

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**AUMENTO DEL CONFOR TÉRMICO MEDIANTE LA
CALEFACCIÓN SOLAR EN LAS VIVIENDAS
DE LA CIUDAD DE TACNA, EN
EL AÑO 2022**

TESIS

PRESENTADA POR:

JOSÉ ANTONIO AGUILAR CUCHILLO

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON MENCIÓN
EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA – PERÚ

2024

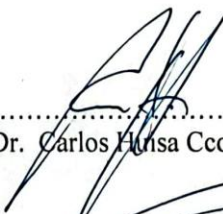


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

AUMENTO DEL CONFORT TÉRMICO MEDIANTE LA
CALEFACCIÓN SOLAR EN LAS VIVIENDAS DE
LA CIUDAD DE TACNA, EN EL AÑO 2022

Tesis sustentada y aprobada el 14 de junio del 2024; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE	:	 Dr. Carlos Huisa Ccori
SECRETARIO	:	 Dr. Avelino Godofredo Pari Pinto
MIEMBRO	:	 Dr. Francisco Gamarra Gómez
ASESOR	:	 Dr. Francisco Gamarra Gómez

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Francisco Gamarra Gómez, en mi condición de asesor acreditado con Resolución de Escuela de Posgrado N° 12080-2022-ESPG/UNJBG del 21 de diciembre del 2022, del trabajo de tesis titulado: "AUMENTO DEL CONFORT TÉRMICO MEDIANTE LA CALEFACCIÓN SOLAR EN LAS VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE TACNA, EN EL AÑO 2022", presentado por el Sr. José Antonio Aguilar Cuchillo, para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magíster Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 9%.

Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado a solicitud del interesado con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención del Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magíster Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Tacna, 03 de junio del 2024

FIRMA ASESOR
Nombres y apellidos


.....
Dr. Francisco Gamarra Gómez
DNI N° 00413878



FIRMA TESISISTA
Nombres y apellidos


.....
Sr. José Antonio Aguilar Cuchillo
DNI N° 43220113



DEDICATORIA

El autor expresa profunda gratitud y amor hacia sus padres, José Aguilar y Lidia Cuchillo, así como hacia sus hermanos David y Andrés. Destaca la influencia positiva de sus padres en su vida, reconociendo el ejemplo de perseverancia de su padre y el amor infinito y apoyo incondicional de su madre. Agradece el compañerismo y los consejos de sus hermanos, valorando su presencia y amor fraternal. En general, agradece a su familia por ser su fuente de inspiración, apoyo incondicional y mayor tesoro, destacando que este logro es también de ellos. Expresa el deseo de que su trabajo refleje los valores inculcados por su familia y espera que se sientan orgullosos de él, al igual que él se siente orgulloso de ser parte de esa familia.

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su más sincero agradecimiento a Dios por guiar sus pasos y brindarle fortaleza. Dedicar este logro a su familia, agradeciendo a sus padres por su amor incondicional y ejemplo de trabajo duro, y a sus hermanos por su apoyo constante. Reconoce a sus maestros por su dedicación y sabiduría, y agradece a sus amigos por su amistad sincera y apoyo.

Expresa su gratitud hacia todos aquellos que han sido parte de su viaje, reconociendo que este logro también es gracias a ellos, y espera poder seguir contando con su apoyo en el futuro.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción de problema.....	3
1.1.1. Antecedentes del problema	3
1.1.2. Problemática de la investigación.....	4
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema principal	4
1.2.2. Problemas secundarios	4
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.3.1. Justificación social	5
1.3.2. Justificación ambiental.....	5
1.3.3. Importancia de la investigación	5
1.4. Alcances y limitaciones.....	5
1.4.1. Alcances	5
1.4.2. Limitaciones	6
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general	6

1.5.2.	Objetivos específicos	6
1.6.	Hipótesis.....	6
1.6.1.	Hipótesis general.....	6
1.6.2.	Hipótesis específicas	7
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO		8
2.1.	Antecedentes del estudio.....	8
2.1.1.	Antecedente nacional	8
2.1.2.	Antecedentes internacionales	8
2.2.	Bases teóricas	10
2.2.1.	Confort térmico	10
2.2.2.	Calefacción solar	12
2.3.	Definición de términos	20
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO		23
3.1.	Tipo y diseño de la investigación.....	23
3.1.1.	Tipo de investigación.	23
3.1.2.	Diseño de la investigación.	23
3.2.	Población y muestra	24
3.2.1.	Población.....	24
3.2.2.	Muestra.....	24
3.3.	Operacionalización de variables	24
3.4.	Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	26

