UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCION EN ENERGIA

TESIS

Análisis del confort térmico en una vivienda rural típica de la parte central de la sierra norte del Perú y propuestas de mejoramiento térmico

Presentada para obtener el grado académico de:

Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en Energía

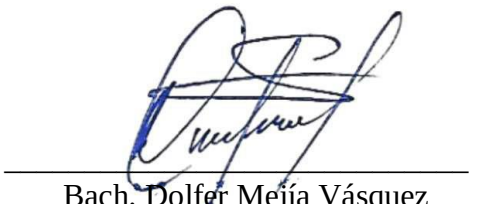
Investigador:
Dolfer Mejía Vásquez
https://orcid.org/0009-0009-4581-7056

Asesor:
Dr. Amado Aguinaga Paz
https://orcid.org/0000-0003-0330-6825

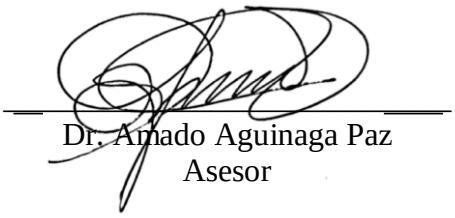
Lambayeque – Perú

2026

Análisis del confort térmico en una vivienda rural típica de la parte central de la sierra norte del Perú y propuestas de mejoramiento térmico



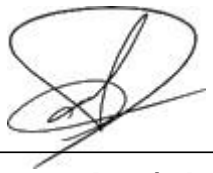
Bach. Dolfer Mejía Vásquez
Autor



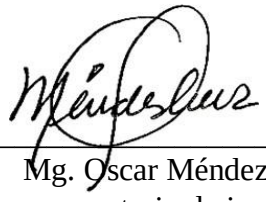
Dr. Amado Aguinaga Paz
Asesor

Tesis presentada a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo para obtener el grado académico de: Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en Energía.

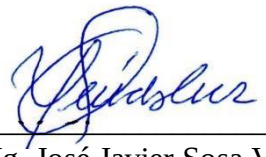
Aprobado por:



Dr. Fredy Dávila Hurtado
presidente de jurado



Mg. Oscar Méndez Cruz
secretario de jurado



Mg. José Javier Sosa Victoriano
vocal del jurado

Lambayeque – Perú

2026

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS 093

Siendo las 11:30 horas del día TRECE de MAYO del año Dos Mil VEINTISEIS, en la Sala de Sustentación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, se reunieron los miembros del Jurado, designados mediante Resolución N° 587-2023-EPG de fecha 27/06/2023., conformado por:

Dr. FREDY DAVILA HURTADO ..... PRESIDENTE (A)

Mg. OSCAR MENDEZ CRUZ ..... SECRETARIO (A)

Mg. JOSE JAVIER SOSA VICTORIANO ..... VOCAL

Mg. AMADO AGUINAGA PAZ ..... ASESOR (A)

Con la finalidad de evaluar la tesis titulada "ANALISIS DEL CONFORT TERMICO EN UNA VIVIENDA RURAL TIPICA DE LA PARTE CENTRAL DE LA SIERRA NORTE DEL PERU Y PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO TERMICO"

presentado por el (la) Tesista DOLFER MEJIA VASQUEZ

sustentación que es autorizada mediante Resolución N° 214-2026-EPG-J de fecha 06 DE MAYO DE 2026

El Presidente del jurado autorizó del acto académico y después de la sustentación, los señores miembros del jurado formularon las observaciones y preguntas correspondientes, las mismas que fueron absueltas por el (la) sustentante, quien obtuvo DIECISEIS puntos que equivale al calificativo de BUENO

En consecuencia el (la) sustentante queda apto (a) para obtener el Grado Académico de:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCION EN ENERGIA

Siendo las 12:20 horas del mismo día, se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta.

PRESIDENTE
Dr. FREDY DAVILA HURTADO

SECRETARIO
Mg. OSCAR MENDEZ CRUZ

VOCAL
Mg. JOSE JAVIER SOSA VICTORIANO

ASESOR
Mg. AMADO AGUINAGA PAZ.

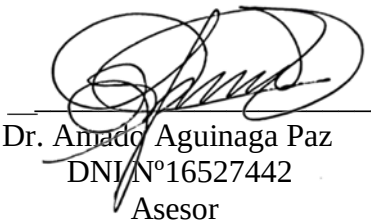
CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Amado Aguinaga Paz, usuario revisor de tesis [X] Trabajo de suficiencia profesional [ ] y/o Trabajo académico [ ] titulado Análisis del confort térmico en una vivienda rural típica de la parte central de la sierra norte del Perú y propuestas de mejoramiento térmico, cuyo autor es Dolfer Mejía Vásquez con DNI N°46027385; declaro que la evaluación por el programa informático ha arrojado un porcentaje de similitud 14 % verificables en el resumen del reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó el reporte y concluyo que cada una de las coincidencias dentro del porcentaje de similitud no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos,

Se cumple con adjuntar el recibo digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 24 diciembre de 2025



Dr. Amado Aguinaga Paz
DNI Nº16527442
Asesor

turnitin

Recibo digital

Este recibo confirma quesu trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Dolfer Mejia
Título del ejercicio:	Quick Submit
Título de la entrega:	Análisis del confort térmico en una vivienda rural típica de la p...
Nombre del archivo:	2025-12-24_Tesis_Dolfer_v04.pdf
Tamaño del archivo:	3.02M
Total páginas:	86
Total de palabras:	17,461
Total de caracteres:	94,200
Fecha de entrega:	25-dic-2025 12:17p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2851197556


UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCION EN ENERGIA

TESIS

Derechos de autor 2025 Turnitin. Todos los derechos reservados.

Dr. Amado Aguinaga Paz
DNI Nº16527442
Asesor

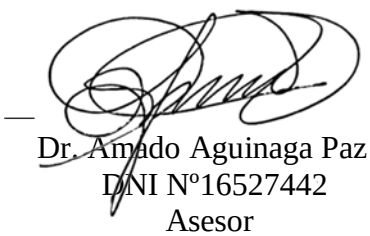
Análisis del confort térmico en una vivienda rural típica de la parte central de la sierra norte del Perú y propuestas de mejoramiento térmico

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	14%	2%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	www.ncbi.nlm.nih.gov Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	1%
5	www.grafiati.com Fuente de Internet	1%
6	repository.ugc.edu.co Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
9	doku.pub Fuente de Internet	<1%
10	dokumen.pub Fuente de Internet	<1%
11	edoc.pub Fuente de Internet	<1%



Dr. Amado Aguinaga Paz
DNI Nº16527442
Asesor

DEDICATORIA:

A mis padres, les dedico este trabajo. Su vida es la prueba irrefutable de que el esfuerzo constante es la base para la superación. Ellos, que no tuvieron la oportunidad de acceder a la educación superior, me han brindado su apoyo incondicional y han hecho los sacrificios necesarios por mi formación. Es mi mayor satisfacción llevar conmigo la gratitud, la actitud, la energía y la confianza que me han transmitido desde nuestro querido espacio rural campesino: Cadmalca - Lajas - Chota - Cajamarca - Perú.

Dolfer

AGRADECIMIENTO:

Agradezco profundamente a mi familia por su incondicional comprensión y apoyo a lo largo de este camino formativo. Reconocieron la importancia de la formación académica como el complemento esencial para mi objetivo de aportar conocimiento sobre la trascendencia de contar con una vivienda con confort térmico, especialmente en contextos donde la tecnología es limitada y el servicio a la sociedad es el valor más preciado.

Mi sincero agradecimiento a todas las instituciones que han forjado mi educación integral, desde mis inicios en:

- Educación Primaria: I.E. 10445 - Cadmalca.
- Educación Secundaria: I.E. JAE - Cadmalca.
- Pregrado: Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la UNPRG.
- Posgrado: Escuela de Posgrado (EPG) de la UNPRG.

Extiendo mi gratitud de manera especial a mis distinguidos docentes, el Dr. Amado Aguinaga y el Dr. Jorge Mirez, por la invaluable orientación, dirección y guía experta que brindaron, elementos cruciales para la culminación exitosa de mi formación y la obtención de este importante grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con Mención en Energía

Dolfer

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria v
Agradecimiento..... viii
Índice General.....ix
Índice de Tablas x
Índice de Figuras.....xi
Resumen xiii
Abstract xiv
Introducción.....1
Capítulo I. Diseño Teórico 9
1.1 Antecedentes de la Investigación 9
1.2 Base Teórica.....16
1.3 Definiciones Conceptuales 17
1.4 Operacionalización de Variables.....18
1.5 Hipótesis 19
Capítulo II. Métodos y Materiales.....20
2.1 Tipo de Investigación 20
2.2 Método de Investigación 20
2.3 Diseño de Contrastación.....20
2.4 Población, Muestra y Muestreo 24
2.5 Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos 24
2.6 Procesamiento y Análisis de Datos 25
Capítulo III. Resultados 65
Capítulo IV. Discusión.....78
Conclusiones.....67
Recomendaciones 68
Referencias 69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Valores estadísticos referenciales de variables medioambientales de dormitorio (D).....39
Tabla 2:Valores estadísticos referenciales de variables medioambientales en la cocina mejorada – comedor (CM-C). 40
Tabla 3:Valores estadísticos referenciales de variables medioambientales en el exterior a la casa (Ext.).....41
Tabla 4:Estadística de datos promedios horarios obtenidos desde NASA Power Access. 51
Tabla 5:Listado de materiales usados en casa típica con sus respectivas propiedades térmicas. .58
Tabla 6:Valores estadísticos referenciales de variables medioambientales en la cocina mejorada – comedor (CM-C) 67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Distribución de la población en el Perú según área de residencia (Meza, S. 2016 La Vivienda social en el Perú). 4
Figura 2:Carta Bioclimática de Olgyay....23
Figura 3:Vista lateral de la casa típica considerada para la presente tesis. 35
Figura 4:Vista de planta de la casa típica de estudio. 36
Figura 5:Vista satelital de la casa típica del presente estudio.....36
Figura 6:Vista de planta de la casa típica de estudio. 37
Figura 7:Corte transversal de la casa típica de estudio.....37
Figura 8:Corte seccional del ambiente D. 38
Figura 9:Vista posterior de la casa típica de estudio. 38
Figura 10:Evolución de las variables medioambientales: temperatura, humedad relativa, iluminación y temperatura de rocío al interior del dormitorio (D). 40
Figura 11:Evolución de las variables medioambientales: temperatura, humedad relativa, iluminación y temperatura de rocío al interior de la cocina mejorada - comedor (CM-C). 41
Figura 12:Evolución de las variables medioambientales: temperatura, humedad relativa, iluminación y temperatura de rocío en el exterior (Ext.) de la casa típica.....42
Figura 13:Superposición de valores de humedad relativa de D, CM-C y el Ext. 43
Figura 14:Superposición de valores de temperatura de D, CM-C y el Ext. 43
Figura 15:Evolución del exceso de humedad relativa sobre el 70 %. 45
Figura 16:Evolución del exceso de temperatura sobre los 27.8 °C.....45
Figura 17:Evolución del delta absoluto de temperatura de las temperaturas en referencia a 19.4 °C. 47
Figura 18:Evolución del delta de temperatura entre cada ambiente dormitorio, cocina (D, CM-C) y el exterior (Ext.). 48
Figura 19:Comparativo de la densidad de probabilidad de la humedad relativa en D, CM-C y Ext usando datos de campo. Data representa los valores de humedad relativa. 49
Figura 20:Comparativo de la densidad de probabilidad de la temperatura en D, CM-C y Ext usando datos de campo. Data representa los valores de temperatura del aire. 49
Figura 21:Comparativo de la densidad de probabilidad de la temperatura de rocío en D, CM-C y Ext usando datos de campo. Data representa los valores de la temperatura de rocío del aire.....50
Figura 22:Vista de portada de NASA Power Access (Manrique 2005) con parte de la configuración de selección y descarga de parámetros medioambientales de interés para la presente tesis.....51
Figura 23:Evolución de la temperatura promedio del aire del medioambiente exterior a la casa típica obtenida según los datos obtenidos desde NASA Power Access.....52
Figura 24:Evolución de la irradiación solar promedio sobre la casa típica obtenida según los datos obtenidos desde NASA Power Access. 52
Figura 25:Evolución de la humedad relativa del medio ambiente exterior a la casa típica obtenida según los datos obtenidos desde NASA Power Access.....53

Figura 26:Evolución de la temperatura de rocío promedio del aire del medioambiente exterior a la casa típica obtenida según los datos obtenidos desde NASA Power Access. 53
Figura 27:Densidad de probabilidad de la temperatura del aire exterior a la casa típica según datos de campo y de NASA Power Access, dibujado ambas variables como líneas continuas. 54
Figura 28:Densidad de probabilidad de la temperatura del aire exterior a la casa típica según datos de campo y de NASA Power Access, dibujado ambas variables como barras. 55
Figura 29:Densidad de probabilidad de la humedad relativa del aire exterior a la casa típica según datos de campo y de NASA Power Access, dibujado ambas variables como líneas continuas. 56
Figura 30:Densidad de probabilidad de la humedad relativa del aire exterior a la casa típica según datos de campo y de NASA Power Access. dibujado ambas variables como barras A.....56
Figura 31:Resumen de vistas de casa típica.....58
Figura 32:Flujo térmico entre CM-C y D a través de la pared divisora entre ambientes. 60
Figura 33:Energía térmica acumulada entre CM-C y D a través de la pared divisora entre ambientes. 60
Figura 34:Flujo térmico entre CM-C y Ext. a través de paredes. 61
Figura 35:Energía térmica acumulada entre CM-C y Ext a través de paredes.....61
Figura 36:Flujo térmico entre D y Ext. a través de paredes. 62
Figura 37:Energía térmica acumulada entre D y Ext a través de paredes. 63
Figura 38:Flujo térmico entre CM-C + D y Ext. a través de techo. 64
Figura 39:Energía térmica acumulada entre CM + D y Ext a través de techo. 65
Figura 40:Flujo térmico entre CM-C + D y la Tierra a través de suelo. 66
Figura 41:Energía térmica acumulada entre CM + D y la Tierra a través de suelo. 66
Figura 42:Flujo térmico entre ambientes, exterior y suelo. 68
Figura 43:Energía térmica acumulada entre ambientes, exterior y suelo.....68
Figura 44:Deshumedecedor digital DH20, 380W, 20 Lt, apagado automático, regulador de humedad.....70
Figura 45:Energía de calefacción para D acumulado cada 15 segundos. 72
Figura 46:Potencia para calefacción de D en Watts.....72
Figura 47:Energía de calefacción para CM-C acumulado cada 15 segundos. 73
Figura 48:Potencia para calefacción de CM-C en Watts. 74
Figura 49:Potencia para calefacción de CM-C y D en Watts. 75
Figura 50:Propuesta de sistema solar fotovoltaico con inversor para abastecer demanda de calefacción y retiro de humedad de ambientes de casa típica.....77

RESUMEN

La presente tesis trata sobre la mejora en el confort térmico de una vivienda rural de la parte central de la sierra norte del Perú en la Región Cajamarca. Esto se ha hecho por motivo de que existe una gran población que vive en el campo en casas cuya forma y materiales de construcción se han usado durante generaciones, y las mediciones de variables medioambientales al interior y exterior de la casa (como la temperatura y humedad relativa) indican que no está en la zona de confort. Para resolver este problema, en el desarrollo de la presente tesis se hizo el levantamiento de información de campo sobre materiales de construcción, toma de datos de variable medioambientales, dibujo de ingeniería de distribución de ambientes con sus características arquitectónica de dimensiones (altura, ancho, espesor) de los ambientes que conforman una casa típica. Luego se ha desarrollado un modelo matemático de flujo de calor al interior de la casa y con ello se ha realizado propuestas de mejora del confort realizando las simulaciones y estimaciones de la mejora en las variables medioambientales al interior de la casa. De manera complementaria se ha realizado un análisis estadístico de la data recolectada a fin de que pueda servir para futuros trabajos de investigación del autor u otros investigadores o tesistas. Como resultado se brinda una solución tecnológica que procura mantener las costumbres y la cultura de la familia y comunidad, al no afectar en lo mínimo la estética o forma de la casa típica, usando equipos y dispositivos que vienen a ser de fácil disposición dentro de los ambientes, y una planta solar fotovoltaica en alrededores de la casa típica con un sistema y aparataje eléctrico de mínima intervención en la infraestructura. Se evita derrumbe y construcción de paredes y techos que ha sido solución típica en otros estudios.

Palabras Clave: Confort térmico, vivienda rural y propuestas.

ABSTRACT

This thesis deals with the improvement of the thermal comfort of a house in the central zone of the Cajamarca Region. This has been done because there is a large population living in the countryside in houses whose shape and construction materials have been used for generations, and measurements of environmental variables inside and outside the house (such as temperature and relative humidity) indicate that it is not in the comfort zone. To solve this problem, in the development of this thesis, field information was collected on construction materials, data collection of environmental variables, engineering drawing of the distribution of rooms with their architectural characteristics of dimensions (height, width, thickness) of the rooms that make up a typical house. Then, a mathematical model of heat flow inside the house has been developed and with it, proposals for comfort improvement have been made by performing simulations and estimations of the improvement in the environmental variables inside the house. In a complementary way, a statistical analysis of the collected data has been carried out so that it can be used for future research work by the author or other researchers or thesis students. The result is a technological solution that strives to preserve family and community customs and culture by not altering the aesthetics or form of the traditional house in the slightest. It utilizes equipment and devices that are easily integrated within the rooms, alongside a solar photovoltaic plant located in the vicinity of the home, featuring an electrical system and apparatus designed for minimal structural intervention. This approach avoids the demolition and reconstruction of walls and roofs, which has been the standard solution in other studies.

Keywords: Thermal comfort, rural housing and proposals.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis trata sobre un elemento fundamental en la vida diaria de la humanidad: la vivienda, la cual desde miles de generaciones atrás ha sido crucial en el desarrollo de pueblos, ciudades y civilizaciones evolucionando de habitáculos temporales en cuevas y montañas, hasta la modernidad en que la vivienda presenta múltiples diseños y formas según la cultura, el país, el piso altitudinal entre otros aspectos.

En el contexto actual, nuestro país tiene una variedad de climas y microclimas, así como diversas manifestaciones culturales a lo largo y ancho del Perú, que determinan de manera directa u indirecta a la vivienda en su forma, materiales, distribución, usos, etc. Nuestro país, el Perú es grande y diverso que implica la realización de múltiples estudios sobre la vivienda a nivel nacional, sin embargo, nos centraremos en una zona específica del cual se estudiará una conformación típica de una vivienda rural, Para ello, en el presente apartado se detallan la realidad problemática, los objetivos, la justificación y las hipótesis de la presente tesis.

Descripción de la Realidad Problemática

Según la Organización de las Naciones Unidades (ONU, 2010) menciona que el derecho internacional reconoce que toda persona tiene derecho a un nivel de vida apropiado, lo que incluye una vivienda adecuada. Pero, aunque este enunciado tiene un lugar fundamental en los sistemas jurídicos en varios países a nivel mundial, el número de personas sin una vivienda adecuada sobrepasa fácilmente los 1,000 millones, es decir, viven en condiciones de peligro para la vida o la salud, hacinadas en tugurios y asentamientos improvisados, o en otras condiciones que no respetan sus derechos humanos ni su dignidad. Es por ello, que el tener una vivienda adecuada fue reconocida como parte del derecho a un nivel de vida

adecuado en la Declaración de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de 1966 y que incumbe a todos los Estados representados en ONU que han ratificado en por lo menos un tratado internacional relativo a la vivienda adecuada y se han comprometido a proteger el derecho a una vivienda adecuada mediante declaraciones y planes de acción internacionales o documentos emanados de conferencias internacionales. Entre los elementos esenciales del derecho a una vivienda digna, la ONU establece que la "habitabilidad" se juzga bajo el principio de que una residencia no se considera adecuada si no proporciona seguridad física y carece de un espacio apropiado. Además, es imperativo protegerse contra elementos como el frío, la humedad, el calor, la precipitación, el viento y otros riesgos para la salud, así como riesgos asociados con la estructura. Además, se contempla el concepto de "adecuación cultural", postulando que una residencia no es adecuada si no respeta y refleja la identidad cultural de los residentes.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2022) Sigue las sugerencias de la Organización Mundial de la Salud sobre la vivienda. Entre estas, se menciona que mejorar las condiciones de vivienda puede salvar vidas, prevenir enfermedades, elevar la calidad de vida, disminuir la pobreza, ayudar a combatir el cambio climático y apoyar el logro de múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible, incluidos los relacionados con la salud y las ciudades sostenibles. Algunas recomendaciones notables son: (a) Las temperaturas dentro de los hogares deben ser suficientemente elevadas para proteger la salud de los ocupantes del frío. En naciones con climas templados o fríos, se recomienda una temperatura interior de 18 °C como ideal para cuidar la salud pública durante el frío. (b) En áreas con inviernos, se debe implementar un aislamiento térmico eficaz y seguro en las nuevas construcciones y actualizarlo en las casas existentes. (c) Para las poblaciones que enfrentan altas temperaturas, deben desarrollarse y ejecutarse estrategias que protejan a los individuos del calor extremo en el interior de sus hogares. Se prevé que en 2050, el número de personas de más de 60

años que pasan mucho tiempo en casa se duplicará. Además, la OPS indica que una vivienda que resulta difícil o costosa de calentar está relacionada con peores resultados en salud respiratoria y cardiovascular.

a OPS (2022) También garantiza que el 6 % de las viviendas en América Latina y el Caribe (en contraste con el 0. 4 % en la Unión Europea) albergan a más de tres personas por habitación. Adicionalmente, (a) el 41 % de la población global utiliza fogatas y estufas simples que funcionan con combustibles sólidos para cocinar y calentar sus casas, lo que deteriora la calidad del aire en interiores mal ventilados. En 2016, se registraron 3. 8 millones de muertes en todo el mundo atribuibles a la contaminación del aire en los hogares debido al uso de combustibles sólidos para la cocina, siendo la mayoría de ellas en países con ingresos bajos y medianos; y (b) aproximadamente el 15 % de los nuevos diagnósticos de asma infantil en Europa se relacionan con la humedad en los ambientes interiores, lo que se traduce en más de 69,000 años de vida ajustados por discapacidad que podrían haberse evitado y 103 muertes anuales que podrían ser prevenidas.

Según, Mesa (2023) el Perú ha seguido la tendencia mundial de crecimiento en las zonas urbanas y de disminución de población en las zonas rurales (ver Fig. 1). Ante esto, el Estado Peruano ha promulgado políticas para apoyar la descentralización. No obstante, el trabajo que se necesita realizar sigue siendo extenso. La población en Perú está moviéndose hacia áreas urbanas, lo que resulta en un aumento de la pobreza en las ciudades, la existencia de empleos mal pagados y una mayor lucha por espacios residenciales y acceso a servicios en las afueras, donde reside la gente que migra. Actualmente, un número significativo de individuos ya no elige trasladarse a la capital. La nueva modalidad es trasladarse a ciudades intermedias como Trujillo, Cusco, Arequipa, entre otras. Estos migrantes buscan fijar su residencia en estas nuevas localidades, pero mantienen sus hogares y una comunicación

constante con sus familias en sus lugares de origen. Se podría considerar incluso la existencia de una población en movimiento.

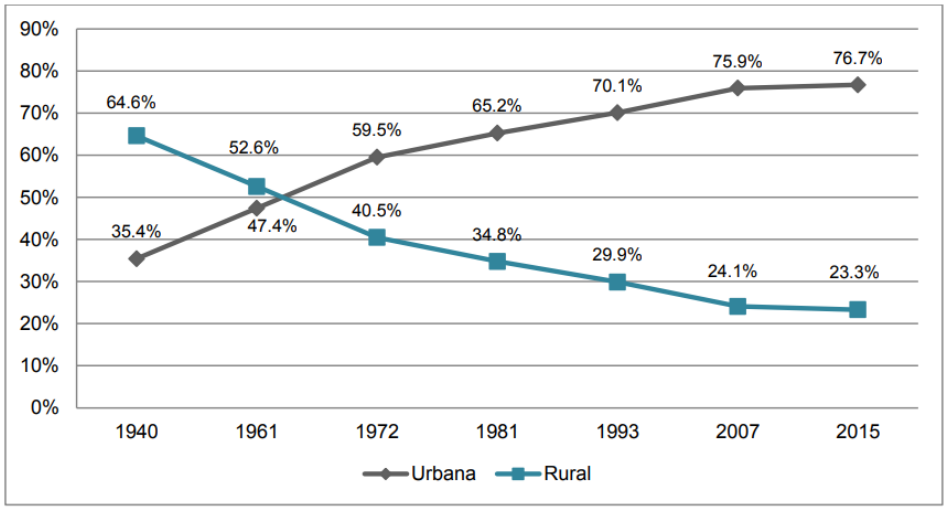


Figura 1:Distribución de la población en el Perú según área de residencia (Meza, S. 2016 La Vivienda social en el Perú).

Según, Gabriel (2021) en el Perú, existen 1.9 millones de hogares con déficit a nivel nacional, de los cuales, según tipo de déficit, el 31 % (unos 594 mil hogares) tienen déficit cuantitativo, y el restante 69 % (unos 1.3 millones de hogares) tienen déficit cualitativo. En los hogares con déficit cualitativo, subdividiéndolos según subtipo de déficit, se tiene que un 29 % (554 mil hogares) presentan hacinamiento, un 22 % (420 mil hogares) están sin servicios y un 17 % (325 mil hogares) tienen material de pared irrecuperables. Además, según el ámbito geográfico, el 74 % (unos 1.4 millones de hogares) están en el entorno urbano y el 26 % (496 mil hogares) en el entorno rural.

Según INEI en (Virgil, F. y Simmang, C. 2005) reporta que la cantidad de viviendas particulares en el departamento de Cajamarca con uso predominante de adobe o tapia en las paredes exteriores fue de 249,578 registradas en el Censo de Vivienda 2007 y 264,310 en el Censo de Vivienda 2017, lo que corresponde un incremente entre Censos de 14,732

viviendas a una tasa de crecimiento promedio anual de 0.6 %. Por lo tanto, es el departamento de Cajamarca un lugar adecuado para realizar estudios que conlleven a mejorar la calidad de vida de las personas, en especial, los estudios de confort térmico, que es el objetivo de la presente tesis.

