujo Morales, A. I., & Gross Porras, G. I. (2011). Sistematización del proyecto 'Viviendas saludables en cinco caceríos de la zona rural de Cajamarca' (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Candy, S., Moore, G., & Freere, P. (2012). Design and modeling of a greenhouse for a remote region in Nepal. *Procedia Engineering*, 49, 152-160.
- Castañeda, G. R. (2013). Comportamiento y confort térmico de vivienda en la ciudad rural sustentable Nuevo Juan del Grijalva, Chiapas, México. *ESPACIO I+D: Innovación más Desarrollo*, 2(2), 89-103.
- Castilla, M., Álvarez, J., Berenguel, M., & Pérez, M. (2010). Técnicas de Control del Confort en Edificios. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7(3), 5-24.
- Eccles, R., & Wilkinson, J. (2015). Exposure to cold and acute upper respiratory tract infection. *Rhinology*, 53(2), 99-106.
- Espinoza, R., Saavedra, G., Huaylla, F., Gutarra, A., Molina, J. O., Barrionuevo, R., & Lau, L. (2009). Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda altoandina del Perú. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, 203-210.
- Hertz, J. (1981). Diseño Bioclimático en arquitectura. Lima, Perú: Itintec.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2018). Puno: Resultados definitivos de los censos nacionales 2017. Con acceso: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1563/. Fecha de último acceso: 10 de enero 2020.
- Koenisberger, O. H., Ingersoll, T. G., Mayhew, A., & Szokolay, S. V. (1977). *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid, España: Paraninfo.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (2020). Indicadores Brecha, Valores Numéricos de los Indicadores, Diagnóstico de Brechas y Criterios de Priorización para la Programación Multianual de Inversiones 2021 - 2023. Con acceso: <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/395506-indicadores-brecha-valores-numericos-de-los-indicadores-diagnostico-de-brechas-y-criterios-de-priorizacion-para-la-programacion-multianual-de-inversiones-2021-2023>. Fecha de actualización: 13 de enero 2020.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (2014). *Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética*. Lima.
- Morales, M. P., Muñoz, P., Juárez, M. C., Mendivil, M. A., & Olasolo, P. (2016). Influence of the type of lightweight clay brick on the equivalent thermal transmittance of different types of façades on buildings. *Materiales de construcción*, 66(323), 323-333.
- Oviedo, L. S. (2019). Efecto de la educación sobre la pobreza monetaria en las regiones del Perú. *Revista Innova Educación*, 1(1), 97-109.
- Palacios, E. (2008). Desarrollo Rural en el Perú. *Pensamiento Crítico*, 8, 109-114.
- Reynoso V. H. (2019). Impacto del programa nacional de vivienda rural en la calidad de vida de los beneficiarios en los centros poblados de Llanca y Quillisani - Paratia - Lampa - Puno 2018 (tesis de maestría). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Rincón, J. C., & Fuentes, V. A. (2014). Bioclimatic analysis tool: An alternative to facilitate and streamline preliminary studies. *Energy Procedia*, 57, 1374 – 1382.

- Rozis, J. F., & Guinebault, A. (1996). Solar heating in cold regions. London, Reino Unido: Intermediate Technology Publications Ltd.
- Zarate, A., & Miranda, G. (2016). Impacto del cambio climático en la seguridad alimentaria en zonas campesinas vulnerables de los Andes del Perú. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(1), 71-82.
- Zune, M., Rodrigues, L., & Gillott, M. (2020). Diseño pasivo vernáculo en la vivienda de Myanmar para el confort térmico. *Ciudades sostenibles y sociedad*, 54, 101992.