3.5.	Procesamientos y análisis de datos	26
CAPÍTULO IV RESULTADOS		27
4.1.	Resultados	27
4.1.1.	Análisis del diagnóstico	27
4.1.1.1.	Temperaturas registradas	27
4.1.1.2.	Confort térmico mediante método adaptativo mensual	31
4.1.2.	Sistema de calefacción	58
4.1.2.1.	Condiciones básicas	58
4.1.2.2.	Evaluación de la cantidad necesaria de tubos de vacío	60
4.1.2.3.	Evaluación del intercambiador de calor	61
4.1.3.	Montaje por simulación	71
4.1.3.1.	Comparación con el diagnóstico	71
4.1.3.2.	Montaje del sistema de calefacción solar	75
DISCUSIONES		78
CONCLUSIONES		80
RECOMENDACIONES		81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		83
ANEXOS		86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Cuadro de temperaturas registradas de los meses de enero, febrero y marzo.....	28
Tabla 2	Cuadro de temperaturas registradas de los meses de abril, mayo, junio	29
Tabla 3	Cuadro de temperaturas registradas de los meses de julio, agosto y setiembre	30
Tabla 4	Cuadro de temperaturas registradas de los meses de octubre, noviembre y diciembre.....	31
Tabla 5	Cuadro para el método adaptativo en el mes de enero.....	34
Tabla 6	Cuadro para el método PVM en el mes de enero.....	34
Tabla 7	Cuadro para el método adaptativo en el mes de febrero	36
Tabla 8	Cuadro para el método PVM en el mes de febrero	36
Tabla 9	Cuadro para el método adaptativo en el mes de marzo.....	38
Tabla 10	Cuadro para el método PVM en el mes de marzo.....	38
Tabla 11	Cuadro para el método adaptativo en el mes de abril	40
Tabla 12	Cuadro para el método PVM en el mes de abril	40
Tabla 13	Cuadro para el método adaptativo en el mes de mayo.....	42
Tabla 14	Cuadro para el método PVM en el mes de mayo.....	42
Tabla 15	Cuadro para el método adaptativo en el mes de junio	44
Tabla 16	Cuadro para el método PVM en el mes de junio	44
Tabla 17	Cuadro para el método adaptativo en el mes de julio	46
Tabla 18	Cuadro para el método PVM en el mes de julio	46
Tabla 19	Cuadro para el método adaptativo en el mes de agosto	48

Tabla 20	Cuadro para el método PVM en el mes de agosto	48
Tabla 21	Cuadro para el método adaptativo en el mes de setiembre	50
Tabla 22	Cuadro para el método PVM en el mes de setiembre	50
Tabla 23	Cuadro para el método adaptativo en el mes de octubre.....	52
Tabla 24	Cuadro para el método PVM en el mes de octubre.....	52
Tabla 25	Cuadro para el método adaptativo en el mes de noviembre.....	54
Tabla 26	Cuadro para el método PVM en el mes de noviembre.....	54
Tabla 27	Cuadro para el método adaptativo en el mes de diciembre.....	56
Tabla 28	Cuadro para el método PVM en el mes de diciembre.....	56
Tabla 29	Condiciones térmicas para el intercambiador de calor	61
Tabla 30	Propiedades físicas a la entrada de intercambiador de calor.....	61
Tabla 31	Dimensiones de las superficies extendidas	63
Tabla 32	Condiciones térmicas para el intercambiador de calor aire calentado	66
Tabla 33	Propiedades físicas a la entrada de intercambiador de calor del aire calentado	67
Tabla 34	Resultado de parámetros para el aire calentado	67
Tabla 35	Datos óptimos para el confort térmico comparativo	71
Tabla 36	Resultado para el aumento del confort térmico.....	74
Tabla 37	Costos de instalación del sistema de calefacción.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Entrada para el método adaptativo del CBE</i>	33
Figura 2	Diagnóstico con el método PMV para el mes de enero	35
Figura 3	Diagnóstico con el método PMV para el mes de febrero.....	37
Figura 4	Diagnóstico con el método PMV para el mes de marzo	39
Figura 5	Diagnóstico con el método PMV para el mes de abril.....	41
Figura 6	Diagnóstico con el método PMV para el mes de mayo	43
Figura 7	Diagnóstico con el método PMV para el mes de junio.....	45
Figura 8	Diagnóstico con el método PMV para el mes de julio.....	47
Figura 9	Diagnóstico con el método PMV para el mes de agosto.....	49
Figura 10	Diagnóstico con el método PMV para el mes de Setiembre.....	51
Figura 11	Diagnóstico con el método PMV para el mes de octubre	53
Figura 12	Diagnóstico con el método PMV para el mes de noviembre.....	55
Figura 13	Diagnóstico con el método PMV para el mes de diciembre	57
Figura 14	Dimensiones del condensador del tubo de vacío	62
Figura 15	Dimensiones de las superficies extendidas	63
Figura 16	Gráfico del método adaptativo para comparar el confort térmico ...	70
Figura 17	Gráfico del método PVM para comparar el confort térmico	72
Figura 18	Datos de entradas del método PVM para comparar el confort térmico.....	73
Figura 19	Vivienda promedio con sistema de calefacción solar	75
Figura 20	Sistema de calefacción solar	75
Figura 21	Ambiente instalado con el sistema de calefacción solar para el confort térmico.....	76