Formulación del Problema de Investigación

¿Es posible recolectar y analizar datos de parámetros medioambientales y analizar el flujo térmico usando los principios de termodinámica y transferencia de calor, de una vivienda típica de la parte Central de la Sierra Norte del Perú (distrito de Cadmalca Alto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca) para cuantificar el confort térmico y en base al resultado realizar propuestas de mejoramiento térmico?

Objetivos de la Investigación

a. Objetivo General

Realizar la recolección y análisis de datos de parámetros medio ambientales y el análisis mediante modelos matemáticos del flujo térmico, pérdidas térmicas y de almacenamiento térmico que tiene una vivienda típica de la parte central de la Sierra Norte del Perú; para con ello, analizar los resultados y presentar propuestas de mejoramiento térmico.

b. Objetivos Específicos

1. Recopilar información técnica de tipos de materiales, sus características técnicas y su disposición como material estructural o de acabado en una vivienda típica de la parte central de la Sierra Norte del Perú.

2. Recolectar y analizar datos de las condiciones medio ambientales al interior de la vivienda que tengan que ver con el confort térmico.
3. Recopilar información de las condiciones ambientales de la zona donde se ubica la vivienda típica a estudiar.
4. Estimación de los flujos térmicos según los principios de la termodinámica y de transferencia de calor.
5. Proponer técnicas y tecnologías para el mejoramiento térmico.

Justificación de la Investigación

- **Justificación Económica:** El presente proyecto de investigación se justifica en lo económico porque (a) permitirá el ahorro en consumo de energía eléctrica si fuera el caso de implementar calefacción para tener condiciones adecuadas de confort térmico, (b) implica un ahorro en inversión de infraestructura energética (en especial, de electricidad) que permita el suministro de energía hacia los usuarios; (c) es un ahorro al país debido a que se reduce la importación de materiales para viviendas.

- **Justificación Tecnológica:** El presente proyecto dará a conocer la importancia del uso de los recursos energéticos local y además, de los materiales aislantes de procedencia local y/o nacional en la mejora del confort térmico mediante el control de los flujos de energía térmica que existen durante las horas con Sol y en la noche en una vivienda rural típica de la parte central de la Sierra Norte del Perú.

- **Justificación Social:** Bridará una opción de contar con un adecuado confort térmico en las viviendas rurales, mejorando sus indicadores de calidad de vida y con el potencial

de impulsar la creación de emprendimientos profesionales, familiares o empresariales para satisfacer esta necesidad en la zona media y alto andina.

- **Justificación Ambiental:** Fomentará el aprovechamiento de los recursos energéticos locales y el uso de materiales (de preferencia locales) con propiedades térmicas adecuadas que sean parte de la infraestructura o del acabado de una vivienda rural típica, es decir, serán sustancias pasivas, lo cual ayudará al medio ambiente con la reducción de las emisiones de CO_2 en el que provee de energía eléctrica y/o térmica hacia las viviendas.

Limitaciones del estudio

- No se cuenta con laboratorios especializados para el análisis de las propiedades térmicas de materiales, por lo tanto, se tomará de referencias bibliográficas nacionales e internacionales.
- No se cuenta con registro de variables medio ambientales en la zona de estudio, por lo tanto, se usarán fuentes de información internacionales como los de NASA e instalaciones meteorológicas cercanas o de lugares con condiciones medio ambientales similares del Sistema Nacional de Hidrología y Meteorología (SENAMHI).

Descripción de la localidad donde se ubica el caso de estudio: vivienda rural típica.

El Centro Poblado de Cadmalca se encuentra estratégicamente ubicado en el distrito de Lajas, provincia de Chota, departamento de Cajamarca.

- **Altitud:** Posee una altitud promedio de 2800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).
- **Población:** Cadmalca alberga un total de 220 familias y aproximadamente 720 habitantes.

El entorno natural de Cadmalca es típico de la sierra de Cajamarca, con condiciones climáticas específicas que influyen directamente en la vida y las actividades de la población.

- **Relieve:** Se caracteriza por un relieve accidentado y quebrado, con presencia de fuertes pendientes que definen las áreas aptas para el cultivo.
- **Clima:** Predomina un clima frío y seco en general, con temperaturas promedio que oscilan entre los 10 °C y 15 °C.
- **Ciclo Hídrico y Riesgos:**
  - La temporada de lluvias se extiende usualmente de noviembre a abril, siendo crucial para la actividad agrícola.
  - Las heladas son frecuentes en los meses más fríos (junio a agosto), representando un riesgo para los cultivos.
- **Disponibilidad de Agua:** El abastecimiento de agua para riego y consumo se sustenta principalmente en riachuelos y manantiales que descienden de las zonas altas.

La economía local está ligada a dos actividades principales de subsistencia y mercado: el cultivo de la papa y la crianza de ganado vacuno.

- **Cultivo de la Papa:**
  - Es el producto estrella de la zona, destacando el cultivo de variedades nativas y comerciales.
  - La producción está orientada tanto al autoconsumo como a los mercados locales (Chota y Lajas).
- **Ganadería Vacuna:**

- Se enfoca en la crianza de ganado para la producción de leche y, en menor medida, de carne.
- La elaboración de productos lácteos artesanales (queso y mantequilla) es una actividad secundaria importante.

- **Comercialización:**
  - La venta de la producción se realiza generalmente a través de intermediarios que visitan el centro poblado.
  - También se comercializa mediante la participación de los productores en las plazas pecuarias de los distritos cercanos.

El centro poblado cuenta con una infraestructura de servicios básicos y conectividad.

- **Conectividad:** La conexión principal con el distrito de Lajas se realiza mediante una carretera afirmada (trocha carrozable). La accesibilidad puede verse dificultada durante la temporada de lluvias.
- **Educación:** Cuenta con una Institución Educativa que ofrece los niveles de Inicial, Primaria y Secundaria.
- **Salud:** Dispone de un puesto de salud básica para atender las necesidades primarias de la población.
- **Servicios Básicos:**
  - **Electricidad:** El servicio eléctrico ha sido implementado y cubre a la mayoría de las familias desde el año 2003.
  - **Agua y Saneamiento:** El abastecimiento de agua potable se da a través de sistemas de captación y distribución comunal. El servicio de desagüe se da mediante Unidades Básicas de Saneamiento (UBS), administradas por una Junta Administrativa de Servicios de Saneamiento (JASS).

La vida social y la seguridad se sustentan en organizaciones comunales y tradiciones religiosas.

- **Seguridad y Conflicto:** Las Rondas Campesinas desempeñan un rol fundamental en la seguridad del centro poblado y en la resolución de conflictos menores.
- **Vida Social y Religiosa:** Las celebraciones religiosas son el centro de la vida social, destacando anualmente la Fiesta Patronal en honor a la Cruz de CHALPÓN, que se celebra del 03 al 07 de agosto con misas, procesiones y actividades costumbristas.

.

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de la Investigación

Conseguir un adecuado confort ha sido y es un tema de estudio tanto a nivel nacional e internacional, a continuación, se da a saber algunas de los antecedentes tanto internacionales y nacionales, así como también locales que se ha podido encontrar durante la redacción del presente documento

Antecedentes Internacionales

Sánchez (2021) propone el uso de polietileno tereftalato (PET) como elemento de recubrimiento en casas rurales para optimizar su bienestar térmico. El PET es un polímero que demanda un considerable gasto energético para su elaboración y un extenso período para su descomposición. Justifica su planteamiento a partir de un modelo fundamental de vivienda rural en el municipio de San Antonio del Tequendama – Cundinamarca - Colombia, a través de un análisis comparativo con métodos de construcción típicos de la región que se basan en madera, ladrillo, bahareque, entre otros. El modelo es una vivienda rural de 52 m^2 con una distribución usual de la zona, en el que cada espacio fue definido según la necesidad y requerimiento de la población sanantonina de acuerdo a las visitas y encuestas realizadas en campo. Los resultados de las simulaciones del comportamiento térmico de la vivienda muestran que la envolvente en PET resulta ser eficiente térmicamente dado que, desde temperaturas operativas de entre los 30 °C y 31 °C, lograron reducirlas a 26.45 °C, alcanzado el rango de confort térmico definido para su investigación.

En su tesis, Carvajal et. al. (2022) evalúan el confort térmico dentro de una vivienda rural existente y cómo los parámetros que cuantifican el confort térmico se comportan según el clima dentro del territorio colombiano. Éste estudio se hace debido a que la pandemia de COVID-19 puso en evidencia las precarias condiciones de confort térmico y de habitabilidad en las viviendas. Se realiza en un área rural en donde se tiene un déficit bastante alto en las Necesidad Básicas Insatisfechas (NBI). Realizaron una caracterización arquitectónica, bioclimática, constructiva, social y económica de la vivienda rural ubicada en distintos climas; además de simulaciones dinámicas según el método constructivo de las viviendas, material existente y materiales vernáculos por la cultura dentro del país, el clima y la tipología de la vivienda según región climática. De dicho análisis obtienen en respuesta el disconfort o confort soportado por mapas de proceso para documentar el proceso de planeación y simulación. Reflexionan sobre la importancia de la sostenibilidad al momento de construir una vivienda rural, dado que hay estrategias activas y pasivas que permiten una mejor habitabilidad sin grandes cambios en su estilo de vida y conservando su cultura.

En su artículo, Rojas (2022) se lleva a cabo una investigación sobre las condiciones de bienestar térmico en casas rurales de Ambato, Ecuador, mediante la recolección de datos de temperaturas tanto externas como internas, para llevar a cabo un análisis del rendimiento térmico de los materiales utilizados en su edificación. Se concluye que las viviendas que poseen métodos de construcción tradicionales, ya sea en su estado original o con reformas, no satisfacen las exigencias de confort térmico. Los materiales locales empleados en techos y paredes tradicionales (tierra cruda en bahareque) carecen de propiedades aislantes, lo que lleva a la conclusión de que las

casas construidas con estos elementos brindan un confort limitado. Además, se propone considerar posibles mejoras utilizando materiales y técnicas constructivas que optimicen las condiciones térmicas de las edificaciones o, si no es posible, una opción de calefacción que conlleva un consumo de energía.

En su artículo, Brito (2022) se señala que en Ecuador está emergiendo el sistema tradicional de envoltura de casas fabricadas con ladrillo o bloque de hormigón, así como la edificación utilizando LSF (Light Steel Framing) o estructuras de acero galvanizado. Además, se lleva a cabo un estudio empleando Design Builder y Therm para examinar los factores que afectan la eficiencia energética de las viviendas de dos niveles en la ciudad de Cuenca, las que bajo condiciones locales, el sistema predominante alcanza valores de confort térmico horario anual del 51 %, pero el sistema LSF alcanza un 62 %, sin embargo, con estrategias de mejoramiento en la globalidad de la envolvente, el LSF alcanza el 86 %. También determina que las variables de mayor a menor influencia térmica resultaron ser las infiltraciones de aire, el sistema constructivo de la envolvente y su implantación de la vivienda.

En su tesis, Albarracín (2021) optar por un enfoque social y global fundamentado en el marco teórico de la sostenibilidad, el cual establece una conexión dinámica entre ecología, economía y prácticas sostenibles, jugando un papel crucial en la elevación de la calidad de vida de sus residentes. En consecuencia, se sugiere un diseño innovador de vivienda rural productiva, pensado para ser utilizado en climas fríos y húmedos, con el objetivo de impulsar el crecimiento y desarrollo humano en el Corregimiento de Berlín, Municipio de Tona. Esta área se localiza al pie del páramo de Santurbán, una región montañosa que enfrenta problemas de calidad de vida, un

sistema de construcción inadecuado y soluciones arquitectónicas poco funcionales. Del mismo modo, se estudian las características geográficas, climáticas y demográficas, junto con las estrategias de subsistencia locales, así como la cultura y la identidad de la comunidad, para entender de manera completa la tipología de las viviendas y los materiales constructivos que se utilizan en la región.

Antecedentes Nacionales

Huamani et. al. (2021) Llevan a cabo su estudio en el anexo de Misquipata, situado en la provincia de Chupaca, en la región de Junín, a una altitud de 3646 m. s. n. m. y con temperaturas que oscilan entre -4 °C y -6 °C. En el anexo mencionado, a partir del 2019, comenzó la edificación de 67 módulos de Sumaq Wasi, con el propósito de mitigar las heladas y elevar la calidad de vida de los residentes, los cuales fueron entregados a la comunidad en el año 2020. Cada uno de los módulos cuenta con un área de 26. 25 m2; presentan un diseño bioclimático, con techos a dos aguas, de un nivel que incluye dos dormitorios, un espacio social, un área de transición, pisos de madera machihembrada en los dormitorios y de cemento pulido en el área social, así como ventanas de vidrio con contraventanas de triplay y madera. Realizaron visitas quincenales y, tras su análisis, determinaron que el confort térmico es medianamente adecuado influenciado por factores climáticos, las pautas bioclimáticas, la arquitectura y los materiales utilizados, además de que no se adaptan a lo que requieren los usuarios, lo que provoca un uso ineficaz de los espacios. Ante esta situación, sugieren cuatro variantes de módulos habitacionales en distintos contextos, orientaciones y actividades de la comunidad local.

En su tesis, Lozano (2020) determina si el confort térmico en las viviendas rurales de la zona altoandina en los distritos de San José de Quero y Yanacancha, Región Junín, favorece la mejora de la salud familiar. Para ello utiliza un enfoque descriptivo, metodología cuantitativa y diseño no experimental, encuestando a 32 familias en las dimensiones que evalúan a través de un cuestionario de 11 preguntas, 9 de escala Likert y 2 sin escala. Concluye que el confort térmico influye en la mejora de la salud, ya que logró un coeficiente rho de Spearman de 0. 630 y un valor de 0. 005, menor al valor teórico de 0. 05.

En su artículo, Linares (2022) Se presenta un estudio sobre el rendimiento térmico de un modelo de vivienda "optimizadora" construido en la región de Santa Rosa (Puno), situado a 3800 metros sobre el nivel del mar y se proponen estrategias para optimizar el control de la temperatura en la fabricación de módulos repetitivos. Para llevar a cabo este análisis, se realizó un monitoreo constante de las temperaturas tanto dentro como fuera de los hogares en dos muestras diferentes durante varios días en el periodo invernal, con intervalos de una hora, utilizando instrumentos DataLogger. Además, se llevó a cabo una evaluación física de las residencias. Los hallazgos indicaron que los hogares experimentan pérdida de calor a través de la conducción de los materiales de las paredes, techos, puertas y ventanas, así como por una orientación inadecuada que afecta la exposición solar y la ventilación. Por ejemplo, se determinó que la mayor parte del envolvente, compuesta por muros de adobe, constituye el 60 % del cerramiento total y, aunque este material posee baja conductividad, es responsable del 77 % de la pérdida de calor debido a la carencia de un adecuado revestimiento. Por último, se concluye que, al implementar las modificaciones sugeridas en el diseño de la vivienda "mejorada", se logra

incrementar la temperatura interna en 1. 87 °C durante las horas más frías y mantener una temperatura promedio interior de 14 °C.

En su tesis, Gutiérrez et. al. (2022) Se señala que, a causa del método de construcción (caracterizado por una planificación deficiente y la omisión de numerosos aspectos relevantes, así como por técnicas inadecuadas y la carencia de mantenimiento que generan filtraciones de aire frío y puentes térmicos en techos, puertas, ventanas o suelos dentro de las viviendas) en las áreas altoandinas, no se logra un adecuado confort térmico en el interior de las casas. Por consiguiente, se lleva a cabo una investigación cuyo propósito fue evaluar cómo el sistema de acondicionamiento térmico pasivo impacta las viviendas del caserío de Cushuro, ubicado en Huamachuco. Los hallazgos revelan que para alcanzar la habitabilidad de las casas altoandinas a través del confort térmico, es esencial considerar la disposición de los ambientes, los materiales, la orientación, la organización de espacios llenos y vacíos, así como el sistema constructivo. Además, es necesario contar con una configuración de ambientes utilizando materiales térmicos (como tierra, madera, piedra y paja) que faciliten la circulación del aire, y así establecer sistemas de confort térmico: constructivo-estructural de tipo tradicional, muros trombe y un sistema alternativo de calefacción que ayude en la retención del calor.

En su tesis, Ticona et al. (2022) la eficacia del diseño del Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizado para optimizar el confort térmico en la región altoandina de Puno, Perú, se investiga mediante un estudio. La comunidad se compone de todas las unidades de vivienda Rural Bioclimatizada que pueden ser edificadas en la región de Puno. Se escogió como modelo una vivienda rural emblemática del distrito de Pichacani, provincia y departamento de Puno, junto con una maqueta a escala 1:10

del módulo bioclimatizado. Los hallazgos sugieren que el módulo VRB, construido con adobe local y estrategia solar pasiva (invernadero), optimiza el confort térmico, incrementando en 37 % la temperatura interna en comparación con el exterior y en 27 % en comparación con la vivienda vernácula de adobe de la región, logrando un 56 % de humedad relativa, conforme a la norma ASHRAE Standard 55.

Antecedentes Locales

En su tesis, Trigoso et. at. (2019) se elabora un nuevo centro asistencial con el objetivo de satisfacer las necesidades de las niñas y adolescentes que se encuentran en situaciones de abandono o riesgo, ofreciendo un entorno que favorezca su desarrollo integral y mejore su calidad de vida. Además, se incorpora el proyecto a la comunidad rural que lo rodea, fomentando un sentido de pertenencia entre el centro y los habitantes locales. En su propuesta arquitectónica, se contempla el concepto de identidad, reflejando el Canal de Cumbemayo y el significado de un albergue, lo cual guía la configuración morfológica y espacial del proyecto. También se consideran factores ambientales que influencian el diseño del espacio, su ubicación y la volumetría.

En su tesis, Bustamante (2021) presenta el desarrollo de combinaciones de concreto sencillo con diversas proporciones de poliestireno y evalúa el efecto en su fase sólida en términos de masa, fuerza de compresión, propiedades térmicas y acústicas a través de pruebas en 3 estructuras a pequeña escala. Para esto, emplea 84 muestras de concreto en forma cilíndrica con 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30% de poliestireno en relación al volumen de los agregados. (fino y grueso).

En su tesis, Guevara (2020) indica que, en la localidad de Chota, la promoción del avance socioeconómico en la urbe no considera las tradiciones y prácticas asociadas a su arquitectura. Hay infraestructuras que representan la cultura local, como el Mercado Central de Chota, que se hallan en condiciones deficientes de mantenimiento y operando con mala organización debido al descontrolado crecimiento y al comercio ambulante. Por ello, se reconoce la importancia de implementar una arquitectura inclusiva para lugares como este y se lleva a cabo un estudio e identificación de los códigos arquitectónicos de la arquitectura tradicional de Chota para desarrollar una arquitectura integradora en el diseño del nuevo Mercado Central de la ciudad.. Para ello logra establecer la situación funcional actual del Mercado Central de Chota, identifica la tipología de arquitectura vernácula en la Ciudad de Chota; analiza las técnicas constructivas vernáculas en la arquitectura de la Ciudad de Chota, identifica los códigos formales, espaciales y funcionales de arquitectura aplicados en el contexto arquitectónico mediato e inmediato del Mercado Central de Chota, y; determina los espacios o zonas que se requiere implementar en el Mercado Central de Chota.

En su tesis, Díaz (2019) el propósito de este estudio es identificar los sistemas pasivos de climatización que deben implementarse en el área cultural constante de un museo histórico narrativo para alcanzar el bienestar térmico en la región de Cajamarca. Para ello, se evalúan las condiciones climáticas de Cajamarca mediante Climate Consultant 6. 0, con el fin de identificar los sistemas pasivos de climatización aplicables en este escenario y establecer las pautas de diseño que guiarán el proyecto arquitectónico, además de verificar el confort térmico utilizando el software Achiwizard 7. 0. Se concluye que los sistemas pasivos de climatización que

garantizan el confort térmico incluyen la orientación, la envoltura térmica, la calefacción solar y la refrigeración.

En su tesis, Irigoín (2018) menciona que las condiciones de fríos extremos o similares se ven reflejadas en la incomodidad de los pacientes en la posta médica del C.P. Bella Andina, provincia de Chota, departamento de Cajamarca. Diseña un sistema de calefacción solar que puede ser replicado por los pobladores en general. Para ello, determina el recurso solar disponibles con un promedio de 5 kW-h/m^2 y las temperaturas que se presentan en el lugar que llegan incluso hasta los -10 °C. Siendo la solución óptima una mezcla de técnicas que van desde un sistema de acumulador de calor (techo de piedras) más el recubrimiento de poliestireno (Tecnopor de 2.54 cm de espesor) y un cálculo de la carga térmica de diseño a una temperatura necesaria de 22 °C. La propuesta tiene la ventaja de ser un sistema económico con una vida útil aceptable debido a los materiales empleados y posee simpleza en la instalación y el mantenimiento.

En su tesis, Moro (2020) propone materiales ecológicos no tradicionales para alcanzar la transmitancia térmica en muros para la I.E. Morán Alto – Cajamarca, según la Norma EM. 110, para ello realiza la búsqueda de materiales aislantes sostenibles seleccionando al corcho, cáñamo y celulosa que cumplen las condiciones de transmitancia térmica en muros de 1.76 W/m^2.K, 1.72 W/m^2.K, 1.71 W/m^2.K respectivamente; con un espesor de 2 cm para una zona Mesoandina según lo establece la norma EM.110, que es donde se encuentra ubicado el módulo de la I.E. N° 101026 Morán Alto. Concluye verificando que en el proyecto del módulo de la I.E. N° 101026 Morán Alto, los muros de paneles de madera y aislante térmico

ecológico no tradicional cumple con los parámetros de transmitancia térmica máxima exigida por la norma EM.110.

1.2 Base Teórica

Para la OPS (2022) una casa saludable actúa como un santuario que fomenta un estado de completo bienestar físico, mental y social. Además, genera una percepción de hogar y un sentimiento de pertenencia, seguridad e intimidad. También se refiere a su integridad física y a cómo contribuye a la salud, incluyendo ser estructuralmente robusta; brinda refugio de condiciones climáticas adversas y de la humedad excesiva; y asegura temperaturas agradables, saneamiento e iluminación adecuadas, espacio suficiente, energía segura o conexión a la red eléctrica, así como protección contra contaminantes, riesgos de lesiones, moho y plagas. También se indica que la salubridad de un hogar depende de factores que van más allá de sus paredes, como la comunidad local, que promueve interacciones sociales que benefician la salud y el bienestar. Por último, una vivienda saludable está influenciada por su entorno cercano y por su capacidad de proporcionar acceso a servicios, áreas verdes y opciones de transporte tanto activo como público, además de ofrecer resguardo contra desechos, contaminación y los efectos de desastres, sean estos naturales o causados por el ser humano.

1.2.1. Conservación de la Energía.

La ley de conservación de la energía expresa que la energía no puede ser creada ni destruida, sólo se transforma. Es un principio que se basa en observaciones físicas que no está sujeto a demostración matemática. Para cualquier clase de sistema, esta ley se expresa según las Ec. 1 y 2 donde $E_{entr.}$

es la energía entrante al sistema, $E_{sal.}$ es la energía saliente del sistema, $E_{alm.}$ es el cambio de energía almacenada en el sistema, $(E_{alm})_1$ es la energía almacenada inicial y $(E_{alm})_2$ es la energía almacenada final del sistema (Virgil, F. y Simmang, C. 2005).

$$E_{entr.} - E_{sal.} = E_{alm.} \tag{1}$$

$$(E_{alm})_1 + E_{entr.} - E_{sal.} = (E_{alm})_2 \tag{2}$$

1.2.2. Conducción de calor.

La conducción de calor se estudia mediante la ecuación de Poisson la cual asumiendo que la generación de calor interna q''' y la conductividad térmica del material k son constantes, se escribe según la Ec. 3 en donde $T = T(x, y, z)$ es la distribución de la temperatura en tres dimensiones (Manrique 2005).

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q'''}{k} = 0 \tag{3}$$

1.2.3. Radiación de calor.

Cuando la radiación se intercambia entre dos cuerpos que no son negros y que están a diferentes temperaturas, el calor neto Q_{net} entre ellos se calcula mediante la Ec. 4, donde el factor de transferencia $\mathcal{F}_{1-2}$ depende de las emitancias de ambos cuerpos, σ es la constante de Stefan-Boltzmann igual a

$5.67704 \times 10^{-8}\, W/m^2 \cdot K^4$ y T_1, T_2 son las temperaturas absolutas de los cuerpos (Lienhard 2011).

$$Q_{net} = A_1 \mathcal{F}_{1-2} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \tag{4}$$

1.2.4. Ecuación de difusión de calor.

La ecuación de difusión de calor se expresa en la Ec. 5 donde $\propto$ es la difusividad térmica, k es la conductividad térmica, $T = T(x, y, z, t)$ es la temperatura según el punto de estudio en el espacio y en el tiempo.

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\propto} \frac{\partial T}{\partial t} \tag{5}$$

1.2.5. Carta Bioclimática de Olgyay y el confort térmico.

La carta bioclimática (National Bureau of Standards- **Olgyay**) que se muestra en la Fig. 02 fue originalmente desarrollado por Víctor y Aladar Olgyay en los 50's y que fue mejorado como resultado de investigación adicional por las siguientes instituciones: Departamento de Arquitectura de la Universidad de California, Berkeley, USA; Departamento de Arquitectura de la Universidad de Estambul, Turquía; Universidad de Yale, USA; Center for Buiding Technology, USA, National Engineering Laboratory, USA, National Bureau of Standards, Washington DC, USA, con el soporte del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (USA) (National Bureau of Standards- **Olgyay**). En la carta la zona de **confort térmico** se muestra en forma de una cuadrícula oscura con ejes: horizontal que es la humedad relativa, y; vertical: la temperatura de bulbo seco.

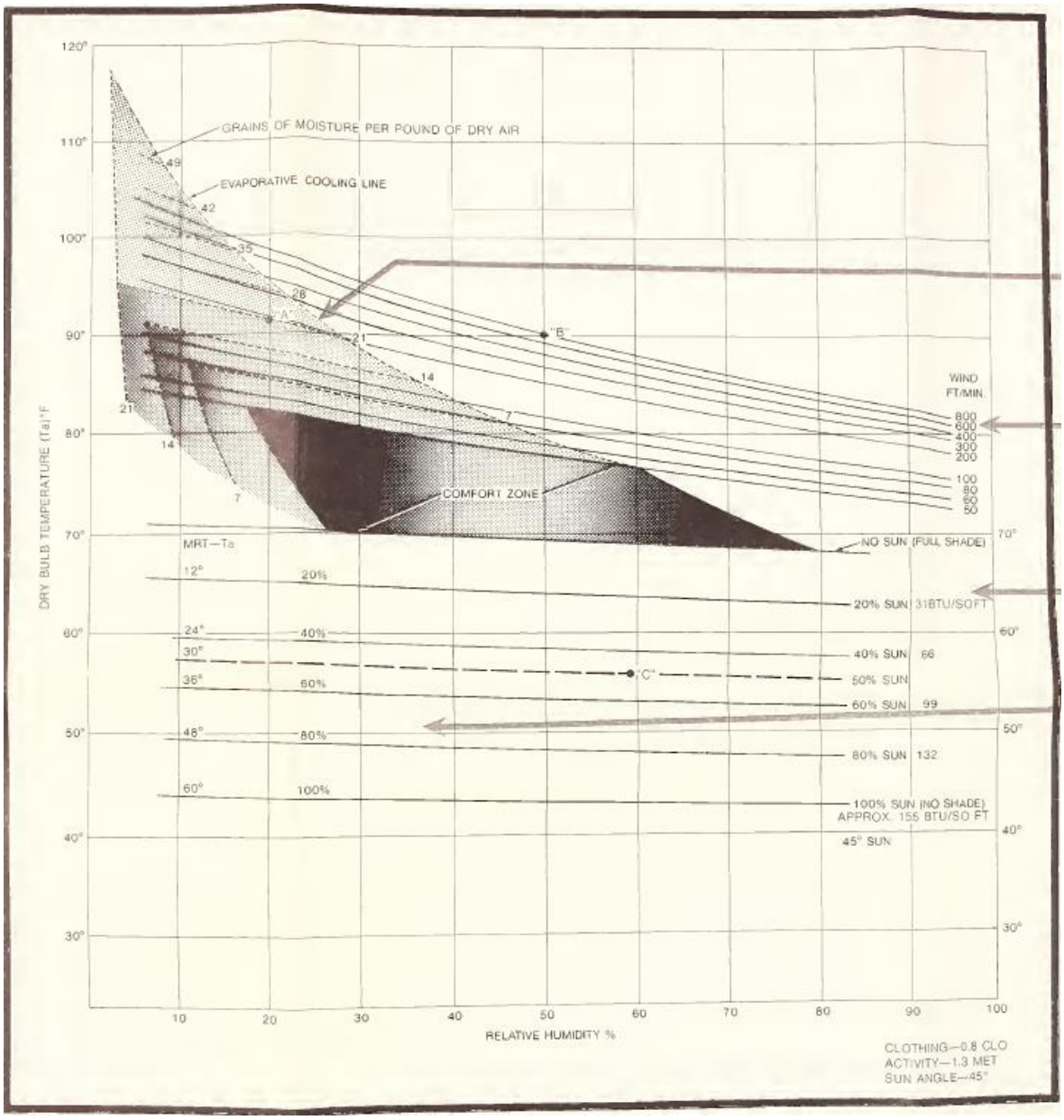


Figura 2:Carta Bioclimática de Olgyay

1.3 Definiciones Conceptuales

1. **Termodinámica:** La termodinámica se define como la disciplina dentro de las ciencias físicas que examina los diferentes fenómenos relacionados con la energía y las características asociadas a la materia, centrando su atención en las reglas que rigen la transformación del calor en otras energías y en el sentido opuesto. Unos ejemplos de estas conversiones que se presentan en la vida diaria son las

transformaciones de calor a electricidad. (en la generación termodinámica de energía eléctrica), de trabajo en energía cinética (en la transportación automotriz), etc. Virgil, F. y Simmang, C. (2005)

2. **Sistema termodinámico:** Un sistema es aquella porción del universo: puede ser un átomo, una galaxia, una cantidad específica de materia o un volumen particular en el espacio que se desea analizar. Es un área delimitada por un límite definido, el cual puede ser físico o conceptual. Así, un sistema termodinámico se refiere a un área establecida en el espacio donde se investigan las transformaciones de energía que suceden dentro de sus confines, así como, si se presenta el caso, el flujo de en|ergía o materia, o de ambos, a través de su límite, ya sea hacia el interior o el exterior. La zona que rodea completamente a un sistema se conoce como su entorno o medio que lo rodea.Virgil, F. y Simmang, C. (2005)

3. **Calor:** El calor es energía en transición (en movimiento) desde un cuerpo o sistema hacia otro, debido sólo a la diferencia de temperatura entre los sistemas. La interacción ocurre por radiación o por conducción Virgil, F. y Simmang, C. (2005)

4. **Transferencia de Calor:** La termodinámica y la transferencia de calor son dos ciencias afines que se complementan. La primera predice los requisitos de transferencia de calor de un sistema; la segunda, cómo se lleva a cabo tal transferencia. Manrique (2005)

1.4 Operacionalización de Variables

Variables	Definición de la Variable	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Variable Dependiente	Sustancias de origen natural o artificial que se usan para dar soporte a la estructura de la vivienda o para acabados los que según su uso tienen características técnicas deseables en calidad y cantidad en función al precio de los mismos y a poder tenerlos disponibles en la zona de construcción	Con el balance térmico realizado se identifica los mecanismos en los que se puede intervenir realizando propuestas de mejoramiento térmico las cuales serán cuantificadas para estimar el ahorro energético a lograr con la implementación de las propuestas	Reducción en pérdidas térmicas $[kW/m^2]$	Ficha de análisis de datos
Variable Independiente	Es la cantidad de energía del tipo térmica medido en kW que circula por m^2 y que viene condicionada por las variables medio ambientales. Posee tres mecanismos: conducción, convección y radiación térmica.	Según los materiales disponibles actualmente en la vivienda rural típica se determinará el balance térmico que conlleva a las condiciones actuales de confort térmico al interior de la vivienda	Flujo de energía térmica $[kJ/(s.m^2)]$	Ficha de observación

1.5 Hipótesis

La implementación de propuestas de mejoramiento térmico basadas en el análisis de datos de parámetros medio ambientales y el análisis mediante modelos matemáticos del flujo térmico, pérdidas térmicas y de almacenamiento térmico permitirá alcanzar el confort térmico en una vivienda típica de la parte central de la Sierra Norte del Perú.

CAPÍTULO II.

MÉTODOS Y MATERIALES

2.1 Tipo de Investigación

El tipo es aplicado y estuvo orientada a dar solución a los problemas asociados a nuestra línea de investigación, respecto a la mejora de confort térmico mediante el aprovechamiento de materiales disponibles localmente y técnicas y tecnologías que puedan ser asequibles a la comunidad.

Diseño de investigación: Esta investigación fue de diseño no-experimental, dado que durante el desarrollo de la presente tesis se realizará el análisis de datos de las condiciones ambientales y la estimación de calor y de energía térmica en una vivienda típica. Sin embargo, el contenido de la presente tesis tiene el potencial de aplicación en las viviendas rurales de la Sierra Norte del Perú.

2.2 Método de Investigación

Por la naturaleza de los datos, el método de investigación será cuantitativa, debido a que se basará en la observación directa para poder conocer el tipo de materiales usados en la construcción y acabados de una vivienda rural y cuantificar los mismos en la cantidad y espesor, así como la disposición de los mismos en los exteriores y/o interiores de una vivienda rural típica de la parte central de la Sierra Norte del Perú; para lo cual se hará una encuesta y una ficha de observación, que luego servirá como insumo para el uso de información científica y académica a fin de estimar el flujo térmico existente al interior la vivienda y generar el conocimiento suficiente para realizar propuestas de mejoramiento térmico.

2.3 Diseño de Contrastación

A continuación, se detallan los planes o estrategias concebidos para obtener la información que se desea y que brindan la oportunidad de comprobar las hipótesis, además de que al investigador a través del análisis estadístico de los datos para luego interpretarlos. Zaferson, V. y Cuéllar, C. (2022) .

2.3.1 Metodología para determinar el balance térmico durante 24 horas en una vivienda típica de la zona central de la Sierra Norte del Perú con fines de análisis de confort térmico.

Etapa 1: Búsqueda y obtención de datos

- Se tomarán los datos de materiales usados en la construcción de techo, paredes y piso de una vivienda rural típica. Así como sus características generales constructivas: composición, coeficiente de conductividad térmica, coeficiente de convección natural y emisividad, espesor y disposición al exterior/interior de la vivienda.
- Se introducirá las cantidades de Residuos Sólidos en una ficha de análisis de datos.

Etapa 2: Búsqueda y obtención de datos reales

- Se elaborará una ficha de observación directa la cual servirá para visitas de campo durante un período acumulativo de cuatro (4) semanas visitando viviendas en el C.P. Cadmalca Alto, distrito de Lajas, provincia de Chota, departamento de Cajamarca.

2.3.2. Metodología para determinar el balance térmico y propuestas de mejoramiento térmico.

Etapa 3: Cálculo para determinar el potencial de generación solar fotovoltaica.

- Primero: Caracterización especial de la vivienda rural típica con dimensiones de ambientes interiores y medidas exteriores, así como materiales usados.
- Segundo: Obtener los parámetros medioambientales de interés: temperatura, humedad relativa, irradiación solar.
- Tercero: Determinación del flujo térmico en kW según los mecánicos de conducción (pared-piso, piso-tierra), convección natural (techo-atmósfera, pared-atmósfera) y radiación (techo-firmamento, pared-firmamento).
- Cuarto: Se cuantificará los mecanismos de transferencia de calor durante las horas con Sol y en la noche.
- Quinto: Se determinará la temperatura al interior de la vivienda rural típica.
- Sexta: Se validará los resultados con investigaciones que cuenten con condiciones semejantes reportados por la literatura científica.

Etapa 4: Cálculo de las propuestas de mejoramiento térmico.

- Primero: Se obtendrá del balance térmico; las pérdidas térmicas por conducción, convección y radiación.

- Segundo: Se selecciona materiales que ayuden a reducir las pérdidas térmicas y que sean posible de adquirir/implementar en la zona de estudio.
- Tercero: Se estimará el nuevo valor de las pérdidas térmicas en kJ/m^3 debido a las mejoras en materiales de construcción y acabados.
- Cuarto: Se detallará los cambios en la estructura de la vivienda que conlleva la implementación de propuestas de mejoramiento térmico.
- Sexto: Se realizará la validación de los resultados con los datos reportados en la literatura científica.

2.3.3 Metodología para analizar los resultados

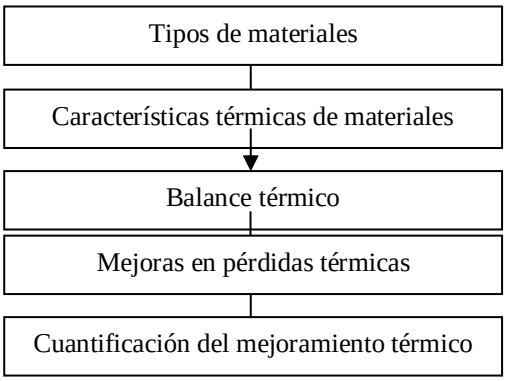
Todas las metodologías aplicables se desarrollarán teniendo en consideración los principios de la Termodinámica y la Transferencia de Calor, bajo el contexto de dos escenarios, los cuales son:

- Verano: Época del año entre junio y Setiembre que se caracteriza por ausencia de lluvias y días son pocas nubes. Se propone seleccionar para estudio un día típico de verano a mediados del mes de agosto.

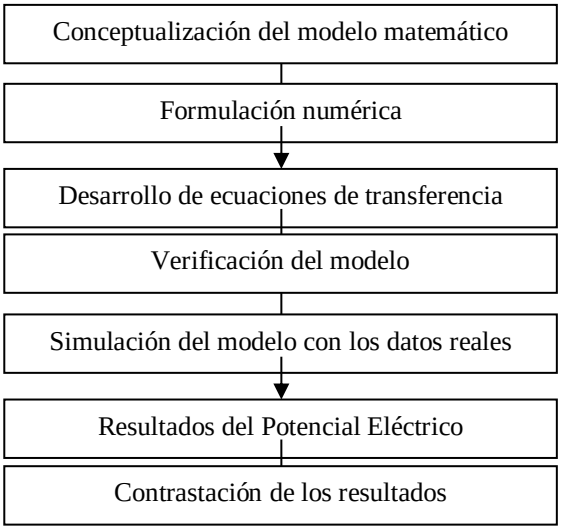
- Invierno: Época del año entre diciembre y abril que se caracteriza por la presencia de lluvias, con poco brillo solar y días por lo general nublados. Se propone seleccionar para estudio un día típico de invierno a finales del mes de febrero.

Los valores que serán recolectados de estos escenarios se simularán en el software Matlab/Simulink, con un modelo matemático de la vivienda rural típica, para después compararlo con los resultados teóricos y de estudios previos que tengan similares condiciones.

El proceso de análisis quedará sintetizado de la siguiente manera:



Dentro del modelo matemático será:



2.4 Población, Muestra y Muestreo

- **Población:** Viviendas rurales de la Sierra Norte del Perú.
- **Muestra:** Vivienda rural típica en el CP Cadmalca Alto.

- **Muestreo:** El muestreo será del tipo no probabilístico y por conveniencia.

2.5 Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos

2.5.1 Técnicas de Recolección de Datos

- **Encuesta:** Esta técnica permitirá realizar preguntas referentes a los materiales de construcción y de acabo en viviendas rurales del C.P. Cadmalca Alto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca.
- **Análisis de datos**: Serán los datos de tipos de materiales y formas de uso relacionados al confort térmico que se da en una vivienda rural típica de la Sierra Norte del Perú.

- **Análisis Documental**: Esta técnica permitirá obtener información referente al tema de la investigación. Los cuales son libros, tesis, tesinas, revistas indexadas, artículos y cualquier información que de manera fehaciente proporcione una información que aporte a la presente investigación.

- **Observación Directa:** Esta técnica permitirá conocer in situ el uso de materiales de construcción en las viviendas rurales de la Sierra Norte del Perú, en especial, en la zona del C.P. Cadmalca Alto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca. El tiempo destinado para este fin es de 28 días (4 semanas).

A su vez se utilizará el método científico, ya que fundamentará en los datos obtenidos y corroborar con los datos proporcionados por la literatura

científica y académica, convirtiendo los datos obtenidos con el propósito de resaltar la información más útil para el proyecto de investigación.

2.5.2 Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos

Las hojas y fichas a usar son las siguientes (ver detalle en Anexo 1):

- Hoja de cuestionario de encuesta.
- Ficha de observación.
- Ficha de análisis de datos.

2.6 Procesamiento y Análisis de Datos

- **Recolección de datos:** Se organizarán y ordenarán los datos, entre ellos condiciones medio ambientales; criterios y los procedimientos de fabricación, construcción y acabados de una vivienda rural típica de la parte central de la Sierra Norte del Perú. Esta acción se realizará con el uso de software Excel.
- **La Tabulación:** Se elaborarán los cuadros estadísticos con los datos codificados utilizando la tabla de frecuencias, cuadros y el análisis. Esta acción se realizará con el uso de software Excel.
- **Procesamiento de la información:** Se realizará una vez hecha la recolección de datos y obteniendo la tabulación. Para el procesamiento de la información se usará la herramienta software de alto nivel para modelamiento matemático y simulación numérica: Matlab/Simulink.
- **Análisis e Interpretación de Datos:** En lo referente al análisis de datos serán sometidos a un análisis y a un estudio sistemático como a su interpretación

pertinente, teniendo en cuenta los indicadores que estarán contrastados, de los cuales se desprenderán las conclusiones y recomendaciones.

- **Presentación y publicación de resultados:** Al lograr la correcta interpretación de los resultados se procede a publicar los resultados obtenidos manifestando la conclusión de ellos y aportando ciertas recomendaciones para el mejoramiento de estos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 Descripción de la casa típica de estudio.

La casa típica que se considera como modelo en el presente estudio se encuentra ubicada en la comunidad de Cadmalca Alto, distrito de Lajas, Provincia de Chota, República del Perú y cuyas coordenadas geográficas son: Latitud -6.597814; Longitud -78.718947. Las Fig. 2 y 3 muestran la casa y su entorno, y la Fig. 4 muestra una imagen satelital de la casa y la comunidad de Cadmalca Alto.



Figura 3:Vista lateral de la casa típica considerada para la presente tesis.



Figura 4:Vista de planta de la casa típica de estudio.

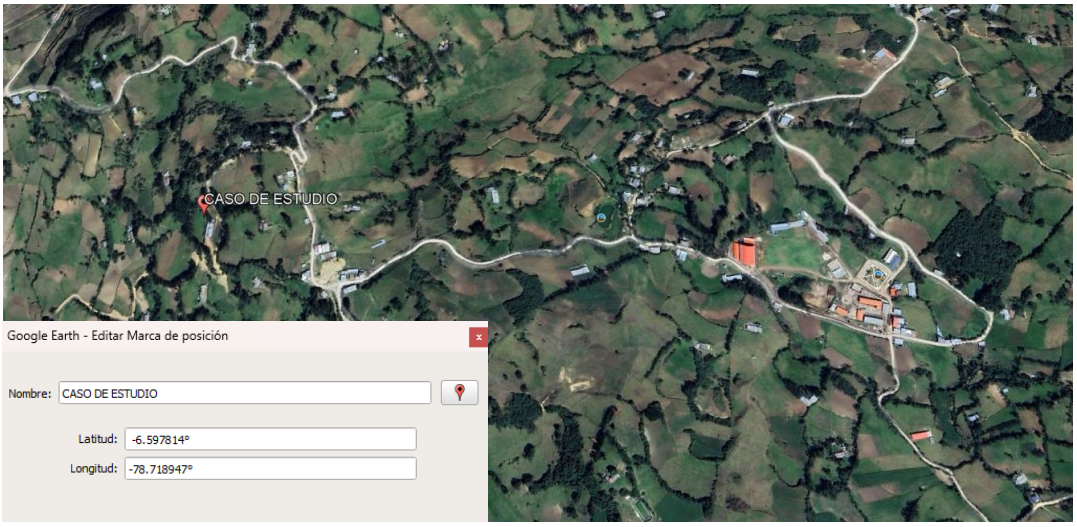


Figura 5:Vista satelital de la casa típica del presente estudio.

La casa típica según se muestra en la Fig. 6 cuenta con dos ambientes: Dormitorio (D) y Cocina mejorada – comedor (CM-C). El ambiente D posee dimensiones de 5 m de ancho por 3.30 m de fondo. El ambiente CM-C tiene como dimensiones: 6.70 m de ancho por 3.30 m de fondo. Las paredes son de adobe y tienen un espesor de 0.50 m (50 cm). Cada ambiente posee una puerta de dos hojas como acceso, la cual posee un ancho de 1.20 m. El ambiente D cuenta con una cama y una mesa de estudio con dos sillas. El ambiente CM-D cuenta con una cocina mejorada y una mesa de comedor con 8 sillas. Una pared de adobe de 50 cm es la división entre ambientes.

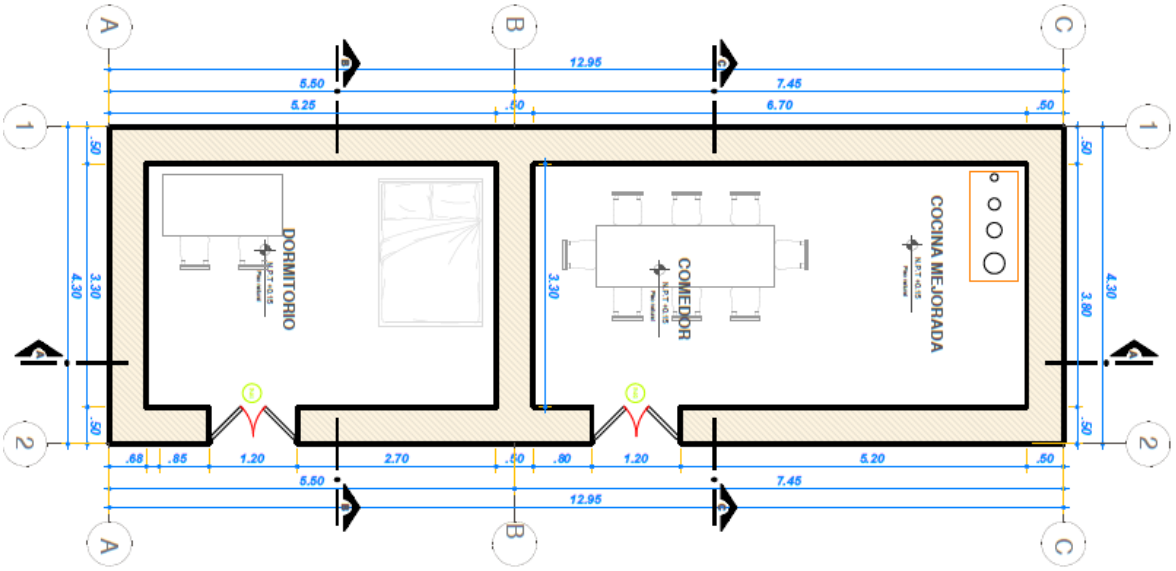


Figura 6:Vista de planta de la casa típica de estudio.

En la Fig. 7 se muestra un corte transversal de la casa, en donde se puede apreciar que las paredes están compuestas de un base de piedra y la parte superior de adobe, las bases de las paredes son de concreto las cuales se apoyan sobre el terreno natural del lugar. La cocina mejorada posee una chimenea que atraviesa el techo y sus gases de combustión se evacúan hacia el exterior. El techo está constituido por un armazón de madera sobre el cual se ha dispuesto calaminas.

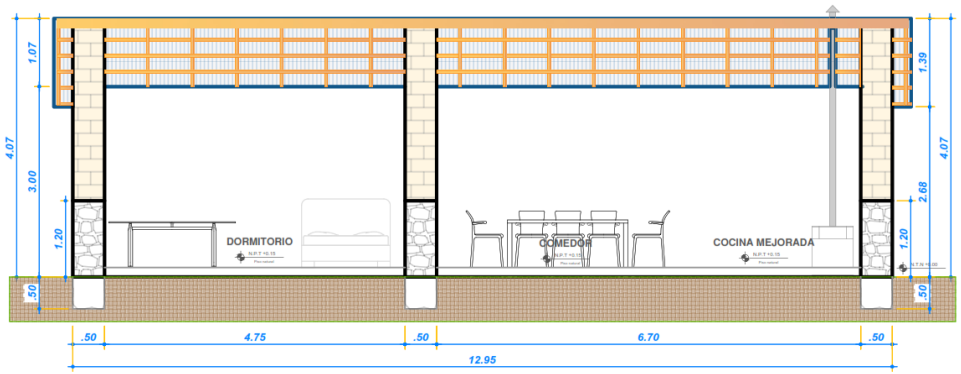


Figura 7:Corte transversal de la casa típica de estudio.

En la Fig. 8 se muestra el corte seccional del ambiente D en donde se puede apreciar que existe instalado un techo de madera machimbrado y que cubre todo el ambiente ubicado a 3 metros sobre el piso terminado del dormitorio y que forman parte de la estructura del techo (tiene como finalidad mantener unidas las dos aguas del techo).

Las bases de concreto de las paredes tienen una profundidad de 0.6 m y la casa cuenta con una altura total de 4.07 m desde el piso terminado hasta el ápice del techo. De manera similar en CM-C hay un techo de madera machimbrado completo.

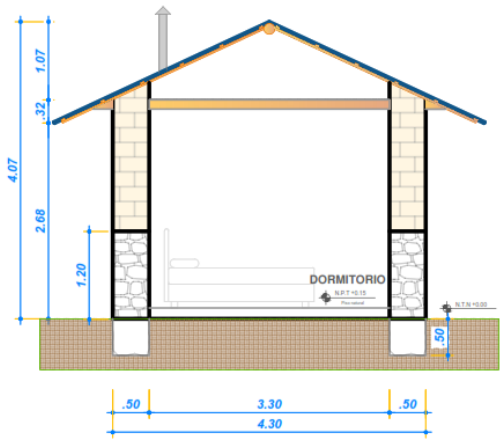


Figura 8:Corte seccional del ambiente D.

En la Fig. 9 se muestra el listado y ubicación de los materiales constituyentes de la casa típica en estudio.

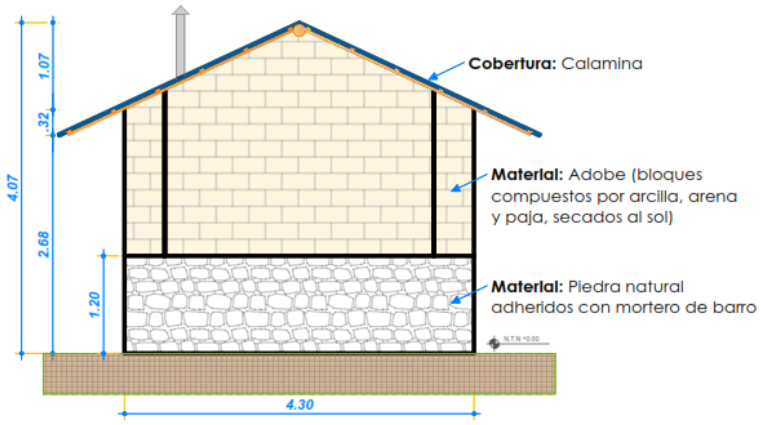


Figura 9:Vista posterior de la casa típica de estudio.

Datos de condiciones ambientales dentro y alrededor de la casa típica de estudio.

Los parámetros que se han recolectado son (a) temperatura en °C; (b) humedad relativa en %; (c) iluminación en lux, y; (d) punto de rocío en °C.

Los puntos de toma de datos han sido: (a) en la parte central del CM-C; (b) en la parte central del D, y; (c) en el exterior a dos metros de la puerta de acceso al ambiente D.