RESUMEN

La ciudad de Tacna, se caracteriza por temperaturas que descienden considerablemente durante la noche, en el día en la estación de invierno. El problema de la calefacción en la ciudad de Tacna se caracteriza por sistemas tradicionales costosos, ineficientes y contaminantes. En respuesta, la calefacción solar emerge como una alternativa prometedora, proporcionando una solución sostenible y eficiente para mejorar el confort térmico en los hogares de la región.

Esta tesis se realizó utilizando un diseño transversal y de tipo aplicada - tecnológica. Se recopilaron datos climáticos, se utilizó herramientas de confort térmico basado en las normativas ASHRAE-55220 e ISO 7730:2005, los cuales dan indicadores de confort térmico como resultado basados en temperaturas y humedad relativa.

La investigación evidenció que la introducción de sistemas de calefacción solar en la ciudad de Tacna es factible tanto desde el punto de vista técnico como ambiental. Mediante simulación, se observó una notable mejora en el confort térmico de las residencias durante el periodo de mayo a noviembre de 2022. En particular, se destacó el mes de julio, donde se registró un incremento del 2,82 en el Índice de Voto Medio Estimado (PMV) y una reducción del 92% en el Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPD). Esto conlleva un menor consumo de energía convencional y a una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero.

La introducción de la calefacción solar se presenta como una alternativa ecológica y prometedora para mejorar el confort térmico en los hogares de la ciudad de Tacna. No solo beneficiaría la calidad de vida de los habitantes, sino que también reduciría el consumo de energía y contribuiría a combatir el cambio climático.

Los resultados de este análisis son relevantes para el desarrollo de viviendas sostenibles tanto en la ciudad de Tacna como en otras áreas con condiciones climáticas similares. Estos descubrimientos pueden servir de guía a las autoridades locales,

constructores y residentes para tomar decisiones informadas acerca de la implementación de sistemas de calefacción solar.

Palabras clave: Confort térmico, calefacción solar, viviendas, Tacna, sostenibilidad.

ABSTRACT

The city of Tacna is characterized by temperatures that drop considerably at night, during the day in the winter season. The heating problem in the city of Tacna is characterized by expensive, inefficient and polluting traditional systems. In response, solar heating is emerging as a promising alternative, providing a sustainable and efficient solution to improve thermal comfort in homes in the region.

This thesis was carried out using a transversal and applied-technological design. Climatic data were collected, thermal comfort tools were used based on the ASHRAE-55220 and ISO 7730:2005 regulations, which give thermal comfort indicators as a result based on temperatures and relative humidity.

The research showed that the introduction of solar heating systems in the city of Tacna is feasible from both a technical and environmental point of view. Through simulation, a notable improvement was observed in the thermal comfort of the residences during the period from May to November 2022. In particular, the month of July stood out, where an increase of 2.82 in the Average Vote Index was recorded. Estimated (PMV) and a 92% reduction in the Percentage of Dissatisfied People (PPD). This leads to lower conventional energy consumption and a decrease in greenhouse gas emissions.

The introduction of solar heating is presented as an ecological and promising alternative to improve thermal comfort in homes in the city of Tacna. It would not only benefit the quality of life of the inhabitants, but would also reduce energy consumption and contribute to combating climate change.

The results of this analysis are relevant for the development of sustainable housing both in the city of Tacna and in other areas with similar climatic conditions. These findings can guide local authorities, builders and residents to make informed decisions about implementing solar heating systems.