La recolección de datos de parámetros al interior y alrededor de la casa de estudio se realizaron con los siguientes instrumentos:

a) Termómetro e hidrómetro digital.

b) Radiómetro digital.

Las fechas de lecturas de datos han sido las siguientes:

-Dormitorio (D): Desde el 23 de enero al 31 de enero del 2025

-Cocina (CM-C): Desde el 31 de enero al 12 de febrero del 2025

-Externa (Ext.): Desde el 12 de febrero al 27 de febrero del 2025

En la Fig. 8 se muestra la evolución de las variables medioambientales: temperatura, humedad relativa, iluminación y temperatura de rocío al interior del dormitorio (D). Los respectivos valores máximo, mínimo, desviación estándar, valor promedio se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1:Valores estadísticos referenciales de variables medioambientales de dormitorio (D)

D	**Temp. [°C]**	**RH [%]**	**Ilum. [lux]**	**Temp. Rocío [|C]**
Val. máx.	20.7062	80.1865	43.0400	14.2915
Val. mín.	13.3768	55.2170	0	7.4737
Val. prom.	16.4195	71.6814	0.5553	11.2772
Desv. Estand.	1.5295	4.4671	3.4360	1.3926
Varianza	2.3394	19.9546	11.8058	1.9394

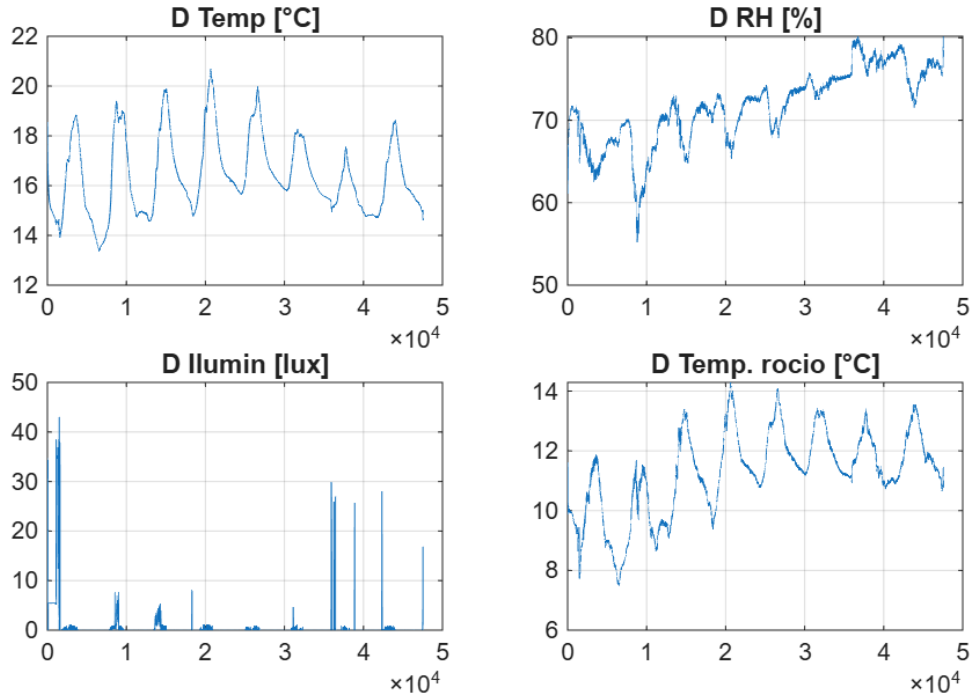


Figura 10:Evolución de las variables medioambientales: temperatura, humedad relativa, iluminación y temperatura de rocío al interior del dormitorio (D).

En la Fig. 11 se muestra la evolución de las variables medioambientales: temperatura, humedad relativa, iluminación y temperatura de rocío al interior del ambiente cocina mejorada – comedor (CM-C). Los respectivos valores máximo, mínimo, desviación estándar, valor promedio se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2:Valores estadísticos referenciales de variables medioambientales en la cocina mejorada – comedor (CM-C).

CM-C	Temp. [°C]	RH [%]	Ilum. [lux]	Temp. Rocío [|C]
Val. máx.	28.9345	90.4800	206.2400	17.9269
Val. mín.	12.1931	46.3867	0	8.1696
Val. prom.	16.7118	76.3175	2.1486	12.4114
Desv. Estand.	3.0789	8.2309	10.3281	1.3313
Varianza	9.4795	67.7484	106.6692	1.7724

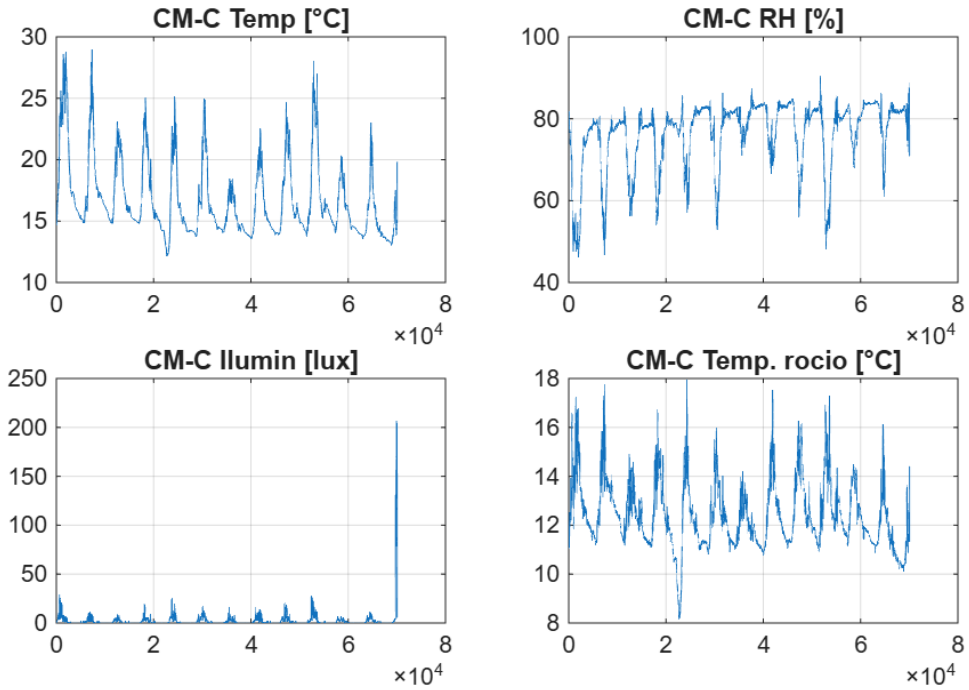


Figura 11:Evolución de las variables medioambientales: temperatura, humedad relativa, iluminación y temperatura de rocío al interior de la cocina mejorada - comedor (CM-C).

En la Fig. 12 se muestra la evolución de las variables medioambientales: temperatura, humedad relativa, iluminación y temperatura de roció en el exterior a la casa (Ext.). Los respectivos valores máximo, mínimo, desviación estándar, valor promedio se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3:Valores estadísticos referenciales de variables medioambientales en el exterior a la casa (Ext.).

CM-C	Temp. [°C]	RH [%]	Ilum. [lux]	Temp. Rocío [|C]
Val. máx.	23.0146	95.5490	332.9600	16.5762
Val. mín.	10.0550	61.0046	0	8.3204
Val. prom.	13.5959	87.8943	31.2745	11.6105
Desv. Estand.	1.7183	5.0919	51.3044	1.2121
Varianza	2.5925	25.9267	2632.1157	1.4692

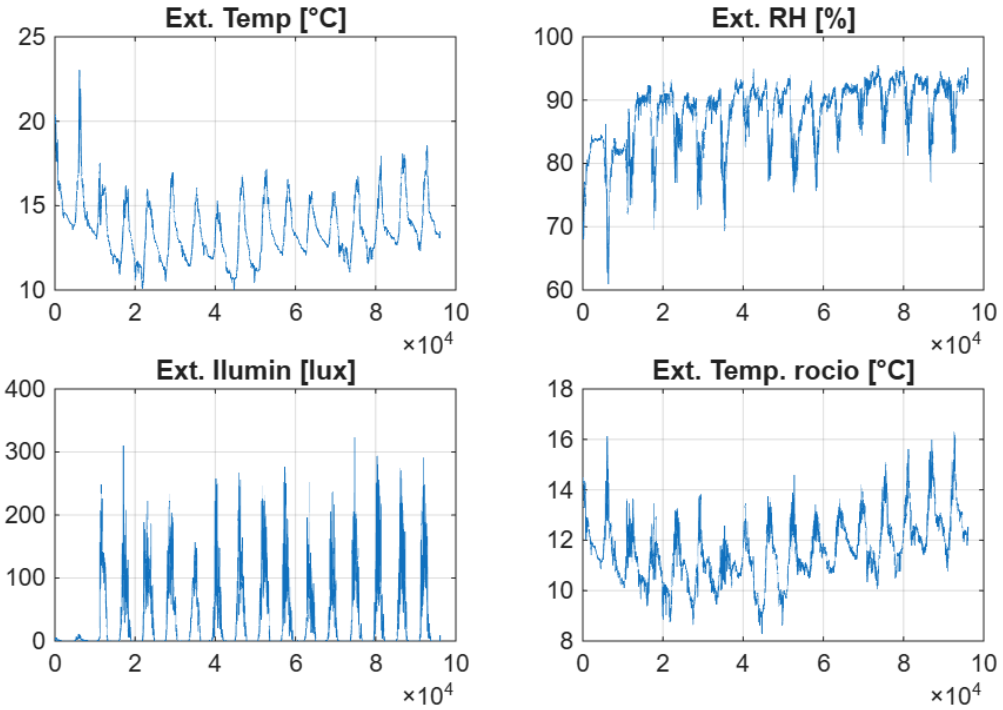


Figura 12:Evolución de las variables medioambientales: temperatura, humedad relativa, iluminación y temperatura de rocío en el exterior (Ext.) de la casa típica.

Al analizar las Fig. 10, 11 y 12, se observa que son dos variables las que presentan valores que son motivo de un mayor estudio: la humedad relativa y la temperatura del aire.

En la Fig. 13 se muestra la superposición de valores de humedad relativa entre D, CM-C y el Ext.; la humedad relativa del Ext. es superior al de la CM-C y D, es decir, la humedad relativa del exterior condiciona que los ambientes tengan alta humedad, una solución sería condensar la humedad existente al interior de los ambientes y drenarlos por el sistema de desagüe.

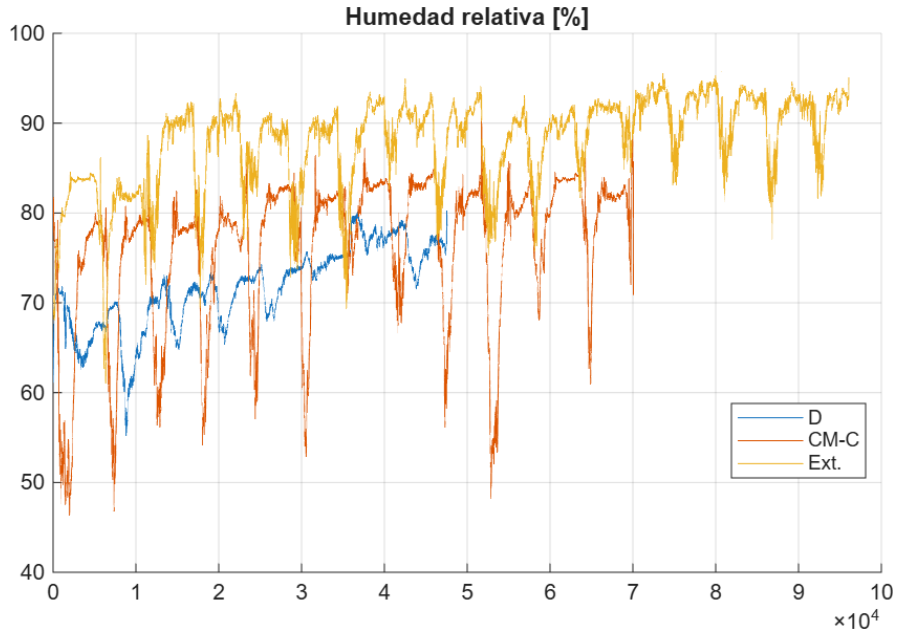


Figura 13:Superposición de valores de humedad relativa de D, CM-C y el Ext.

La Fig. 14 muestra la evolución de las temperaturas del aire en D, CM-C y Ext. Las temperaturas más elevadas se presentan en la CM-C (se asume debido a la actividad de cocina), seguido del D y temperaturas más frías en el Ext. con diferencias de aprox. 4 a 10 °C entre las temperaturas más frías y las más cálidas en el Ext.

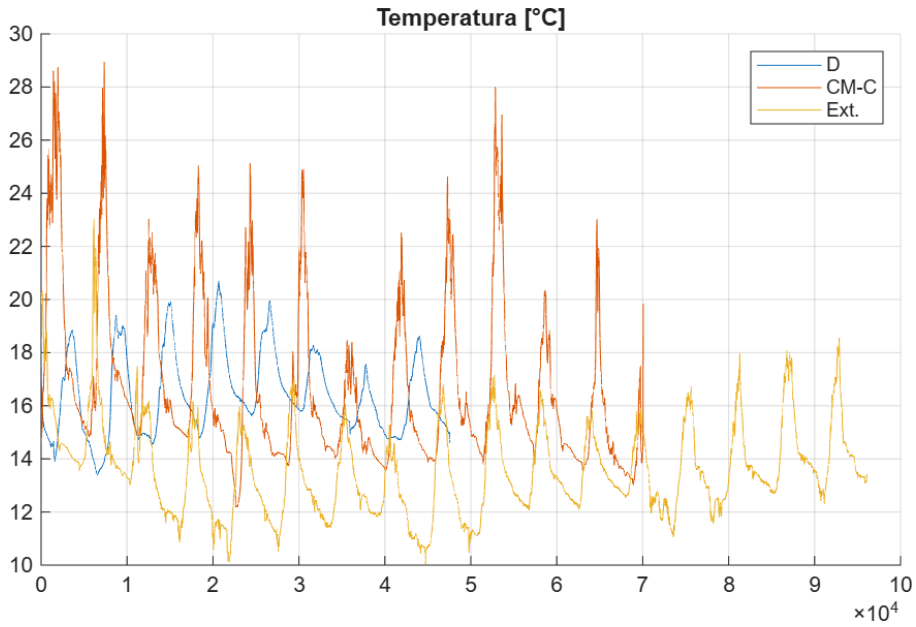


Figura 14:Superposición de valores de temperatura de D, CM-C y el Ext.

Siendo el objetivo de la tesis el lograr un confort térmico dentro de la vivienda típica rural se hace necesario cuantificar las variaciones de la temperatura y humedad relativa en D y CM-C de los valores referenciales dentro de los cuales se considera como zona de confort.

Teniendo como referencia la Carta Bioclimática de Oldyay (National Bureau of Standards- **Olgyay**), los rangos de valores de humedad relativa y temperatura se van a considerar como zona de confort para la presente tesis son: rango de temperatura entre 67 °F y 82 °F (aproximadamente **de 19,4 °C a 27,8 °C**) y de la humedad relativa que debe estar entre el **40 % y 70 %** para evitar molestias por sequedad o exceso de humedad y el riesgo de moho.

Las Ec. (6), (7) y (8) permiten calcular el exceso de humedad relativa con el límite superior de confort térmico que en humedad relativa es 70 % y que se representan en la Fig. 13 en donde la CM-C presenta una mayor humedad en comparación al D, esto debido al uso de agua en estado de ebullición en la cocción de alimentos y la humedad relativa del Ext. que se infiltra en el interior para renovar el aire consumido por la cocina mejorada. El exceso de humedad relativa en el Ext. $\delta RH_{Ext.}$ posee ese comportamiento debido a las características geográficas del lugar en que se encuentra ubicado la casa rural – un lugar de mucha vegetación en árboles y arbustos, con cultivos de papa, maíz y que en general, como comunidad, es altamente productiva en productos agrícolas y ganaderos debido a las condiciones medioambientales favorables para la existencia de agua durante todo el año para la siembra de las chacras y la alimentación de ganado y animales menores.

$$\delta RH_D = HR_D - 70 \quad (6)$$

$$\delta RH_{CM-C} = HR_{CM-C} - 70 \quad (7)$$

$$\delta RH_{Ext.} = HR_{Ext.} - 70 \quad (8)$$

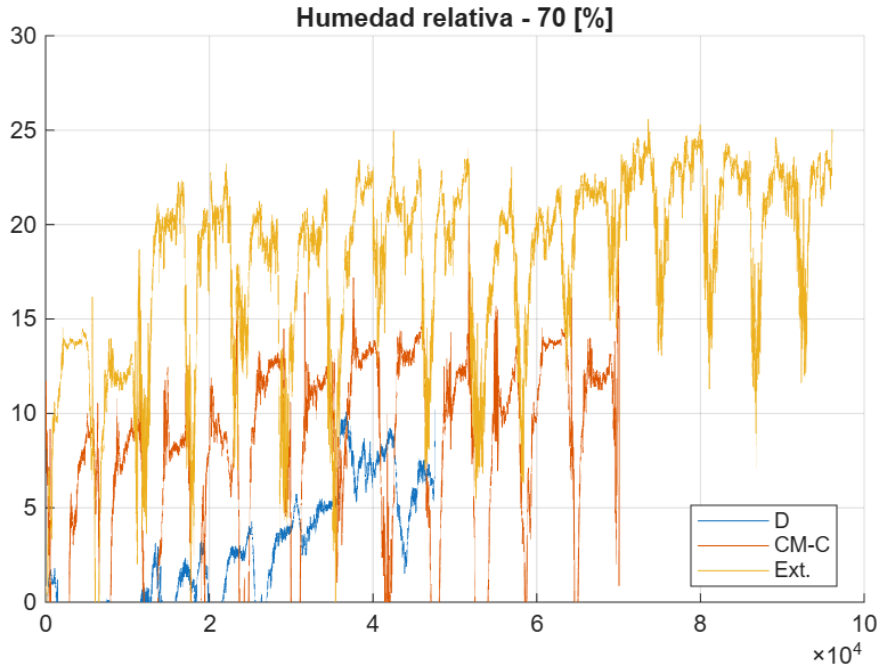


Figura 15:Evolución del exceso de humedad relativa sobre el 70 %.

En el caso de la temperatura se tiene una región de confort que está entre los 19.4 °C y 27.8 °C. Por lo tanto, exceder los 27.8 °C y tener una temperatura menor a 19.4 °C es necesario conocer, dado que cuantificar ambos escenarios nos puede dar idea de la magnitud y necesidad de enfriamiento o calentamiento del aire respectivamente.

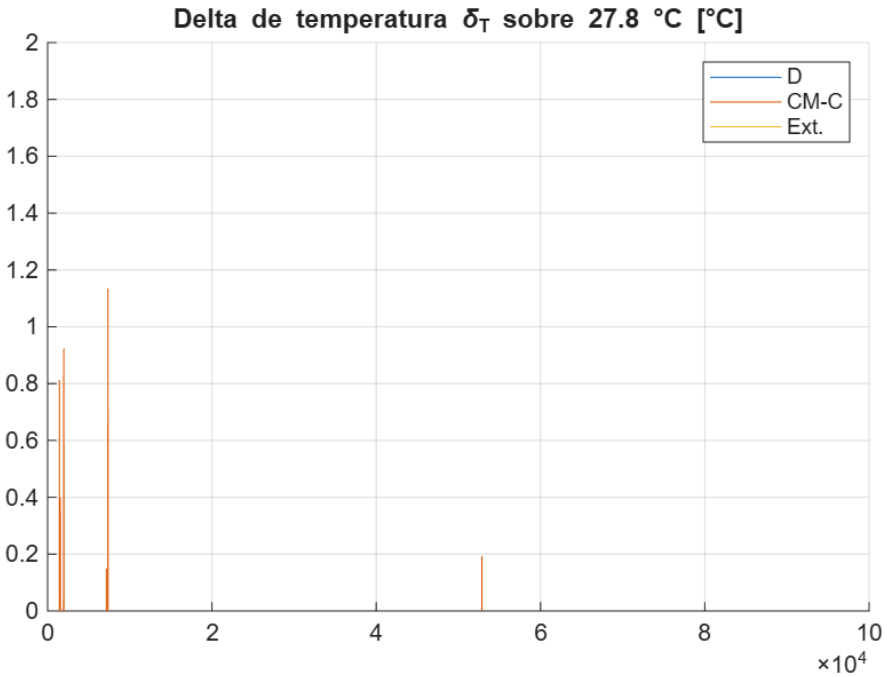


Figura 16:Evolución del exceso de temperatura sobre los 27.8 °C.

La Fig. 16 muestra el exceso de temperatura sobre los 27.8 °C que se presentan en el D, CM-M y Ext., los cuales son muy pocos durante el tiempo de observación y se concentran en el ambiente de la CM-C que sería producto de la combustión en la cocina, radiación de la chimenea dentro de la CM-C y gases de escape que pueden escapar de la cámara de combustión y chimenea.

En la Fig. 17 se muestra el delta absoluto de temperatura de las temperaturas del D, CM-C y Ext. en referencia a 19.4 °C determinadas mediante las Ec. (7), (8), (9) y (10). Se observa que tanto los ambientes D y CM-C presentan un delta de temperatura positivo indicador de la necesidad de energía térmica que permita elevar la temperatura a dentro de la zona de confort: mayor igual a 19.4 °C y menor igual a 27.8 °C. También se aprecia que el Ext. presenta el mayor delta de temperatura (las menores temperaturas en referencia a 19.4 °C).

El uso del valor absoluto es fundamental en el análisis de confort térmico, ya que permite transformar cualquier desviación en una magnitud estrictamente positiva. Esto resulta indispensable tanto si la temperatura medida desciende por debajo del límite inferior de confort (generando una diferencia originalmente negativa) como si supera el límite máximo permitido. Al eliminar el signo, el valor absoluto cuantifica la magnitud real del desfase térmico, facilitando así el cálculo homogéneo de las desviaciones sin importar si el ambiente experimenta frío o calor excesivo.

$$\delta_{T_D} = |19.4 - T_D| \tag{7}$$

$$\delta_{T_{CM-C}} = |19.4 - T_{CM-C}| \tag{8}$$

$$\delta_{T_{Ext.}} = |19.4 - T_{Ext.}| \tag{9}$$

$$T_D, T_{CM-C}, T_{Ext} < 19.4\ °C \tag{10}$$

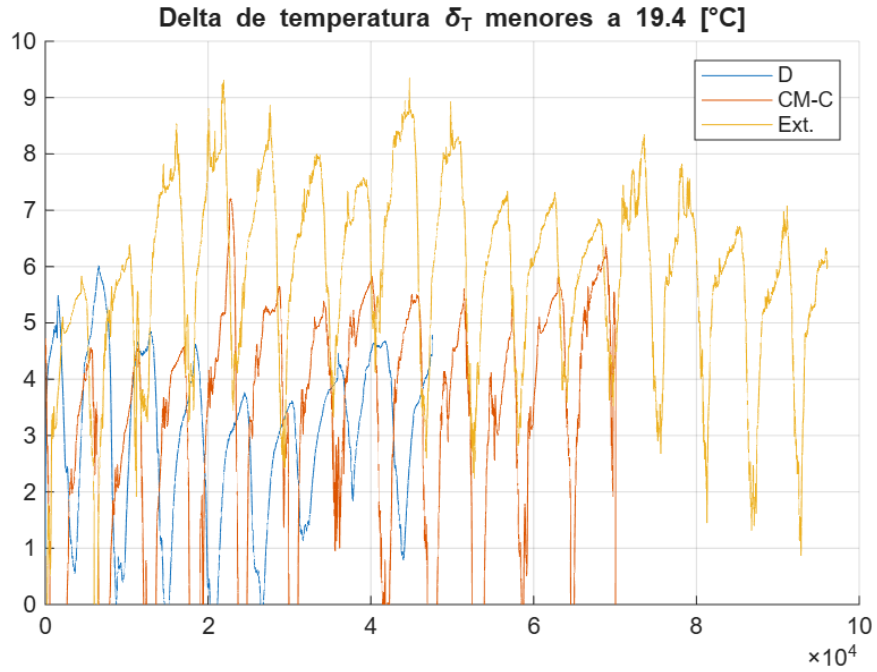


Figura 17:Evolución del delta absoluto de temperatura de las temperaturas en referencia a 19.4 °C.

Según lo mostrado en figuras anteriores, es la temperatura del Ext. quien actúa como foco frío en los procesos de transferencia de calor. Por lo tanto, se hace necesario cuantificar el delta de temperatura entre cada ambiente (D, CM-C) y el Ext. lo cual se realiza mediante las Ec. (11), (12), (13) y (14), y; cuyos resultados se muestran en la Fig. 16 con la mayor diferencia de temperaturas entre CM-C y Ext en comparación con entre D y Ext.

$$\delta_{T_D - T_{Ext.}} = |19.4 - T_D| \quad (11)$$

$$\delta_{T_{CM-C} - T_{Ext.}} = |19.4 - T_{CM-C}| \quad (12)$$

$$T_{CM-C} - T_{Ext.} > 0\ °C \quad (13)$$

$$T_D - T_{Ext.} > 0\ °C \quad (14)$$

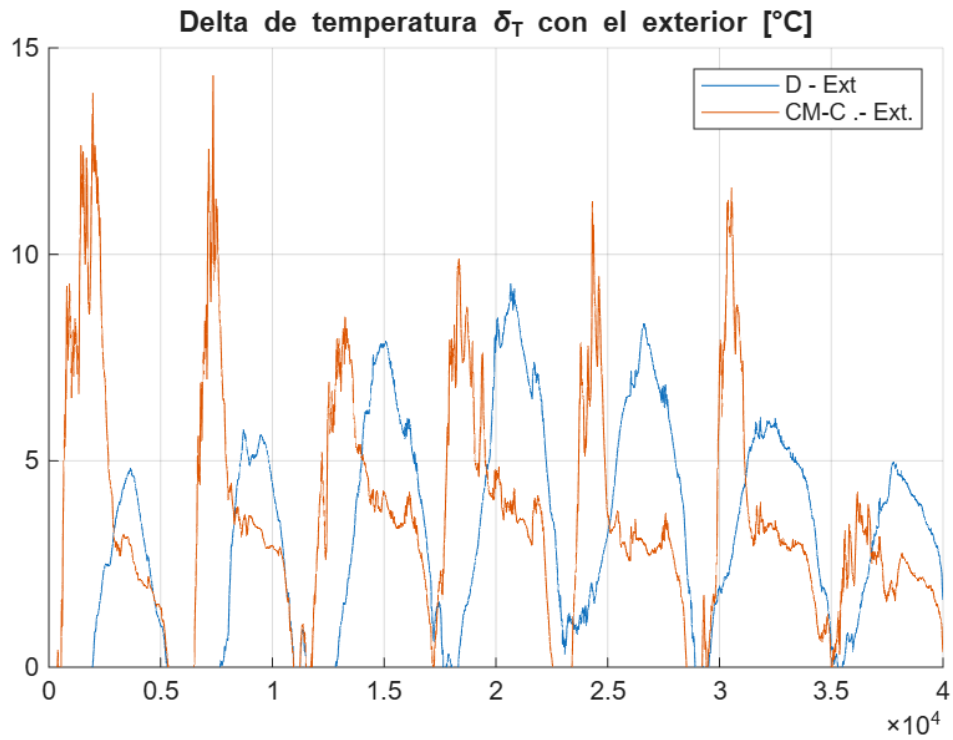


Figura 18:Evolución del delta de temperatura entre cada ambiente dormitorio, cocina (D, CM-C) y el exterior (Ext.).

De los datos de campo recolectados se concluye que se presentan tres condiciones ambientales de interés para el objetivo de mejorar el confort térmico en la casa típica en estudio:

a) Usualmente la humedad relativa medida en el D y CM-C tienen un valor mayor a la máxima humedad relativa de confort térmico (70 %).
b) Usualmente las temperaturas del aire registradas en el D y CM-C tienen un valor menor a la mínima temperatura de confort térmico (19.4 °C).
c) Usualmente las temperaturas del aire tanto en el D y CM-C tienen un valor menor a la temperatura del aire exterior presente en los alrededores de la casa típica en estudio.

Una representación de la evolución del comportamiento simultaneo de los diferentes parámetros de interés que se han considerado en la presente tesis para evaluación y mejora del confort térmico se muestran en las Fig. 19, 20 y 21.

En la Fig. 19 se muestra la superposición de las densidades de probabilidad de las humedades relativas al interior de D, CM-C y Ext., de manera similar, en la Fig. 20 y 21 se muestra la superposición de las densidades de probabilidad de las temperaturas de aire y de rocío al interior de D, CM-C y Ext.

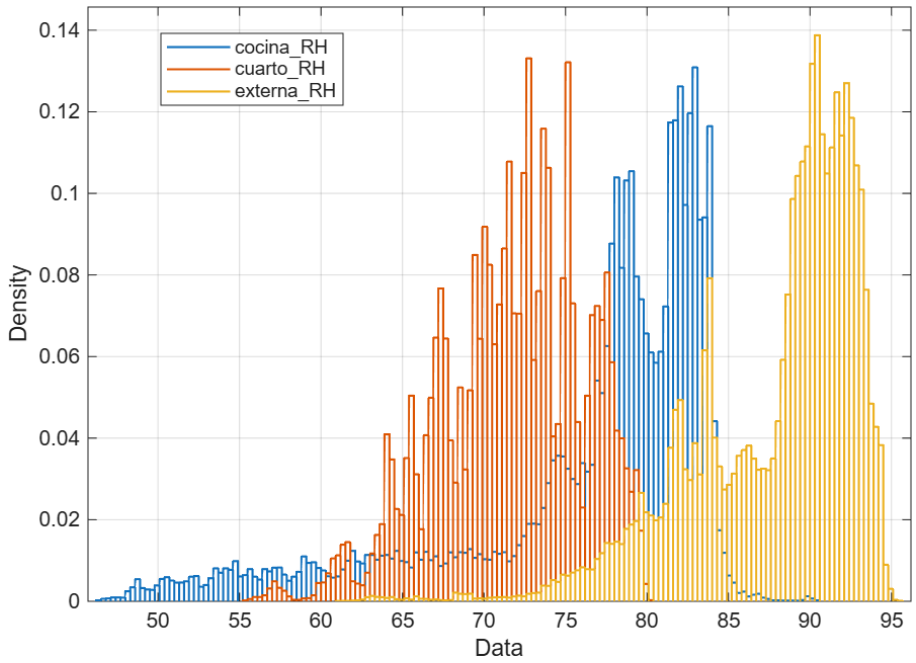


Figura 19:Comparativo de la densidad de probabilidad de la humedad relativa en D, CM-C y Ext usando datos de campo. Data representa los valores de humedad relativa.

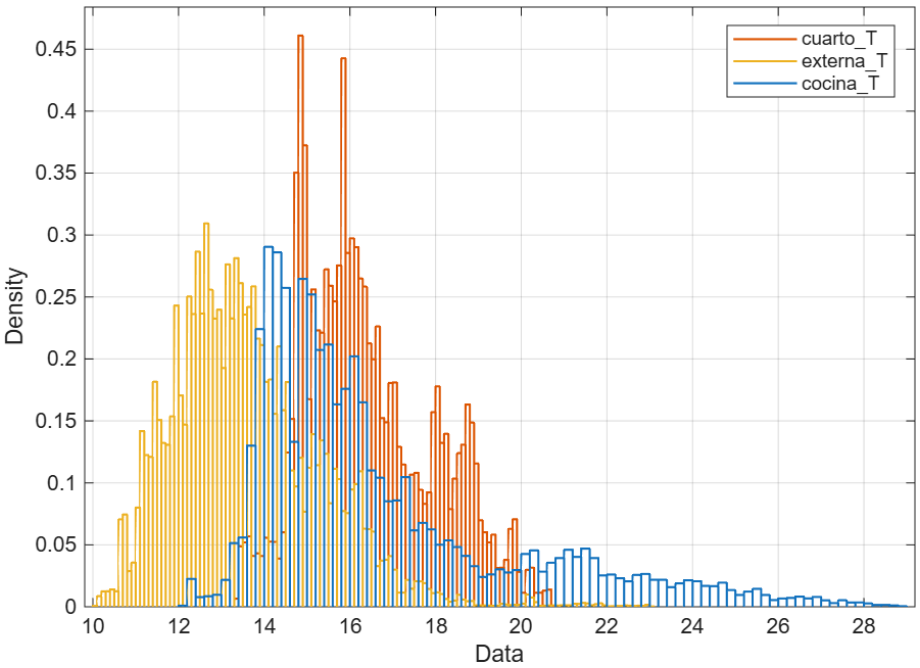


Figura 20:Comparativo de la densidad de probabilidad de la temperatura en D, CM-C y Ext usando datos de campo. Data representa los valores de temperatura del aire.

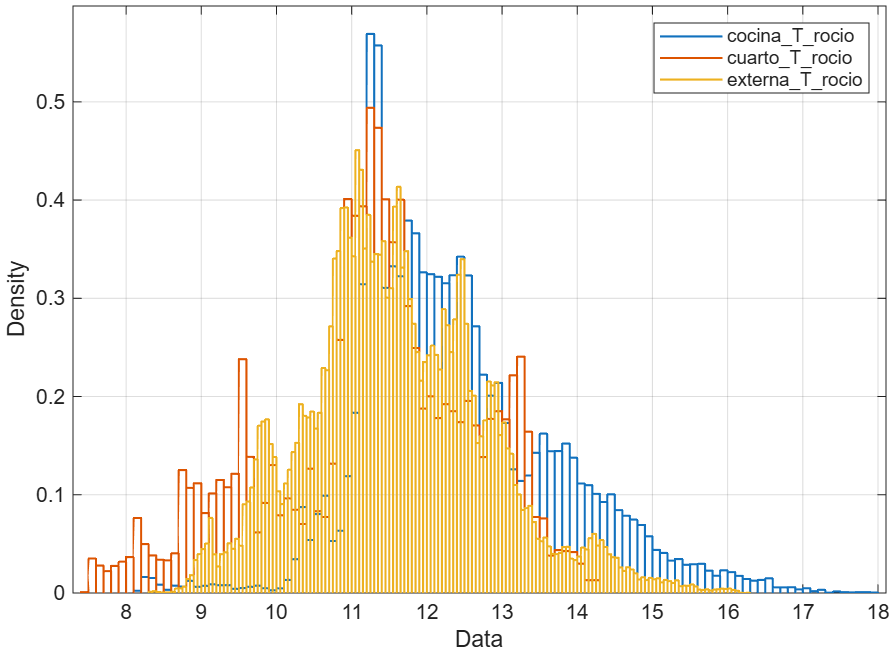


Figura 21:Comparativo de la densidad de probabilidad de la temperatura de rocío en D, CM-C y Ext usando datos de campo. Data representa los valores de la temperatura de rocío del aire.

3.3 Datos de las condiciones ambientales según NASA en el lugar de estudio.

Considerando las coordenadas: Latitud -6.597814° y Longitud -78.718947° como ubicación de la casa, se ha usado la web de NASA Power Access (Manrique 2005) (ver. Fig. 14) para obtener los datos promedios horarios de la temperatura del medio ambiente, la irradiación solar, temperatura de rocío y humedad relativa del medio ambiente.

Es necesario detallar que, como variable de interés, se ha considerado la irradiación solar para la determinación del potencial de recurso solar disponible en la zona de la casa típica.

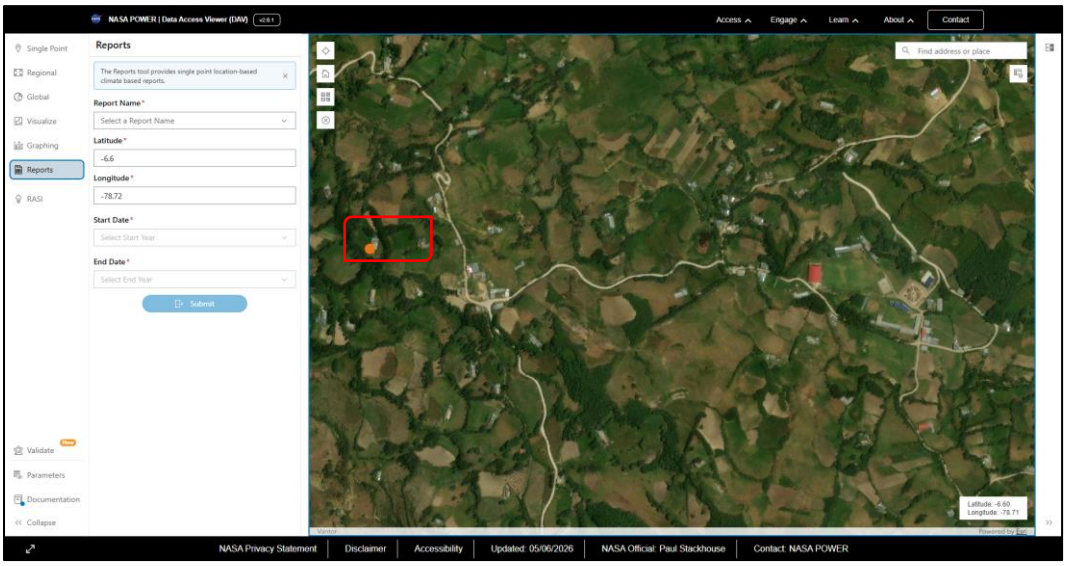


Figura 22:Vista de portada de NASA Power Access (Manrique 2005) con parte de la configuración de selección y descarga de parámetros medioambientales de interés para la presente tesis.

En la Tabla 4 se muestra el resultado del análisis estadístico (valor máximo, valor mínimo, valor promedio, desviación estándar, varianza) realizado a los datos medioambientales descargados desde NASA Power Access. Manrique (2005).

Tabla 4:Estadística de datos promedios horarios obtenidos desde NASA Power Access.

Casa_NASA	Temp. [°C]	RH [%]	Irrad. [Wh/m^2]	Temp. Rocío [|C]
Val. máx.	24.9900	100.0000	836.9000	14.4100
Val. mín.	9.8600	34.8400	0.0000	7.0400
Val. prom.	15.7945	80.4045	171.1071	11.9531
Desv. Estand.	3.2707	17.9943	225.8446	1.3711
Varianza	10.6972	323.7953	51006.0000	1.8800

Las Fig. 23, 24, 25 y 26 muestran la evolución de las variables temperatura exterior, irradiación solar, humedad relativa y temperatura de rocío del aire desde el 23 de enero al 27 de febrero del 2025 (fechas que coinciden con las lecturas en campo de temperatura, humedad relativa e iluminación al interior y exterior de la casa). Son valores promedios horarios.

Para el caso de la irradiación solar es una variable sólo obtenida desde NASA Power Access, dado que las mediciones de campo no contemplaron la medición y registro de dicha variable por requerir de instrumentos más sofisticados y de mayor costo y cuidado de transportar y usar.

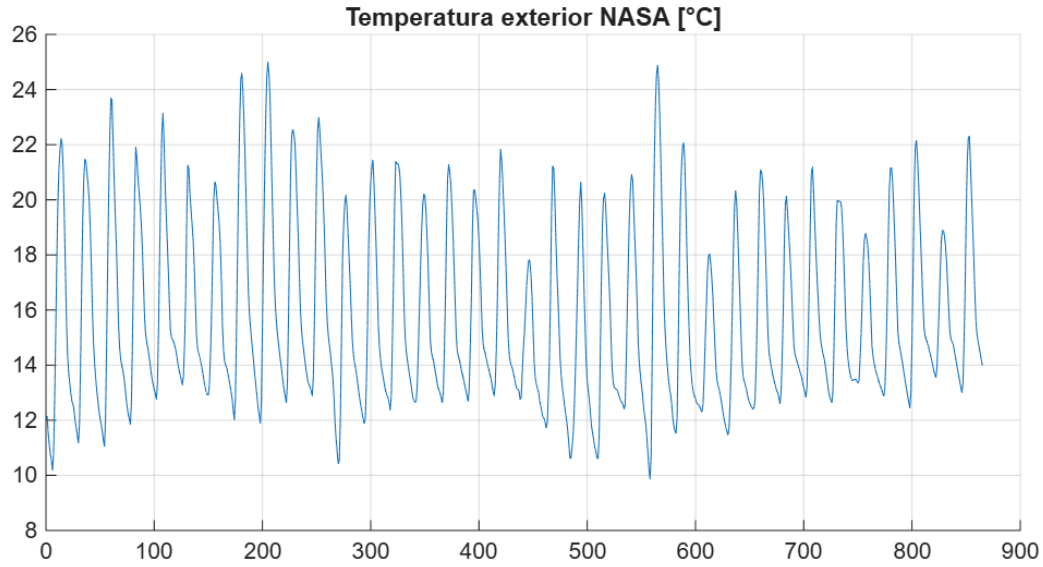


Figura 23:Evolución de la temperatura promedio del aire del medioambiente exterior a la casa típica obtenida según los datos obtenidos desde NASA Power Access.

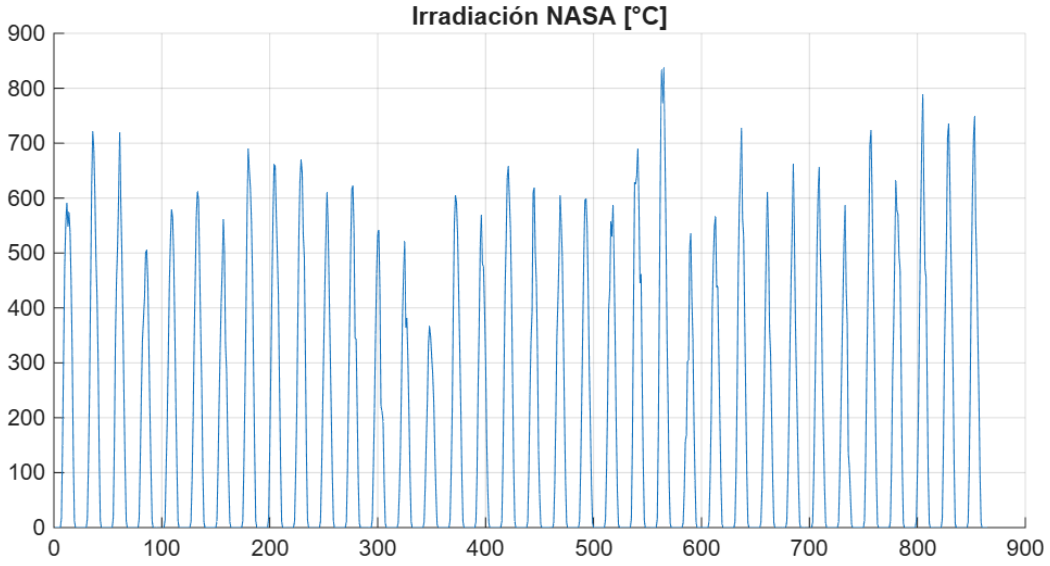


Figura 24:Evolución de la irradiación solar promedio sobre la casa típica obtenida según los datos obtenidos desde NASA Power Access.

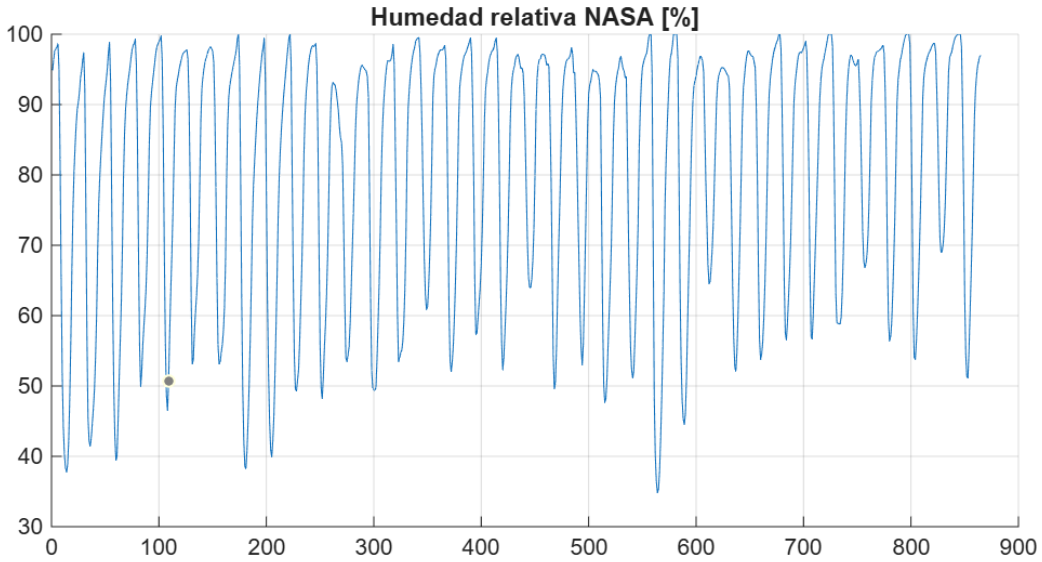


Figura 25:Evolución de la humedad relativa del medio ambiente exterior a la casa típica obtenida según los datos obtenidos desde NASA Power Access.

En la Fig. 25 se observa que los valores de humedad relativa son usualmente elevados en la zona de la casa típica, esto se puede explicar debido a que el lugar, la comunidad, es una zona netamente agrícola, con gran presencia de árboles tipo eucalipto y numerosos canales de agua que irrigan las zonas de cultivo. La zona también tiene muchas zonas de pastoreo para la crianza de animales menores y vacunos que sirven para producción de carne y como fuerza motriz en las chacras.

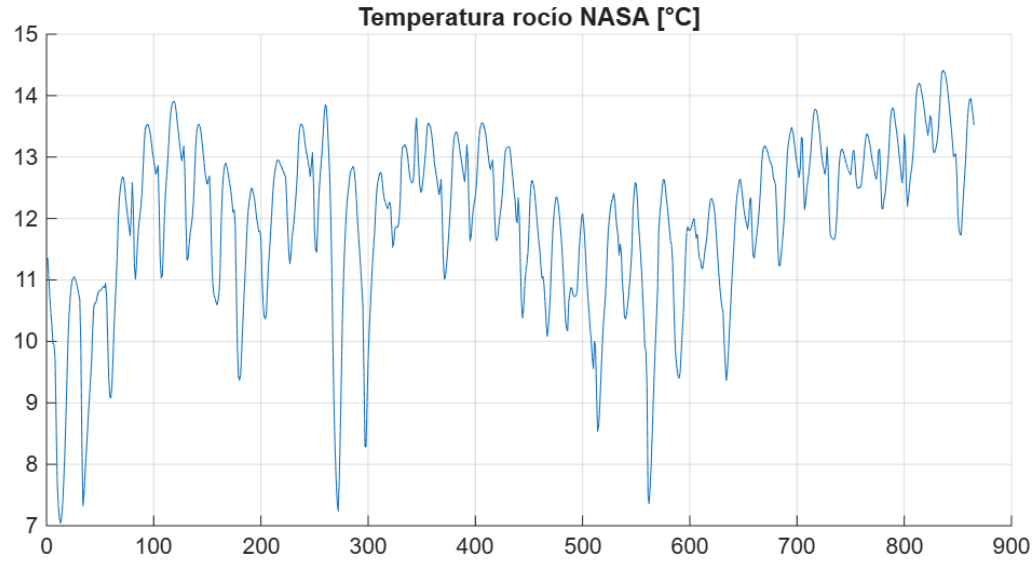


Figura 26:Evolución de la temperatura de rocío promedio del aire del medioambiente exterior a la casa típica obtenida según los datos obtenidos desde NASA Power Access.

,

Hay dos variables: la temperatura del aire y la humedad relativa que son de interés el comparar los datos de NASA Power Access (Manrique 2005) con los datos recolectados en campo con la finalidad de determinar el grado de semejanza entre ambos registros. Para ello se usa el análisis de densidad de probabilidad para que se puedan comparar entre los datos recolectados en campo y los obtenidos desde NASA Power Access.

En las Fig. 27 y 28 en donde se muestran comparaciones gráficas de la densidad de probabilidad dibujadas en forma de línea continua y de barras para sobreponer ambos registros de temperatura exterior a la casa típica (los de NASA Power Access. y tomadas en campo). Es de mencionar que la cantidad de datos de NASA es de 865 mientras que los datos tomados en campo son de 96,057 registros de la temperatura exterior a la casa típica.

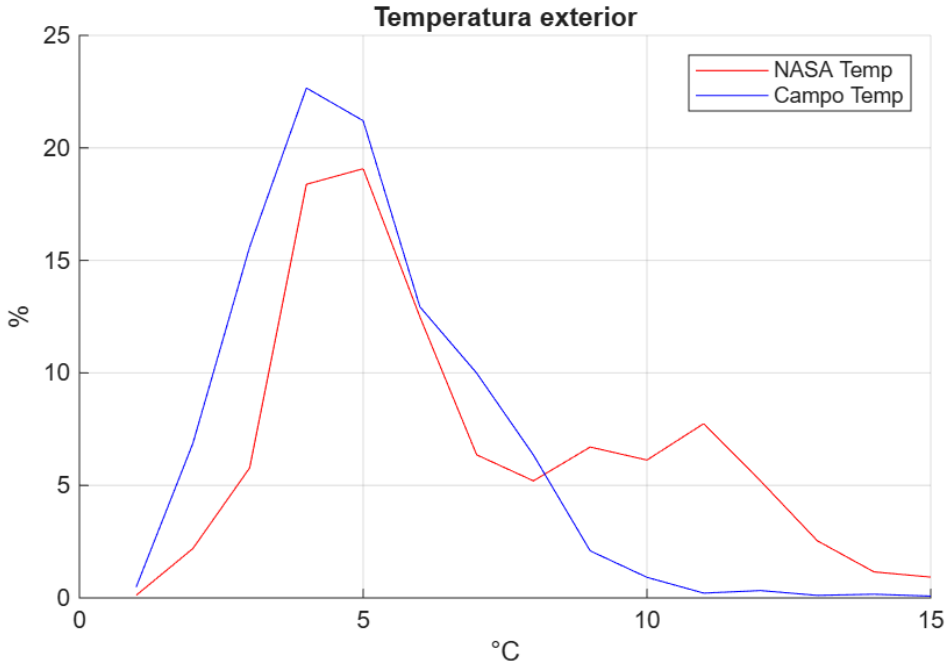


Figura 27:Densidad de probabilidad de la temperatura del aire exterior a la casa típica según datos de campo y de NASA Power Access, dibujado ambas variables como líneas continuas.

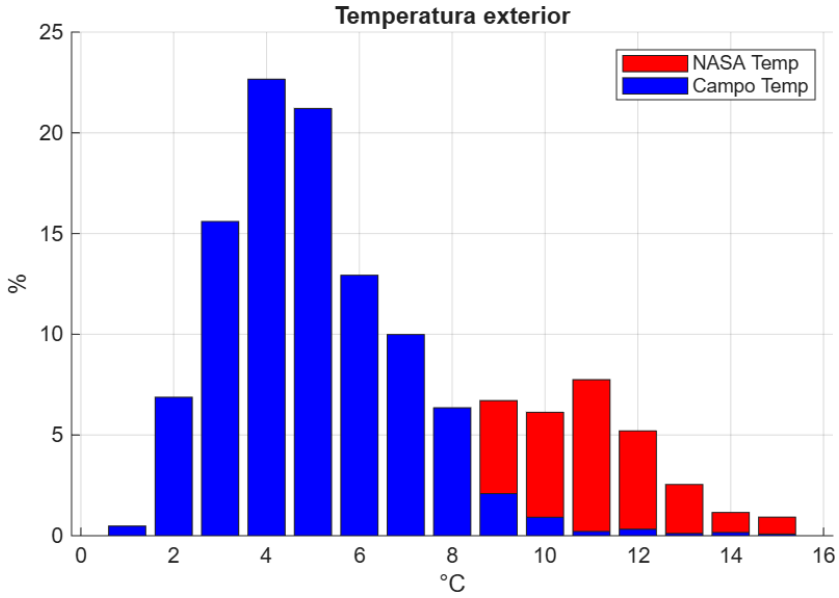


Figura 28:Densidad de probabilidad de la temperatura del aire exterior a la casa típica según datos de campo y de NASA Power Access, dibujado ambas variables como barras.