Keywords: Thermal comfort, solar heating, homes, Tacna, sustainability.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tacna se encuentra en el sur peruano. La comodidad térmica sobre las viviendas se convierte en un desafío, una necesidad que demanda soluciones sostenibles y eficientes. Es aquí donde la calefacción solar emerge como una alternativa prometedora para combatir el frío y conservar la salud en los tacneños.

Esta investigación se sumerge sobre el análisis del clima de la ciudad de Tacna y su impacto en la comodidad térmica de las viviendas, explorando el potencial de la calefacción solar como una respuesta viable a esta problemática. A través de datos climáticos, herramientas del confort térmico, simulaciones computacionales y normativas como el ASHRAE-55220 e ISO 7730:2005, se diseña un modelo de sistema de calefacción solar adaptado a las condiciones específicas de la ciudad.

El objetivo principal es aumentar el confort térmico mediante la calefacción solar en las viviendas de la ciudad de Tacna, en el año 2022, determinando su impacto en el confort térmico, la economía y el medio ambiente. Se busca la aplicación de la energía solar que puede transformar las viviendas en refugios acogedores, donde radiación solar se convierte en un aliado para el bienestar de las personas.

Esta investigación no solo busca soluciones técnicas, sino que también pretende generar conciencia sobre la importancia del confort térmico y la sostenibilidad. Se espera que los resultados obtenidos sirvan como base para la toma de decisiones por parte de autoridades, constructores y habitantes de la ciudad de Tacna, impulsando la adopción de sistemas de calefacción solar que contribuyan a un futuro más confortable y sostenible en la ciudad.

A medida que nos adentramos en esta investigación, descubriremos las posibilidades que ofrece la calefacción solar para mejorar la calidad de vida en la ciudad de Tacna. Imaginemos viviendas donde el sol sea la fuente principal de calor, creando ambientes confortables y saludables, reduciendo el consumo de energía convencional y minimizando el impacto ambiental.

El primer capítulo de la tesis comienza presentando el problema de investigación, que se sitúa en el contexto de la realidad actual. Luego, este problema se examina y refina cuidadosamente, lo que lleva a la formulación de la pregunta de investigación y los objetivos de la tesis. El marco metodológico que sustenta la investigación se presenta en detalle, describiendo los pasos y métodos específicos empleados para abordar el problema de investigación.

El segundo capítulo profundiza en el marco teórico, brindando una visión integral de la literatura relevante y de investigaciones previas relacionadas con el tema de tesis. Este fundamento teórico sirve como base para el aumento del confort térmico, que es el foco central de la investigación.

El tercer capítulo se centra en los aspectos metodológicos de la investigación, explicando minuciosamente la metodología que sustenta la tesis. El planteamiento del problema se revisa y aclara, proporcionando un contexto claro para el tipo de investigación que se llevará a cabo.

El cuarto capítulo, titulado “Resultados y Discusión”, presenta un análisis detallado de los hallazgos obtenidos para el aumento del confort térmico. A este análisis le sigue un examen comparativo de los resultados con el diagnóstico y con las similitudes y/o discrepancias entre los hallazgos de esta tesis y los de estudios anteriores.

La tesis culmina con la presentación de conclusiones y recomendaciones. La conclusión más importante es que la investigación identificó con éxito los materiales adecuados para el aumento del confort térmico mediante la calefacción solar en las viviendas de la ciudad de Tacna.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de problema

1.1.1. Antecedentes del problema

Durante las estaciones de invierno en la ciudad de Tacna, las temperaturas descienden considerablemente, llegando a alcanzar hasta los 10 grados Celsius. Este descenso en las temperaturas afecta el nivel de confort que experimenta la población de la ciudad de Tacna. “para contrarrestar esta disminución del confort térmico, la población hace uso para la calefacción, energías no renovables como es la electricidad, la quema de madera entre otros, es esta necesidad la cual nos lleva a proponer una forma de calefacción por medio de la utilización de la energía solar.” (Campos, 2017, p. 88).

Los usos de los tubos de vacío son muy utilizados para el calentamiento de agua lo que aumenta el confort térmico cuando uno realiza el aseo personal, lo que significa que se puede obtener un gran ahorro en la economía del hogar a diferencia de utilizar resistencias eléctricas para aumentar la temperatura del agua.