De manera similar, en las Fig. 29 y 30 en donde se muestran comparaciones gráficas de la densidad de probabilidad dibujadas en forma de línea continua y de barras para sobreponer ambos registros de humedad relativa exterior a la casa típica (los de NASA Power Access y tomadas en campo). Es de mencionar que la cantidad de datos de NASA es de 865 mientras que los datos tomados en campo son de 96,057 registros de la humedad relativa exterior a la casa típica.

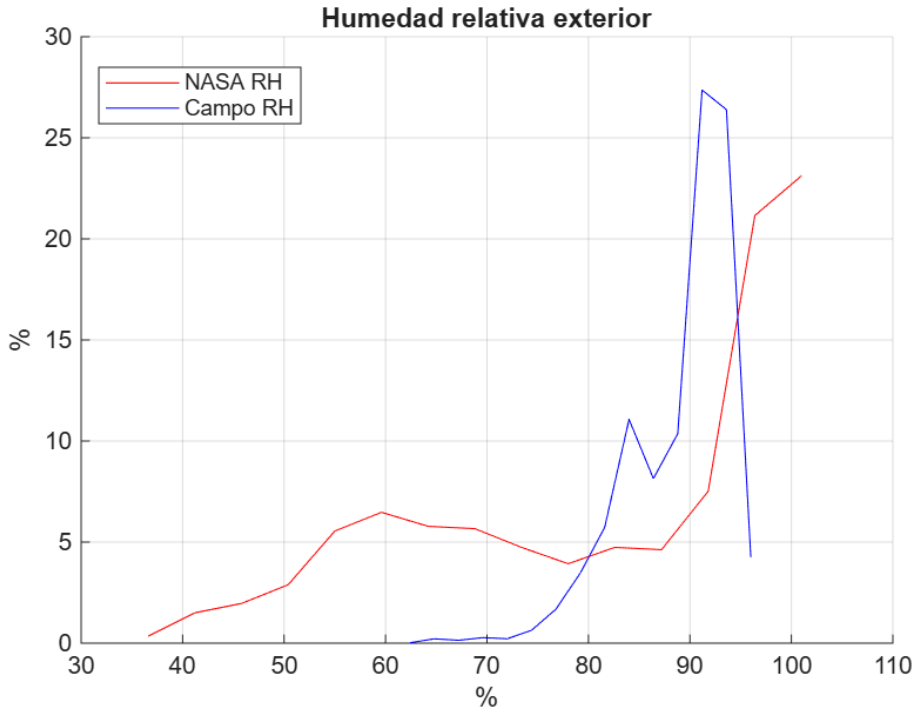


Figura 29:Densidad de probabilidad de la humedad relativa del aire exterior a la casa típica según datos de campo y de NASA Power Access, dibujado ambas variables como líneas continuas.

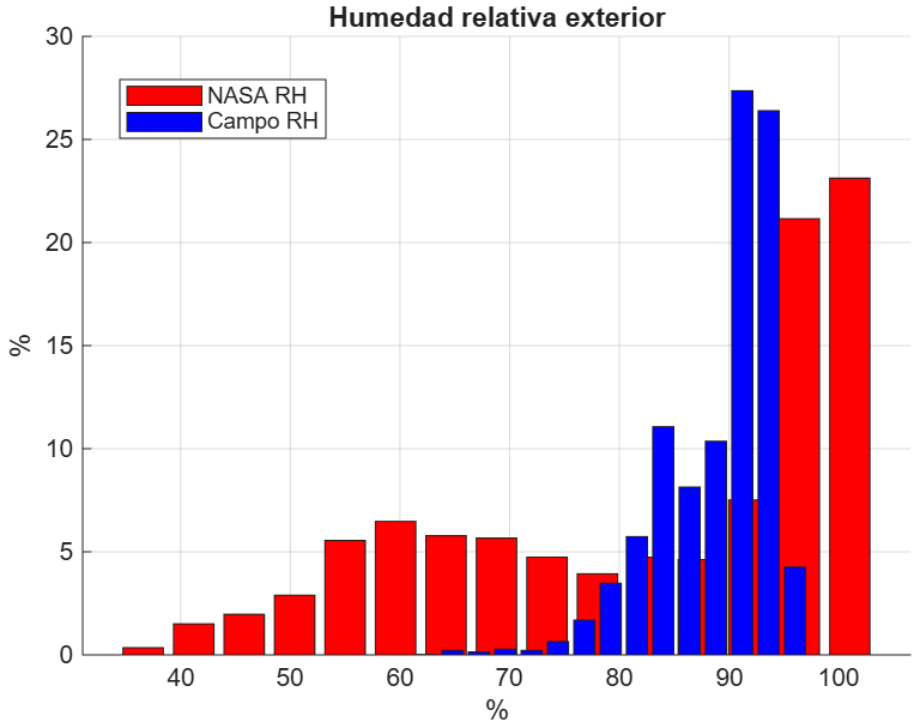


Figura 30:Densidad de probabilidad de la humedad relativa del aire exterior a la casa típica según datos de campo y de NASA Power Access. dibujado ambas variables como barras A.

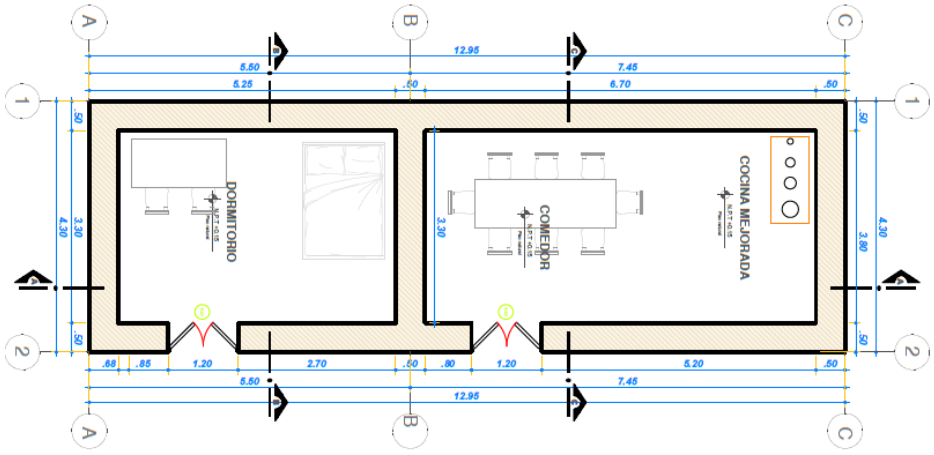
De la información presentada de NASA Power Access y comparada con la que se ha tomado en campo, se concluye que es viable usar la data recolectada en campo para los cálculos de balance de energía térmica y de confort térmico.

3.4 Balance de energía térmica.

Para la realización del balance de energía térmica se requiere de: la descripción de materiales con sus propiedades térmicas; las ecuaciones de transferencia térmica entre ambientes y entre ambientes y el exterior, y; los cálculos respectivos considerando los datos recolectados en campo.

a) Materiales y sus propiedades térmicas.

En la Fig. 31 se muestra el conjunto de vistas de la casa típica que servirá para el listado de materiales y su ubicación dentro de la vivienda. Además, en la Tabla 3 se enlistan los materiales usados en la casa típica y sus características térmicas.



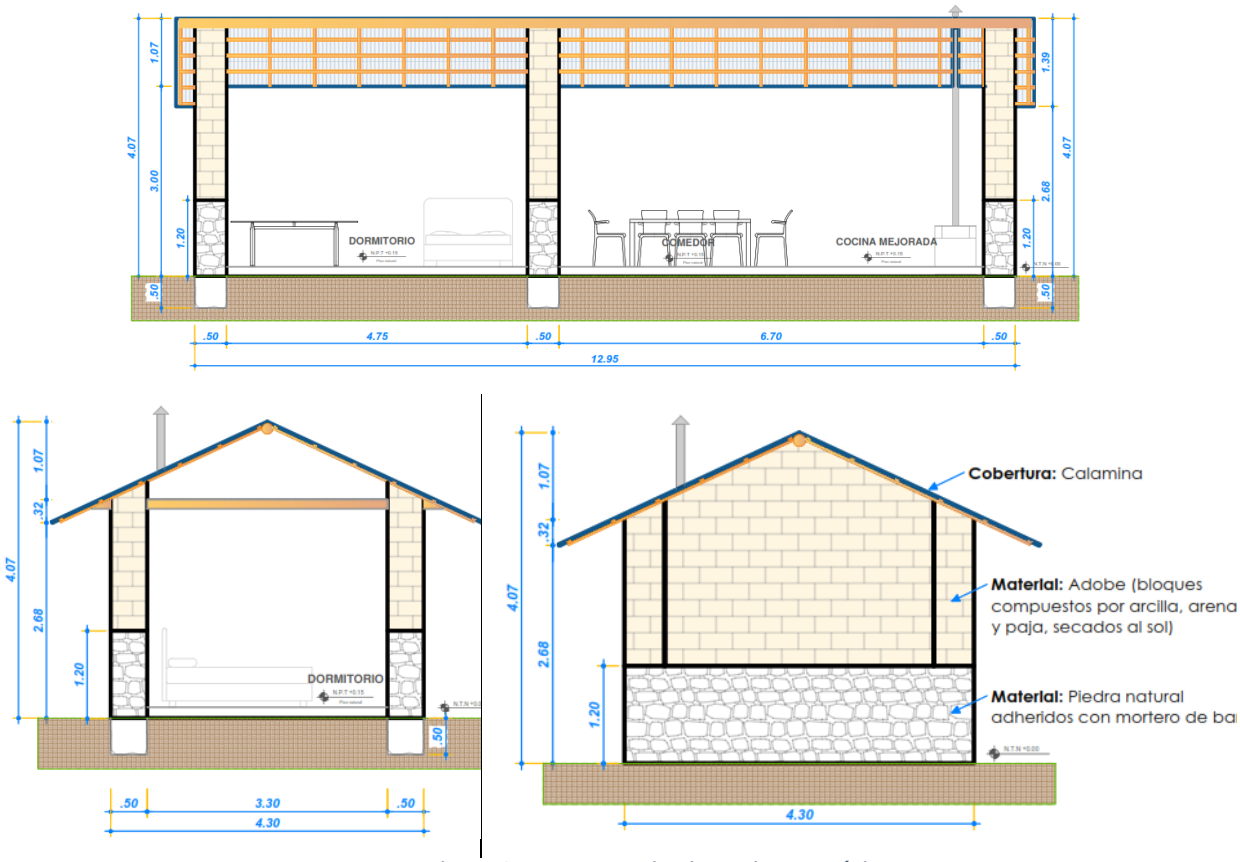


Figura 31:Resumen de vistas de casa típica.

Tabla 5:Listado de materiales usados en casa típica con sus respectivas propiedades térmicas.

Material	**Conductividad térmica [W/m.K]**	**Difusividad [m^2/s]**	**Capacidad calorífica [J/kg.K]**
Calamina (latón)	81 – 116 [26]		
Madera	0.04 – 0.4 [26]		
Adobe	1.205 [26]	(2.7 – 3.2) × 10^(-7) (Brito 2021)	559 – 613 (Brito 2021)
Piedra (con mortero de barro*)	2.4 [26]		610 (Gómez 2005)
Tierra (suelo)	0.8 [26]		
Aire	0.025 [26]		1.0057 (Manrique 2005)

* Se considera sólo el valor de la piedra, dado que el mortero de barro es del mismo material con que se hace el adobe.

b) Modelo matemático para caso de estudio.

La casa típica tiene ambientes, paredes, techo y piso. A continuación, se detalla las ecuaciones que se van a usar considerando las propiedades de los materiales y las dimensiones de paredes, techo y piso.

De [29] se consideran para las paredes y puertas como coeficiente de convección externa $h_L = 9.09\ W/m^2K$ y el coeficiente de convección interna $h_R = 16.66\ W/m^2K$.

Flujo térmico entre CM-C y D a través de pared $q_{CM-C \leftrightarrow D}$

Será calculado según la Ec. (15) donde T_{CM-C} es la temperatura de la cocina mejorada – comedor (CM-C); T_D es la temperatura del dormitorio (D); A_p es el área de la pared hecha con piedra; k_p es la conductividad térmica de la piedra; A_A es el área de la pared hecha de adobe; k_A es la conductividad térmica del adobe.

$$q_{CM-C \leftrightarrow D} = \frac{T_{CM-C} - T_D}{\frac{1}{h_R A_p} + \frac{L_p}{k_p A_p} + \frac{1}{h_R A_p}} + \frac{T_{CM-C} - T_D}{\frac{1}{h_R A_A} + \frac{L_p}{k_A A_A} + \frac{1}{h_R A_A}} \quad (15)$$

En las Fig. 32 se muestra la transferencia de energía térmica en que los resultados nos muestran que el valor es bastante pequeño en el flujo térmica de CM-C a D (valores positivos) y viceversa (valores negativos). Un valor máximo de aprox. 0.7 W es menor al calor que desprende una persona hacia el medio ambiente que lo rodea. En la Fig. 33 se realiza el acumulado de las transferencias de energía

térmica, se observa que al final del período de observación, el acumulado es prácticamente cero, lo cual implica que en el tiempo los dos ambientes son térmicamente independientes entre sí.

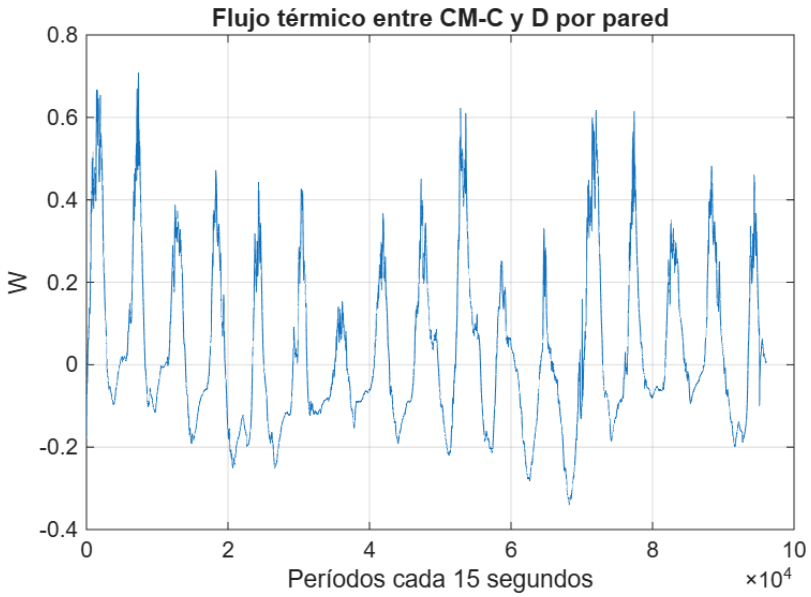


Figura 32:Flujo térmico entre CM-C y D a través de la pared divisora entre ambientes.

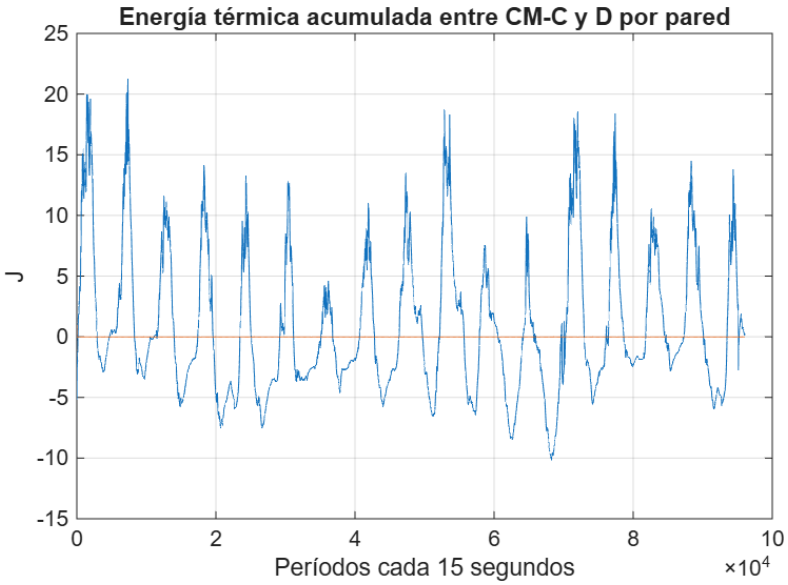


Figura 33:Energía térmica acumulada entre CM-C y D a través de la pared divisora entre ambientes.

Flujo térmico entre CM-C y Ext. a través de pared $q_{CM-C \leftrightarrow Ext.}$

Será calculado según la Ec. (16) donde T_{Ext} es la temperatura del exterior

$$q_{CM-C \leftrightarrow Ext.} = \frac{T_{CM-C}-T_{Ext}}{\frac{1}{h_R A_p}+\frac{L_p}{k_p A_p}+\frac{1}{h_L A_p}} + \frac{T_{CM-C}-T_{Ext}}{\frac{1}{h_R A_A}+\frac{L_p}{k_p A_A}+\frac{1}{h_L A_A}} \quad (16)$$

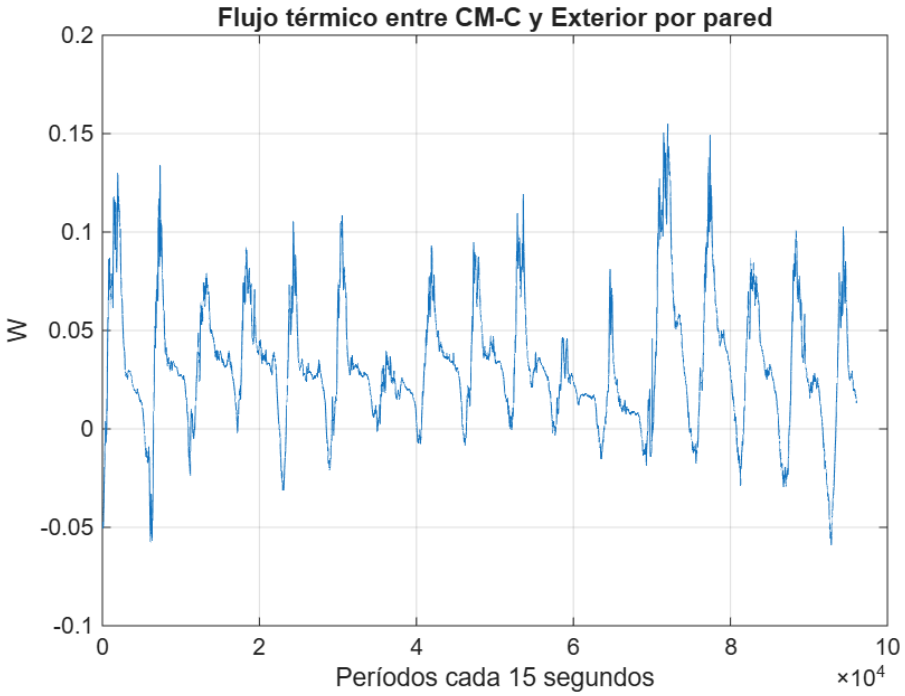


Figura 34:Flujo térmico entre CM-C y Ext. a través de paredes.

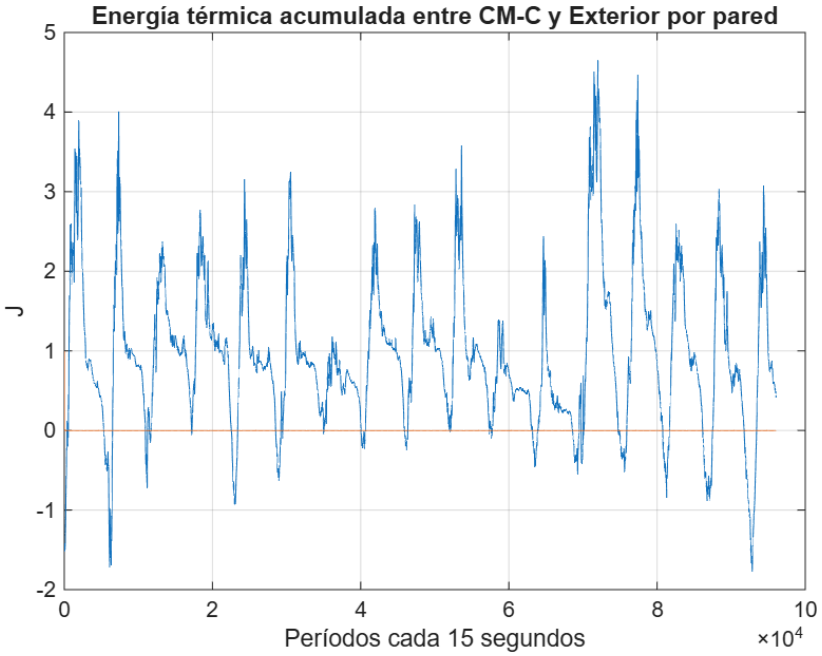


Figura 35:Energía térmica acumulada entre CM-C y Ext a través de paredes.

En las Fig. 34 y 35 se puede apreciar el flujo de potencia y energía térmica entre la CM-C y el Ext. que presentan valores pequeños y que todo parece indicar que es el grosor de la pared de adobe quien crea una resistencia térmica apreciable.

Flujo térmico entre D y Ext. a través de pared $q_{D \leftrightarrow Ext.}$

Será calculado según la Ec. (17) considerando que es un caso similar al flujo entre CM-C y Ext. en que hay dos flujos térmicos: uno que se hace a través de la parte de la pared que está hecha de piedra y la otra a través de la parte de la pared que está hecha de adobe.

$$q_{D \leftrightarrow Ext.} = \frac{T_D - T_{Ext}}{\frac{1}{h_R A_p} + \frac{L_p}{k_p A_p} + \frac{1}{h_L A_p}} + \frac{T_D - T_{Ext}}{\frac{1}{h_R A_A} + \frac{L_p}{k_p A_A} + \frac{1}{h_L A_A}} \quad (17)$$

En las Fig. 36 y 37 se muestra el flujo y energía térmica entre el D y el Exterior, considerando que el ambiente es más pequeño que CM-C, los resultados guardan concordancia en relación con lo determinado entre CM-C y Exterior.

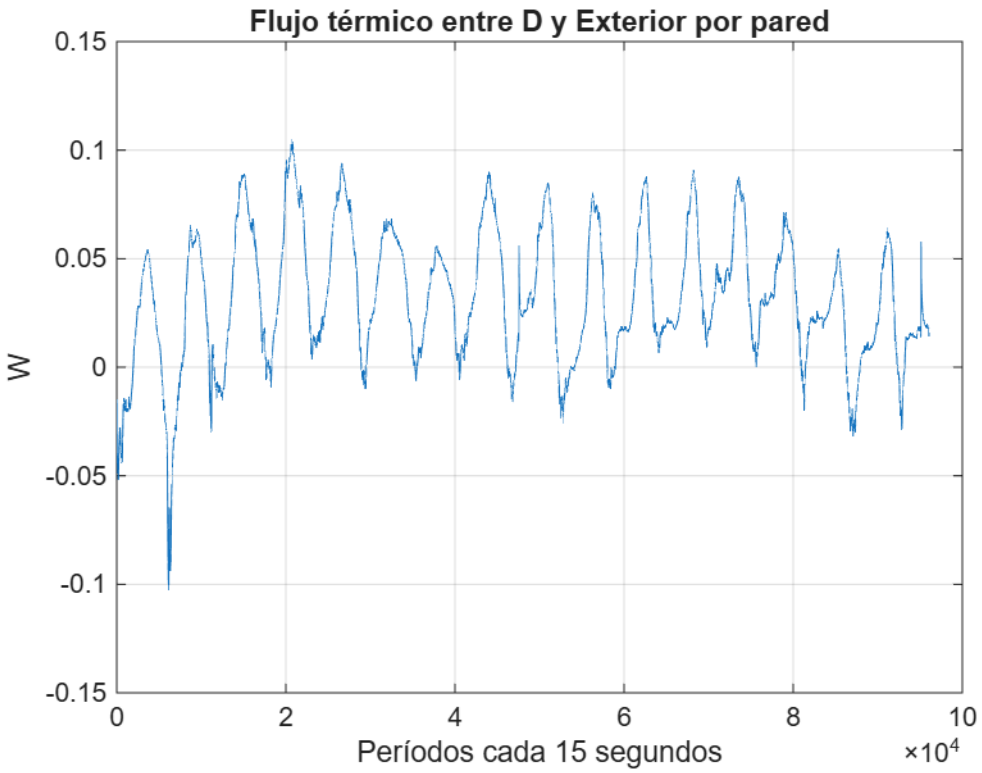


Figura 36:Flujo térmico entre D y Ext. a través de paredes.

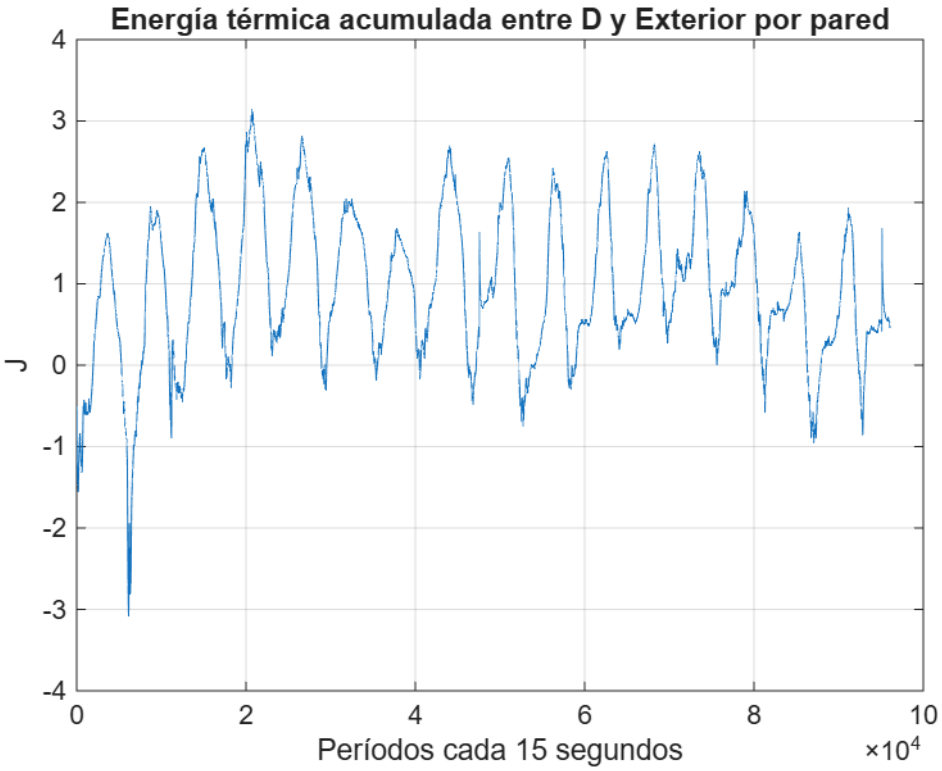


Figura 37:Energía térmica acumulada entre D y Ext a través de paredes.

Flujo térmico entre CM-C, D y Ext a través de techo $q_{CM-C,D \leftrightarrow Ext.}$

Será calculado según la Ec. (18) donde $A_{T(CM-C)}$ es el área del techo de la cocina mejorada – comedor (CM-C); L_M es el espesor de la madera de techo machimbrado sobre ambos ambientes; L_{Ar} es la distancia equivalente entre el techo de madera machimbrada y el techo de calamina que viene a estar conformada por el aire del ático calculado según Ec. (19); A_T es el área equivalente del techo de calamina calculado mediante la Ec. (20); $h_{T_M \leftrightarrow T_C}$ es la altura entre el techo machimbrado y el techo de calamina.

$$q_{CM-C,D \leftrightarrow Ext.} = \frac{T_{CM-C} - T_{Ext}}{\frac{1}{h_R A_{T(CM-C)}} + \frac{L_M}{k_M A_{T(CM-C)}} + \frac{L_{Ar}}{k_{Ar} A_{T(CM-C)}} + \frac{1}{h_L A_{T(CM-C)}}} + \frac{T_D - T_{Ext}}{\frac{1}{h_R A_{T(D)}} + \frac{L_M}{k_M A_{T(D)}} + \frac{L_{Ar}}{k_{Ar} A_{T(D)}} + \frac{1}{h_L A_{T(D)}}} \quad (18)$$

$$L_{Ar} = \frac{h_{T_M \leftrightarrow T_C}}{2} \quad (19)$$

$$A_T = A_{T(CM-C)} + A_{T(D)} \tag{20}$$

En las Fig. 38 y 39 se muestran el flujo y energía térmica que transita entre los ambientes CM-C y D con el exterior, considerando valores positivos del interior hacia el exterior de la casa y negativos en sentido inverso.

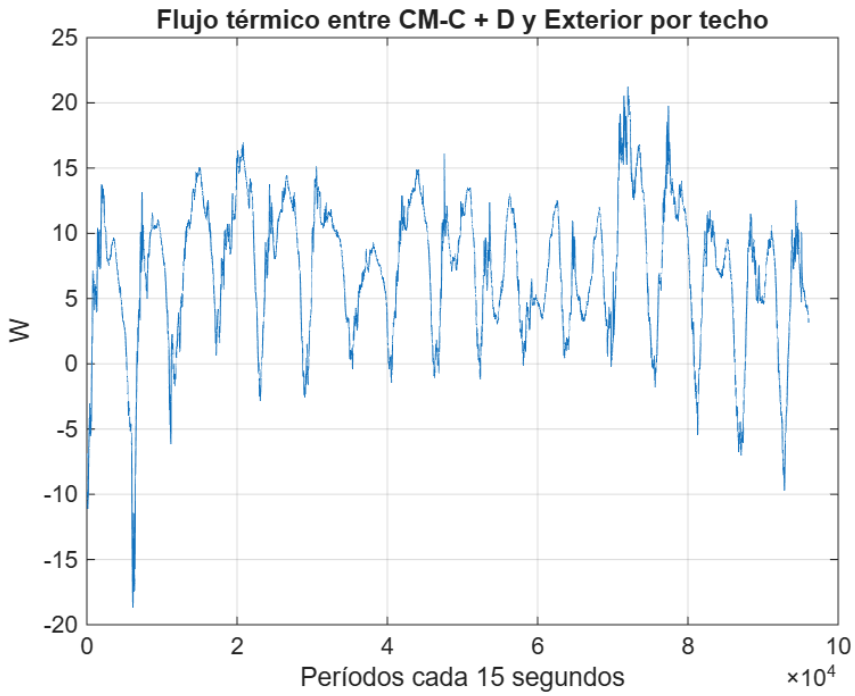


Figura 38:Flujo térmico entre CM-C + D y Ext. a través de techo.

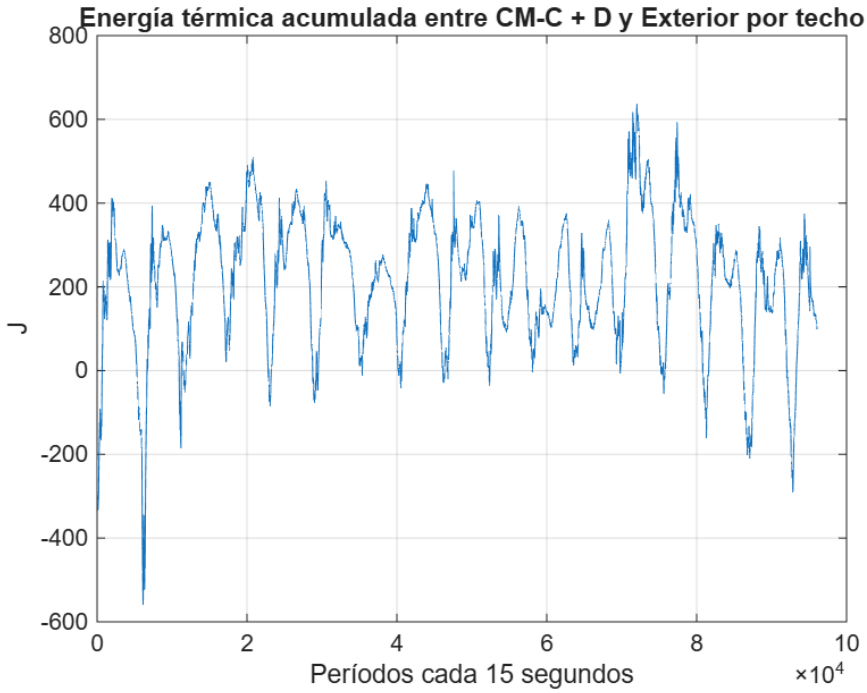


Figura 39:Energía térmica acumulada entre CM + D y Ext a través de techo.

Flujo térmico entre CM-C, D y el suelo $q_{CM-C,D \leftrightarrow S}$

Será calculado según la Ec. (21) donde T_S es la temperatura del suelo, $A_{S(CM-C)}$ es el área del suelo en la cocina mejorada – comedor (CM-C) con equivalencia según Ec. (22); $A_{S(D)}$ es el área del suelo en el dormitorio (D) con equivalencia al techo según Ec. (23); L_S es la longitud equivalente del suelo; k_S es la conductividad térmica del suelo.

$$q_{CM-C,D \leftrightarrow S} = \frac{T_{CM-C} - T_S}{\frac{1}{h_R A_{S(CM-C)}} + \frac{L_S}{k_S A_{S(CM-C)}}} + \frac{T_D - T_S}{\frac{1}{h_R A_{S(D)}} + \frac{L_S}{k_S A_{S(D)}}} \quad (21)$$

$$A_{S(CM-C)} = A_{T(CM-C)} \quad (22)$$

$$A_{S(D)} = A_{T(D)} \quad (23)$$

En las Fig. 39 y 40 se muestran los flujos y energías térmicas que fluyen con la Tierra a través del suelo de los ambientes de la casa típica. Usualmente las casas procuran construir sobre suelos secos con drenajes para lluvias.

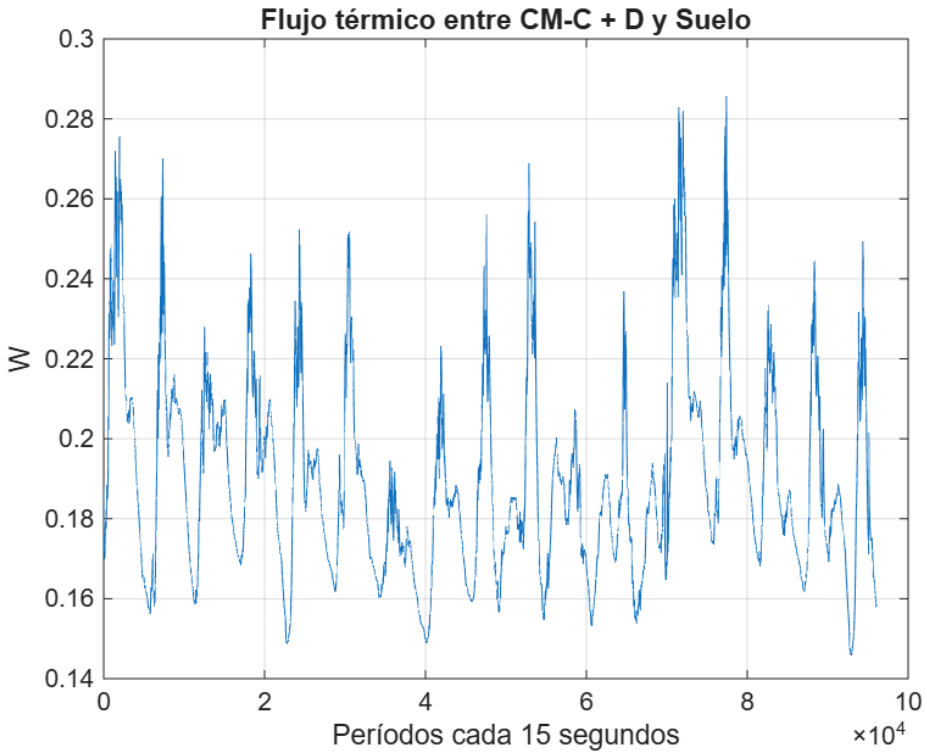


Figura 40:Flujo térmico entre CM-C + D y la Tierra a través de suelo.

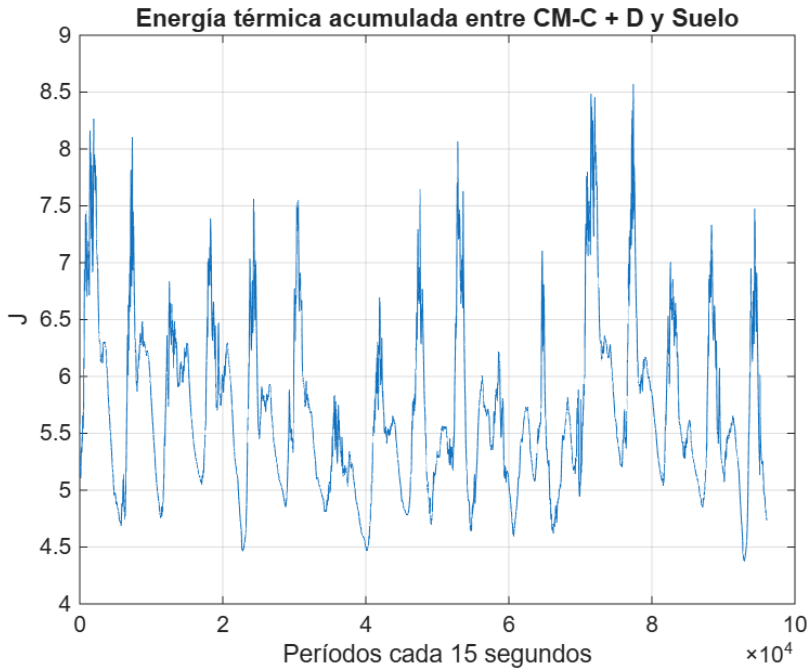


Figura 41:Energía térmica acumulada entre CM + D y la Tierra a través de suelo.

c) Resultados según datos de campo.

En la Tabla 6 se muestran los valores estadísticos de la transferencia de calor entre ambientes y entre los mismos con el exterior de la casa.

Tabla 6:Valores estadísticos referenciales de variables medioambientales en la cocina mejorada – comedor (CM-C)

Flujo térmico	**CM-C – D pared**	**CM-C – Ext pared**	**D – Ext. pared**	**CM-C + D – Ext techo**	**CM-C + D – Tierra**
Val. máx.	0.7086	0.1548	0.1047	21.2113	0.2857
Val. mín.	-0.3402	-0.059	-0.1026	-18.6304	0.1460
Val. prom.	0.0289				0.1898
Desv. Estand.	0.1940				0.0245
Varianza	0.0377				0.0006

La Fig. 42 muestra que la principal vía de pérdida de energía es entre los ambientes y el exterior a través del techo. En la Fig. 41 se observa los flujos de energía acumulada que salen e ingresan a la casa típica cuyos valores tanto en W como en Joules hacen posible la implementación de equipos con termostatos e higroscopios.

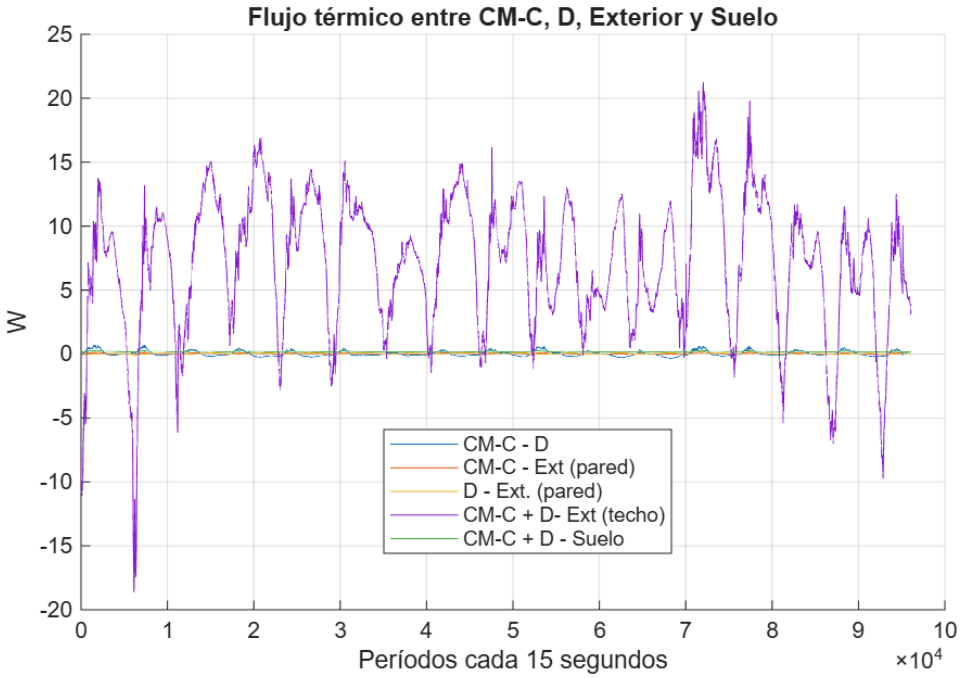


Figura 42:Flujo térmico entre ambientes, exterior y suelo.

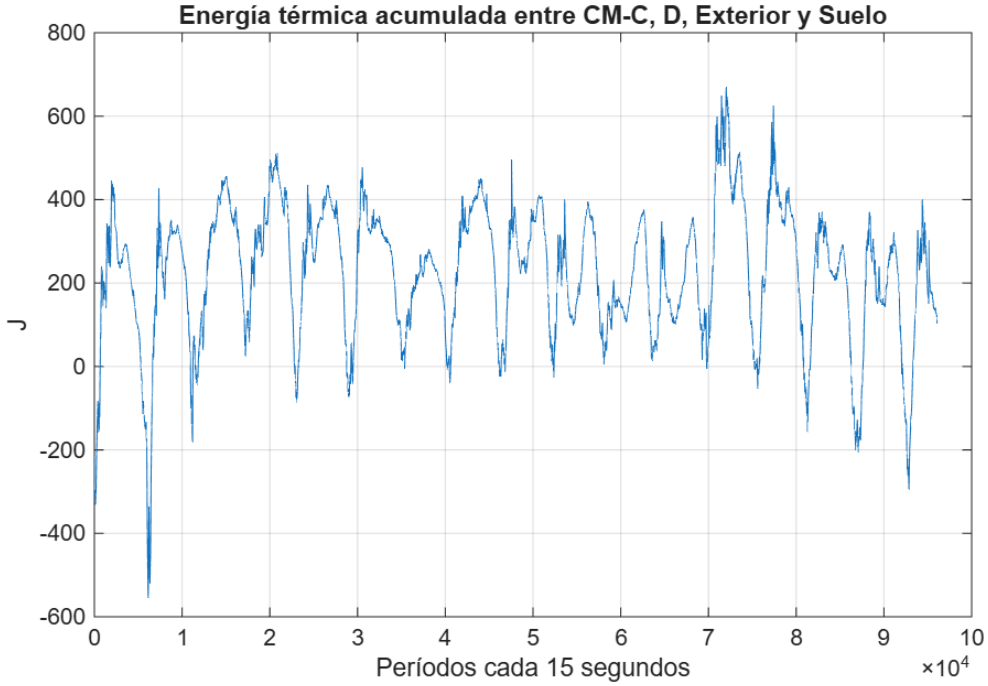


Figura 43:Energía térmica acumulada entre ambientes, exterior y suelo.

3.5 Propuesta de mejoramiento térmico.

La propuesta de mejoramiento térmico persigue (a) usualmente incrementar la temperatura dentro de los D y CM-C, y; (b) reducir la humedad relativa dentro de los ambientes D y CM-C.

a) Reducción de la humedad relativa en D y CM-C.

En cuanto a la humedad relativa se busca reducir el exceso de humedad relativa presente en D y CM-Ca través de equipos de condensación portátiles con drenaje mediante tuberías de desfogue hacia el exterior o con recipientes internos para acumulación de agua, los cuales una vez llenos se retiran para votar el agua hacia el exterior o al desagüe.

Considerando que el ambiente D posee dimensiones de 5 m de ancho por 3.30 m de fondo, es decir un área de 16.5 m^2 y el ambiente CM-C tiene como dimensiones: 6.70 m de ancho por 3.30 m de fondo, es decir un área de 22.11 m^2. Además, la altura desde el piso al techo de madera machimbrada es de 3 m, lo cual hace que el volumen del D sea de 49.5 m^3 y del CM-C sea de 66.33 m^3.

En el dormitorio (D) se tiene como objetos que forman parte: una cama, mesa y sillas, además de las personas que usualmente la usan; con lo cual se puede decir que el volumen neto de aire en D es de 40 m^3.

En la cocina mejorada – comedor (CM-C) se tiene como objetos que forman parte: la cocina mejorada y la mesa con sus sillas, por lo tanto, se considera un volumen neto de aire de 60 m^3, sin embargo, hay que considerar de que el vapor de agua que sale de las ollas, teteras y similares que son producto de la cocción de alimentos se debe considerar una reserva de capacidad de retiro de humedad del medio ambiente.

Por lo tanto, una solución es la ubicación de deshumedecedores tanto en D como en CM-C. En D se puede colocar 01 unidad con cobertura hasta 40 m^2 y en CM-C se puede colocar 02 unidades con cobertura hasta 40 m^2.

De las fuentes comerciales que se dispone se toma en consideración como referencia un deshumedecedor digital DH20, 380W, 20 Lt, apagado automático, regulador de humedad (ver Fig. 32 y consultar link del producto: https://www.coolbox.pe/-deshumedecedor-digital-dh20-apagado-automatico-20-lt-regulador-de--humedad--100429679/p), lo cual tiene una potencia de 380 W y como son tres unidades, la potencia total para el funcionamiento de todos los deshumedecedores será de 1,140 W.



Figura 44:Deshumedecedor digital DH20, 380W, 20 Lt, apagado automático, regulador de humedad.

b) Mejoramiento de la temperatura en D y CM-C.

Considerando que el aire tiene una capacidad calorífica c_{p_a} de 1.0057 J/kg.K y considerando que el volumen del D (V_D) es de 49.5 m^3 y del CM-C es de 66.33

m^3, se tiene que se debe ingresar el calor suficiente para elevar la temperatura de tal manera que esté en la zona de confort.

Energía y potencia necesaria para elevar temperatura en D.

La energía necesaria para elevar la temperatura en D (E_{a_D}) se determina según la Ec. (24) donde ρ_a es la densidad del aire en m^3/kg a 2,800 m.s.n.m. que es la altura aproximada en que ubica la vivienda rural típica en estudio, V_D es el volumen del ambiente del D; T_D es la temperatura del dormitorio y el factor 15 es debido a que el tiempo entre lecturas es de 15 segundos y que al dividir la energía E_{a_D} se determinará la potencia necesaria para elevar la temperatura en D (P_{a_D}) durante el período de medición que puede ser monitoreado y controlado.

$$E_{a_D} = c_{p_a}\rho_a V_D(19.4 - T_D) \tag{24}$$

$$P_{a_D} = \frac{E_{a_D}}{15} \tag{25}$$

Según [30], ρ_a se puede determinar mediante las Ec. (26) y (27) donde p es la presión local, T es la temperatura, y, z es la altura del lugar con referencia al nivel del mar, que en el caso de estudio es 2800 msnm.

$$\rho_a = 3.4837\ \frac{p}{T} \tag{26}$$

$$p = 101.29 - (0.011837)z + (4.793 \times 10^{-7})z^2 \tag{27}$$

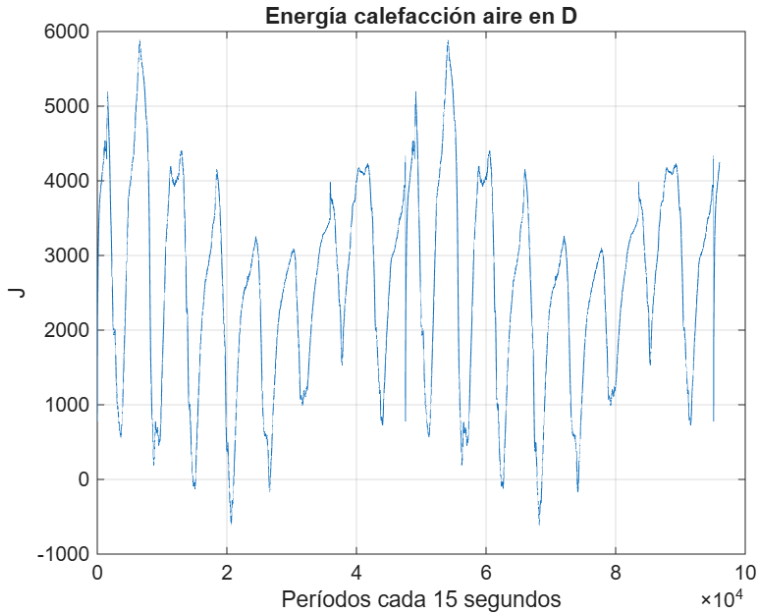


Figura 45:Energía de calefacción para D acumulado cada 15 segundos.

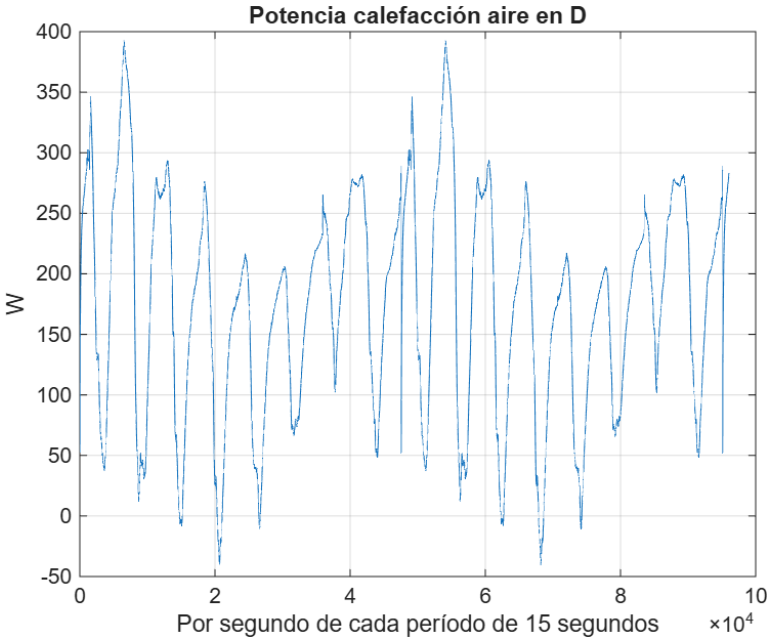


Figura 46:Potencia para calefacción de D en Watts.

En las Fig. 45 y 46 se observa la energía y potencia de calefacción para poder calentar el aire de D y colocarlo en la zona de confort. Se puede observar que los picos máximos pueden llegar hasta aprox. 400 W.

Energía y potencia necesaria para elevar temperatura en CM-C.