En la actualidad existe los secadores solares de convección natural que son utilizados en la obtención del confort térmico, como el muro trombe, pero es incapaz de controlar una temperatura deseada y adecuarse a las viviendas actuales de la ciudad de Tacna, es por eso la propuesta de esta tesis en el aprovechamiento del recurso energético solar para obtener un adecuado confort térmico y de esta forma evitar enfermedades respiratorias, estrés térmico para una sala de estudio en las viviendas de Tacna (Carolina & Giraldo, 2020).

Sin la intervención de una adecuada calefacción el problema seguirá aquejando a la población de la ciudad de Tacna es por el cual se propone el mejorar el bienestar en los

hogares de la ciudad de Tacna a través de un sistema de calefacción solar que utiliza tubos de vacío, circulación forzada de aire.

1.1.2. Problemática de la investigación

Los hogares de la ciudad de Tacna sufren en las épocas frías para combatir esta sensación, actualmente algunas empresas venden termas solares los cuales se utilizan para calentar el agua y que esta pueda estar cálida, con el mismo principio se puede calentar el aire, pero esta requiere de una aleta para que sea más efectiva el calentamiento y pueda aumentar el confort térmico en las viviendas de la ciudad de Tacna.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema principal

¿En qué medida aumentará el confort térmico mediante la calefacción solar en las viviendas de la ciudad de Tacna, en el año 2022?

1.2.2. Problemas secundarios

¿Cuál es el diagnóstico del confort térmico en las viviendas de la ciudad de Tacna 2022

¿Cuál es el sistema de calefacción adecuado para la selección de los componentes y el método de transferencia de calor en las viviendas de la ciudad de Tacna, en el año 2022?

¿Cuál es el montaje del sistema de calefacción mediante la simulación y cómo se compararán los resultados con los obtenidos en el diagnóstico inicial en las viviendas de la ciudad de Tacna, en el año 2022?

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación social

Las estaciones de otoño e invierno en donde la percepción de la temperatura es baja en referencia a las otras estaciones restantes, las cuales causan malestar en la población recurriendo muchas veces a la calefacción eléctrica, originando altos costos económicos por este tipo de uso.

1.3.2. Justificación ambiental

Existe actualmente una política mundial acerca del cambio climático que es causado por la industria, por la utilización de energía convencional como son las termoeléctricas que tiene como combustible los derivados del carbón y radiactividad. Dejando a su paso residuos que son arrojados al medio ambiente.

1.3.3. Importancia de la investigación

Esta tesis busca mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Tacna a través de un sistema de calefacción solar innovador. La implementación de este sistema no solo generará un impacto económico positivo en la comunidad, sino que también mejorará significativamente el confort y bienestar de los residentes.

El corazón del sistema es un colector solar de alta eficiencia que utiliza tubos de vacío. Estos tubos capturan la energía solar y la transfieren de manera eficiente a un sistema de calefacción que utiliza convección forzada para distribuir el calor de manera uniforme. Este flujo de aire caliente se regula mediante un dispositivo electrónico que garantiza una temperatura óptima y un flujo de aire constante.

1.4. Alcances y limitaciones

1.4.1. Alcances

Esta tesis tiene como finalidad otorgar calefacción mediante la irradiación solar, llegar de esta forma en la utilización de la selección de aletas longitudinales para una

mayor eficiencia de transferencia de calor y estas puedan ser transferidos mediante una convección forzada hacia las habitaciones, recintos donde requieran calidez térmica.

1.4.2. Limitaciones

Las principales restricciones de la tesis, se relacionan con el acceso a la información, puesto que la existencia de sistemas de calefacción eléctricos e incluso calentamiento de aire por colectores solares por convección natural no exponen las cualidades del diseño del sistema de calefacción en la ciudad de Tacna.

1.5.Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Aumentar el confort térmico mediante la calefacción solar en las viviendas de la ciudad de Tacna, en el año 2022.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico del confort térmico en las viviendas de la ciudad de Tacna en el año 2022.
2. Determinar el sistema de calefacción, seleccionando adecuadamente los componentes y el método de transferencia de calor en las viviendas de la ciudad de Tacna en el año 2022.
3. Realizar el montaje del sistema mediante simulación, comparando resultados con los obtenidos en el diagnóstico inicial en las viviendas de la ciudad de Tacna en el año 2022.

1.6.Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La calefacción solar aumenta el confort térmico en las viviendas de la ciudad de Tacna en el año 2022.

1.6.2. Hipótesis específicas

La realización de un diagnóstico del confort térmico permite su aumento en las viviendas de la ciudad de Tacna 2022.