La energía necesaria para elevar la temperatura en CM-C ($E_{a_{CM-C}}$) se determina según la Ec. (28) donde T_{CM-C} es la temperatura del CM-C; V_{CM-C} es el volumen del ambiente CM-C, y; el factor 15 es debido a que el tiempo entre lecturas es de 15 segundos y que al dividir la energía $E_{a_{CM-C}}$ se determinará la potencia necesaria para elevar la temperatura en CM-C ($P_{a_{CM-C}}$) durante el período de medición que puede ser monitoreado y controlado.

$$E_{a_{CM-C}} = c_{p_a}\rho_a V_{CM-C}(19.4 - T_{CM-C}) \tag{28}$$

$$P_{a_{CM-C}} = \frac{E_{a_{CM-C}}}{15} \tag{29}$$

En las Fig. 45 y 46 se muestra la evolución de la potencia y energía necesaria para elevar la temperatura del CM-C a la zona de confort. En CM-C la demanda de energía en picos es mayor que en D, con picos de aprox. 700 W, sin embargo, tanto CM-C como D son potencias que se pueden suplir de fuente energética local

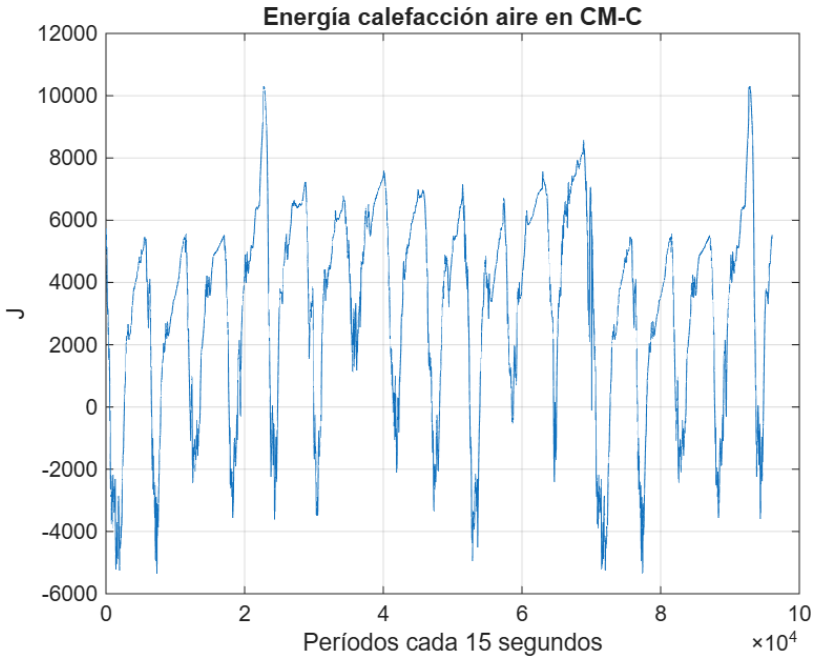


Figura 47:Energía de calefacción para CM-C acumulado cada 15 segundos.

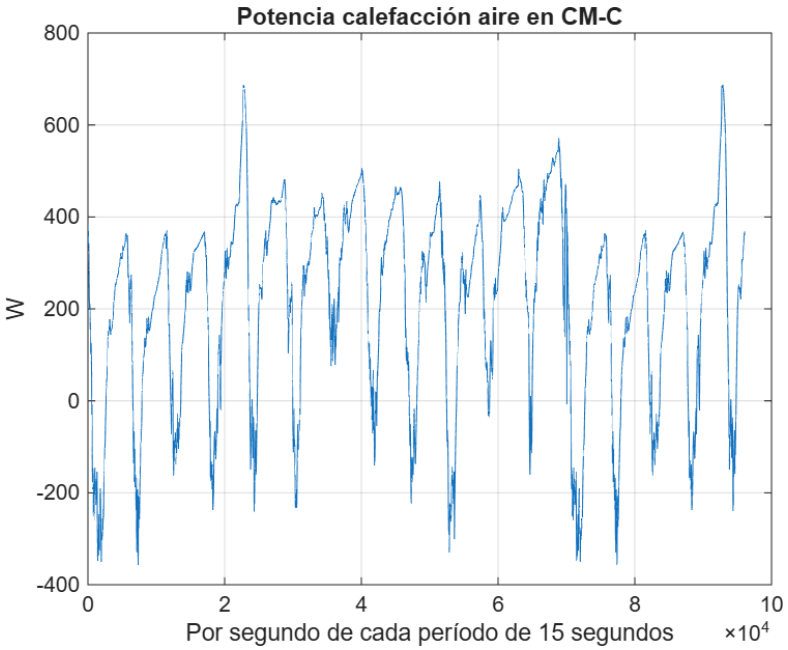


Figura 48:Potencia para calefacción de CM-C en Watts.

En resumen, se tiene que para D se requiere una estufa eléctrica de 400 W de potencia y para el CM-C se requiere una estufa de 800 W de potencia que son los requerimientos instantáneos en cada ambiente. De manera global tanto para el ambiente CM-C como para D, supliendo de energía de manera simultánea se puede observar en la Fig. 49 que la demanda no llega a los 879.78 W.

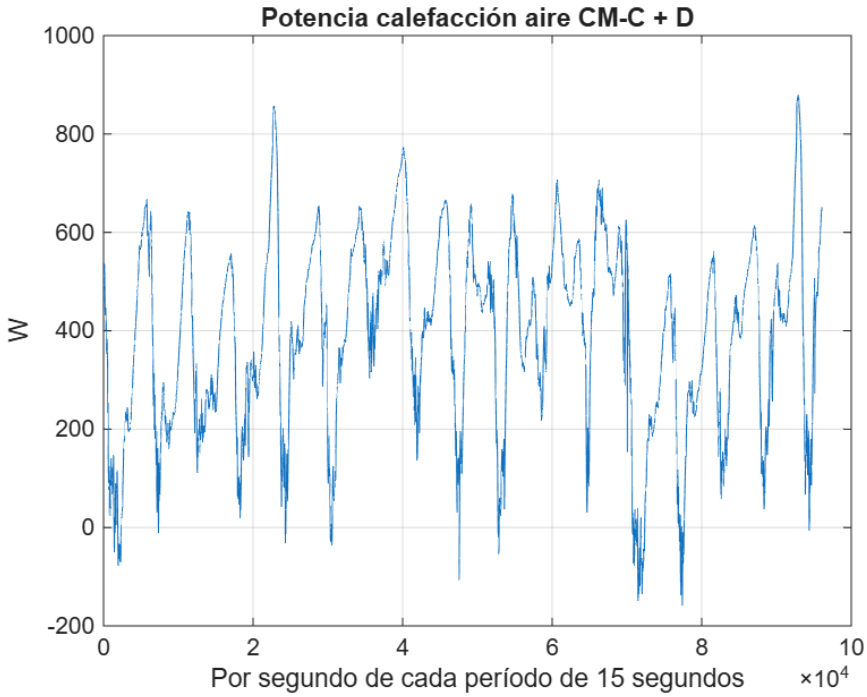


Figura 49:Potencia para calefacción de CM-C y D en Watts.

Entonces, para toda la casa se tiene que la demanda por calefacción es de 879.78 W y la demanda para deshumidificadores es de 1,140 W, por lo tanto, la demanda total para calentar y deshumedecer los ambientes es de 2,019.78 W, es decir, 2 kW que provendrían de una planta solar fotovoltaica ubicada en alrededores de la casa típica.

Los deshumedecedores van a trabajar de manera intermitente programas para que se apaguen luego de alcanzar el 70 % de humedad relativa. En la demanda calculada de 2 kW se asume que su funcionamiento es permanente durante todo el tiempo, algo que es extremo ideal que se asume para robustez del sistema y además porque no existe parte experimental que permita un cálculo más fino.

En la Fig. 50 se presenta una propuesta de sistema eléctrico que abarca la instalación de una planta solar fotovoltaica de 2 kWp con su respectivo inversor de 2 kW, circuitos de alimentación hacia deshumedecedores y calefactores

eléctricos, equipos que tienen incorporado el encendido y apagado según la humedad (menor igual a 70 %) y la temperatura (mayor igual a 19. 4 °C) que son condiciones de confort térmico. De manera complementaria se puede agregar una batería electrolítica, sin embargo, la casa presenta la ventaja de tener aislamiento térmico de paredes muy gruesas que permite que, con el retiro de la humedad, la calefacción y el uso de los ambientes (personas en tránsito, el fuego de la cocina, las lámparas de iluminación y otros artefactos electrodomésticos) los valores de temperatura y humedad relativa permanecerán en la zona de confort.

El caso de estudio se centra en una vivienda conectada a la red de la empresa distribuidora Electronorte S.A., la cual se caracteriza por presentar una deficiente calidad de suministro eléctrico convencional. Para hacer frente a esta problemática, se contempla la implementación de una planta solar fotovoltaica orientada a abastecer la carga de calefacción y reducción de humedad de la vivienda. El sistema se complementa con un inversor y un banco de baterías (BESS); el inversor, además de operar como un regulador electrónico de tensión para garantizar la estabilidad y confiabilidad de la energía entregada a la carga, cuenta con una tecnología de gestión energética que maximiza el flujo de potencia proveniente del sistema solar y prioriza la descarga de las baterías, reduciendo así al mínimo el consumo desde la red eléctrica convencional.

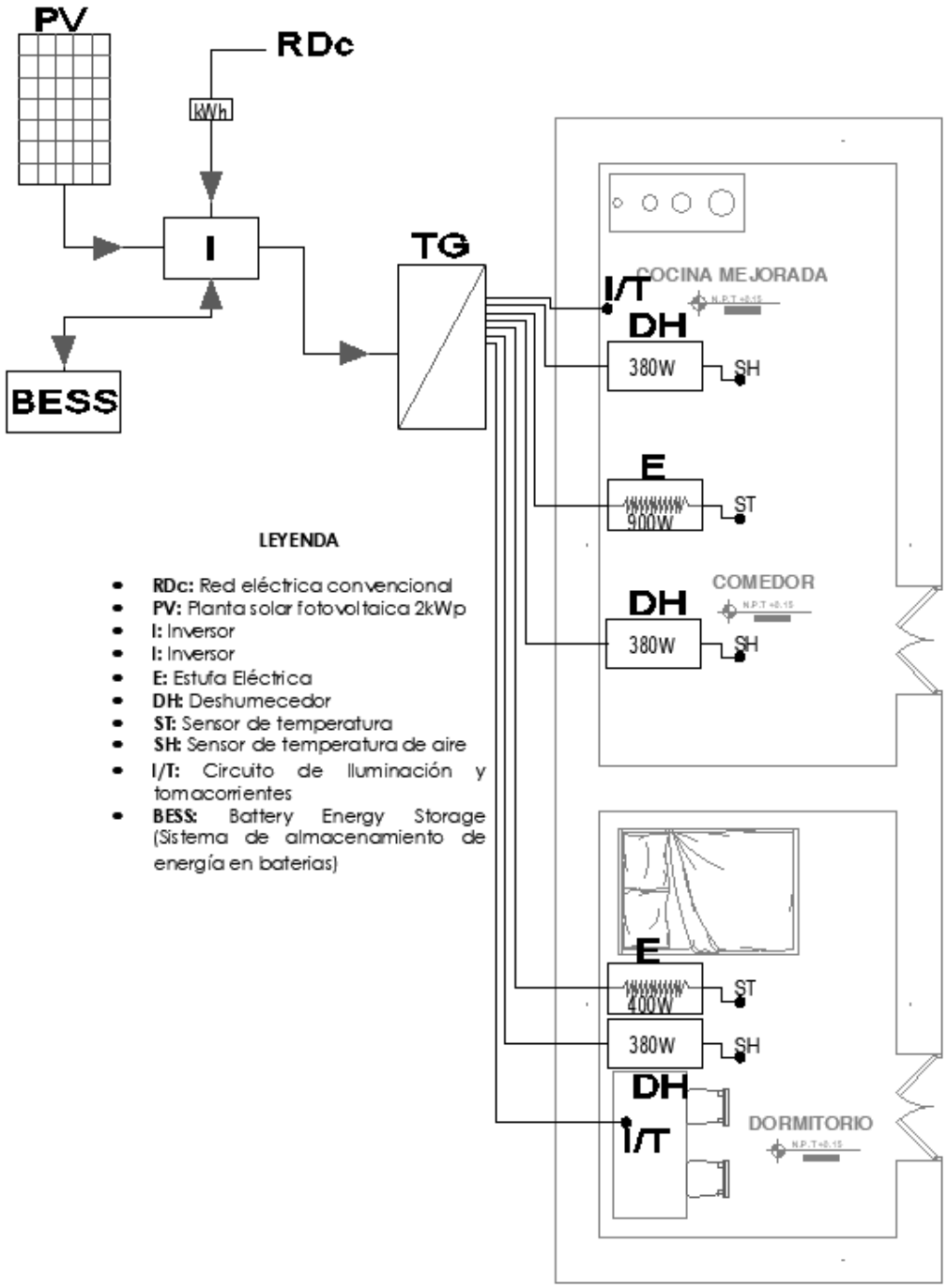


Figura 50:Propuesta de sistema solar fotovoltaico con inversor para abastecer demanda de calefacción y retiro de humedad de ambientes de casa típica.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN

Los datos recolectados, contrariamente a la literatura y al sentido común, arrojan que el problema al interior de la casa típica es una alta humedad y bajas temperaturas. El medio ambiente alrededor de la casa presenta una alta humedad que se infiltra al interior de la casa típica presentando usualmente valores por encima del 70 % y sin forma, medio y/o equipo y/o dispositivo que pueda capturar dicha humedad. A eso se suma las temperaturas que en el medio ambiente circundante también son bajas y que al interior de la casa no existe elemento de calefacción y/o similar que incremente la temperatura. Esto, alta humedad y baja temperatura, puede conllevar también a problemas de salud en vías respiratorias desde resfríos hasta un problema permanente de asma, TBC, neumonías o similares dolencias o enfermedades crónicas.

En el proponer soluciones a la realidad problemática, al contrario de otras publicaciones, la intención en la casa típica es mantener la tradición en los hábitos de construcción y la forma típica de la casa típica, usando las mínimas intervenciones y que se pueden llevar a cabo sin dañar la infraestructura ni hace obras civiles que pueden ser caros (costos que las familias dueñas de casas similares no lo pueden asumir) y complicadas (que requiere de equipo de ingeniería y técnicos con derrumbe y levantamiento de paredes, techos y acondicionamiento de pisos y similares). En virtud de ese ánimo, la colocación de dispositivos de captura de humedad portátiles alimentados por tomacorrientes, permite una solución rápida y con mínima intervención en la infraestructura. Así mismo la calefacción mediante estufas eléctricas que utilizan el recurso solar presente en el lugar para que combinado con el efecto aislante de las (gruesas) paredes de adobe y techo de madera, permitan tener un ambiente abrigado con una inercia térmica

favorecida por la típica forma de construcción de este tipo de viviendas.

Conocer significa simplificar y en virtud de ello, se determina que la fuente energética para la alimentación de los equipos que permitirán mantener la humedad relativa y la temperatura dentro de los parámetros de confort será una planta solar fotovoltaica, de lo cual hay mucha experiencia ahora al respecto y que en la casa típica se puede optar por colocarla en el techo (si la infraestructura lo permite) pero se considera como más probable la ubicación de la planta solar fotovoltaica en alrededor de la casa, para que la misma no pierda su estética natural y tradicional que guarda concordancia con la cultura de la localidad. Además, el estar en alrededor de la casa típica, ayuda a que dichas instalaciones sean asequibles a otros miembros de la comunidad y/o visitantes de la misma, para crear conciencia ambiental, mostrar la viabilidad del proyecto y que este sea replicable en otras casas, incentivar al conocimiento de nuevas tecnologías que ayudan a preservar el medio ambiente y mejorar las condiciones de vida de las familias.

En general, la propuesta de generación solar fotovoltaica y el transmisión y gestión de la energía eléctrica producida por los paneles solares, se hace a través de un circuito eléctrico que considera inversor, tablero general de mando y control, medidores de temperatura y de humedad relativa que permitan el encendido y apagado de los equipos de tal manera que en las habitaciones las condiciones de confort térmico se mantengan.

La propuesta también permite escalabilidad tanto por la planta solar fotovoltaica en que se puede incrementar la cantidad de paneles solares fotovoltaicos e inversores, como por los equipos que capturan humedad y calientan el ambiente, en

que, dado que usualmente son equipos móviles portátiles, se pueden adquirir e ir conectando a la red eléctrica de la casa típica. Los inversores tienen ahora la capacidad de trabajar en paralelo la gestión de los paneles solares fotovoltaicos conectados a cada uno de ellos y además tener conexión a la red eléctrica pública. La forma de operación es de tal manera que se reduzca el consumo de energía eléctrica de la red eléctrica pública, la cual no podrá alimentar a los equipos de captura de humedad y calefacción de ambiente debido al alto costo en la factura eléctrica que puede tener como consecuencia, o quizás, eso pueda disponer como una opción al propietario de opción manual en caso lo requiera pero a la vez estará informado de que eso acarrea mayor costos en la factura eléctrica mensual con la red eléctrica externa.

CONCLUSIONES

- Se ha realizado la recolección datos de campo de parámetros medio ambientales al interior de una casa típica tales como humedad relativa y temperatura. La cantidad de datos ha sido con un tiempo entre datos de 15 segundos, lo cual ha permitido tener miles de datos durante el período de observación, esto brinda una buena base en comparación a otros estudios previos realizados, en que nos permite conocer mejor el comportamiento de dichas variables al interior de la casa como en la parte exterior de la misma.

- Se ha realizado el procesamiento de datos de campo y también la recolección y procesamiento de datos de NASA del lugar en que ubica la casa típica, con lo cual, se ha podido modelar las necesidades energéticas para usualmente conseguir la captura de humedad y la elevación de temperatura dentro de los ambientes de la casa típica.

- Se brinda una solución tecnológica que procura mantener las costumbres y la cultura de la familia y comunidad, al no afectar en lo mínimo la estética o forma de la casa típica, usando equipos y dispositivos que vienen a ser de fácil disposición dentro de los ambientes, y una planta solar fotovoltaica en alrededores de la casa típica con un sistema y aparataje eléctrico de mínima intervención en la infraestructura. Se evita derrumbe y construcción de paredes y techos que ha sido solución típica en otros estudios.

RECOMENDACIONES

- Emular la presente investigación para escenarios de estudio de casa típicas en altitudes mayores a los 2,800 msnm con tomas de datos de corto plazo (cada 15 segundos o menos).

- Se recomienda investigar la integración de energía solar térmica como medio para obtener agua caliente que permita tanto ser usada en la ingesta de alimentación y aseo, así como en la calefacción de los ambientes de una casa rural mediante disipadores de calor de agua caliente.

- Se recomienda investigar el movimiento de las corrientes de aire al interior de los ambientes de la casa típica en la presencia de personas, equipos de calefacción y captura de humedad y objetos según el ambiente (camas, sillas, etc. en dormitorio; cocina, mesas, etc. en cocina) para conocer y proponer la adecuada distribución de calor y captura de humedad en cada ambiente.

- Se recomienda la investigación de intervenciones menores que se pueden realizar por ejemplo en piso, paredes, etc. en casas típicas que podrían estar en fase de construcción o de mejora de calidad de vida, con la finalidad de proponer criterios de construcción que conlleven a un mejor desempeño de los sistemas de captura de humedad y de calefacción. Esto puede ser posible si se integra el estudio de múltiples escenarios a nivel nacional, de crear una norma técnica o recomendación de implementación de técnicas y tecnologías para confort térmico en viviendas rurales con mínima intervención de la infraestructura y aprovechamiento de los recursos energéticos locales.

- **REFERENCIAS**

Naciones Unidas. El derecho a una vida adecuada. *Folleto Informativo N° 21* (Rev 1) Oficina del Alto Comisionado de las ONU para los Derechos Humanos. 2010. ISSB 1014-5567. Disponible en: https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/FS21_rev_1_Housing_sp.pdf

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2022) Directrices de la OMS sobre Vivienda y Salud. OPS, ISBN: 978-92-75-12567-0. Disponible en: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/56080/9789275325674_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Meza, S. (2016) *La Vivienda social en el Perú* – Evaluación de las políticas y programas sobre vivienda de interés social. Caso de Estudio: Programa "Techo Propio"". Master Tesis. Universidad Politécnica de Cataluña. 2016. Disponible en: https://core.ac.uk/download/pdf/41830812.pdf

Gabriel, L. (2021) *La vivienda digna, clave para una recuperación sostenible*. Moneda | Sector Vivienda. pp. 15 – 19. Disponible en: https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/moneda-186/moneda-186-03.pdf

Virgil, F. y Simmang, C. (2005) *Termodinámica.* Editorial Hispano Americana S.A. de C.V. México. 6ta. Edición. 1983. ISBN 968-438-029-1.

Manrique, J. (2005) *Transferencia de calor*. Editorial AlfaOmega – Oxford University Express. 2da Edición.2005.

NASA. Power Data Access Viewer. Disponible en: https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

Sistema Nacional de Hidrología y Meteorología (SENAMHI). Datos Hidrometeoro lógicos. Disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones

Lienhard, J. (2011) *A Heat Transfer Textbook.* 4ta Edición. Phlogiston Press. Cambrigde Massachusetts.

National Bureau of Standards- **Olgyay**: NBS Letter Circulars - Letter Circular 1124: Bioclimatic Chart. Commerce Department, National Institute of Standards and Technology (NIST), United States of America (USA). Disponible en:

https://www.govinfo.gov/app/details/GOVPUB-C13-ab5fb2e8ada6f1ada78e7957a9745466

Sánchez, J. (2021) *Vivienda Rural: Comportamiento Térmico de la Envolvente, con Sistemas Convencionales y Panel Prefabricado en PET*. Caso específico: Vivienda rural en el Municipio de San Antonio del Tequendama – Cundinamarca. Tesis de Maestría en Diseño Sostenible. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.

Huamani, F. et alt (2021). *Análisis del confort térmico en las viviedas "Sumaq Wasi*", Misquipata, distrito de San Juan de Jarpa, provincia de Chupaca, región Junín. Tesis para Título Profesional de Arquitecta. Universidad Continental. Huancayo, Perú.

Trigoso, T. y López, F. (2019) *Albergue para Niñas y Adolescentes para la Ciudad de Cajamarca*. Tesis para Optar el Título Profesional de Arquitecto. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú. 2019.

Carvajal, J. y Valencia, T. (2020) *Evaluación del Confort Térmico en la Vivienda Rural existente en Colombia*. Tesis para Optar el Título de Arquitecto. Universidad La Gran Colombia. Bogotá, Colombia.

Bustamante, C. (20221) *Caracterización Térmica y Acústica del Concreto Simple (Fc = 175 kg/cm^2) elaborado con distintas Dosis de Poliestireno, Chota, 2020*. Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Autónoma de Chota. Chota, Perú.. Disponible en

https://repositorio.unach.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14142/190/CARACTE

RIZACI%C3%93N%20T%C3%89RMICA%20Y%20AC%C3%9ASTICA%20DEL%20CONCRETO%20SIMPLE%20%28F%E2%80%99c%3D175%20kgcm2%29%20ELABORADO%20CON%20DISTINTAS%20DOSIS%20DE%20POLIESTIRENO%2C%20CHOTA%2C%202020%20-%20Informe%20de%20Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez, L. (2020) *El Confort Térmico en las Viviendas Rurales Alto Andinas y las Condiciones de Salubridad de las Familias en los Distritos de San José de Quero y Yanacancha en la Región Junín*. Tesis para optar el Grado de Doctor en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima, Perú.

Rojas, M. et. al. (2022) Análisis de la vivienda rural utilizando el confort térmico como medida de habitabilidad. Ciencia América Vol. 11 (2). ISSN 1390-9592 ISSN-L 1390-681X.

Linares, V. y Cuéllar, N. (2020) *Mejoras en el acondicionamiento térmico de viviendas alto andinas en la Región Puno*. Anales Científicos. 83(1), 18-32 http://dx.doi.org/10.21704/ac.v83i1.1895

Tenorio, E. (2020) *Códigos de la arquitectura vernácula aplicados en una arquitectura integradora del Mercado Central de Chota*. Tesis. Univ. César Vallejo. Trujillo, Perú. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/59644/Guevar a_TE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Brito-Peña, R. et al. (2022) *"Análisis comparativo de confort térmico de vivienda unifamiliar en LSF frente a mampostería*," Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología, N.◦ 28, pp.100-124, doi:

https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.10

Albarracín, A. (2021) Proyecto de vivienda rural productiva para el corregimiento de Berlín. Tesis. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia.

Gutiérrez, E. y Peña, Carlos. (2022) *Influencia del sistema de acondicionamiento térmico pasivo para las viviendas en el Caserío de Cushuro – Huamachuco 2022*. Tesis. Universidad César Vallejo. Trujillo, Perú.

Ticona, J. y Vilca, H. (2022) *Casa caliente:* Diseño de un módulo de vivienda rural bioclimatizado para mejorar el confort térmico en la zona altoandina, Puno – Tesis. Universidad César Vallejo. Lima, Perú.

Díaz, R. (2019) *Diseño a través de sistemas pasivos de climatización para lograr confort térmico en la Zona Cultural Permanente de un Museo Histórico Narrativo, Cajamarca – 2019*. Tesis. Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú. Disponible en: https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22064/D%C3%ADa20Delgado%20Rita%20Sthefany.PDF?sequence=3

Irigoín, A. (2018) *Diseño de un sistema de calefacción solar para la Posta de Salud del Poblado de Bella Andina, Chota, Cajamarca*. Tesis. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. Lambayeque, Perú. Disponible en: https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/1975/BC-TES-TMP-830.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Moro, M. (2020) *Propuesta de materiales econlógicos no tradicionales para construcciones según la Norma EM. 110.* Tesis. Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú. 2020. Disponible en: https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24794/Moro%20Palomino%2C%20Maycol%20Jhorbin.pdf?sequence=3&isAllowed=n

Taipe, M. y Yaranga, N .(2023) *Propuesta de elaboración de adobe incorporando ichu y lana de oveja para mejorar el confort térmico y las propiedades físico -mecánicas ante las heladas en Acoria – Huancavelica*. Trabajo de Suficiencia Académica. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. 2023. Disponible en: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/670328

Brito del Pino, J. (2021) *Elaboración de adobe sostenible. DAYA. Diseño, Arte y Arquitectura*. Número 11, junio 2021 – diciembre, pp. 59 – 79. Disponible en: https://revistas.uazuay.edu.ec/flip/daya/11/daya_11_04.pdf

Gómez, M. (2005) *Procesos y formas de deterioro térmico en piedra natural del patrimonio arquitectónico*. Memoria presentada para optar el grado de Doctor Europeo. Universidad Complutense de Madrid.. Disponible en: https://webs.ucm.es/BUCM/tesis/geo/ucm-t28551.pdf

Gómez, K. et al. (2024) *Confort térmico de una vivienda de adobe en zona altoandina: caso de las viviendas del centro poblado Pampa Quehuar* – Cusco – Perú. 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0. Hybrid Event, San Jose – COSTA RICA, July 17 - 19. Disponible en:https://laccei.org/LACCEI2024-CostaRica/papers/Contribution_2022_final_a.pdf

Manwell, J. y McGowan, j. (2009) *Wind Energy Explained – Theory, Design and Application.* Wiley and Sons, Ltd. 2da Edition. West Sussex, United Kingdom. ISBN: 978-0-470-01500-1.