La determinación el sistema de calefacción, seleccionando adecuadamente los componentes y el método de transferencia de calor permite el aumento del confort térmico en las viviendas de la ciudad de Tacna 2022.

La realización del montaje en el sistema mediante simulación, comparando resultados con los obtenidos en el diagnóstico, inicial permite el aumento del confort térmico en las viviendas de la ciudad de Tacna 2022.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedente nacional

Según la descripción de Yucra y Tumi (2021), en la tesis titulada “Eficiencia del confort térmico proporcionado por la estufa ecológica de alto rendimiento en viviendas de la comunidad de Tumaruma del distrito y provincia Lampa, región Puno-2018” (p. 1). investigaron la efectividad de las estufas ecológicas de alto rendimiento para mejorar el confort térmico en viviendas de la comunidad de Tumaruma, distrito de Lampa. Descubrieron que estas estufas aumentan la temperatura interior de 285,15 K (12°C) a 298,15 K (25°C), protegiendo a los habitantes de las temperaturas mínimas. Este estudio, de diseño cuasi-experimental y enfoque cuantitativo, sirve como base para el presente proyecto, que se centrará en medir el confort térmico proporcionado por estas estufas.

Según la descripción de Wieser et al. (2021), en el artículo científico titulado “Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura. Validación de prototipo de vivienda. Puno, Perú” (p. 1). Destacan que las condiciones térmicas dentro de las cabañas tradicionales son extremadamente deficientes, con temperaturas nocturnas que rozan los 273,15 K (0°C). Para mejorar esta situación, proponen un enfoque bioclimático que prioriza aferrándose en la oportunidad que da la luz del sol para mantenerse calientes. Este estudio respalda el presente proyecto, que busca diseñar un calefactor solar que aproveche la radiación solar para mejorar el confort térmico en viviendas similares.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Se encuentra especificado por Rashad et al. (2021), en su trabajo científico titulada “La utilización de la energía ambiental útil en viviendas residenciales para mejorar la confortabilidad térmica reduciendo el consumo energético”, el cual tiene como problema que el creciente consumo de energía en viviendas se debe al crecimiento urbano y

migración rural-urbana. La conciencia ambiental y la incertidumbre energética han resaltado la necesidad de eficiencia en el diseño de edificios, aunque la aplicación de normativas energéticas en el sector residencial es menos perceptible y menos estricta. Llegaron a la conclusión de que el estudio revisa estrategias de energía pasiva para edificios residenciales, destacando la ventilación nocturna, intercambio de radiación nocturna, materiales de cambio de fase, enfriamiento evaporativo, energía solar térmica y diseño pasivo. Señala la necesidad de investigaciones más extensas y casos reales para cuantificar los ahorros de energía, especialmente en regiones tropicales y subtropicales. Se destaca la falta de investigación integrada sobre el despliegue óptimo de estas estrategias y la importancia de sistemas de HVAC eficientes y flexibles adaptados a las condiciones climáticas locales.

Según Song et al. (2022), en su artículo científico titulada “Análisis de los efectos a largo plazo de la radiación solar sobre el confort térmico interior en edificios de oficinas” el cual tiene como problema la deficiencia calorífica de los edificios que es crucial para la sostenibilidad y el diseño sostenible. Es fundamental no perder de vista el objetivo principal de proporcionar espacios cómodos para los ocupantes. Un diseño bien pensado mantiene al mínimo el uso energético y también garantiza un ambiente térmico interior confortable, especialmente en entornos como oficinas, donde las personas pasan una parte significativa del día. Se dio como respuesta con respecto a la influencia de la radiación solar en la sensación de confort térmico, difiere según la zona climática. En áreas subtropicales y cálidas, el malestar causado por esta radiación es más pronunciado, especialmente cerca de las ventanas. Se recomienda una atención especial a las ventanas exteriores y la adopción de medidas como persianas móviles para mitigar el efecto. Reducir el coeficiente de transmisión solar y el valor U de las ventanas mejora significativamente el confort térmico, especialmente en áreas subtropicales y cálidas, reduciendo el tiempo de malestar en más del 86 %.

Mediante Tartarini et al. (2020) para el artículo científico titulado “CBE Thermal Comfort Tool: Herramienta del confort térmico” tuvo el problema de que las normas

como ASHRAE 55–2017 e ISO 7730:2005 y las publicaciones científicas ofrecen métodos para calcular el confort térmico, pero no son accesibles gratuitamente. Herramientas de código abierto como `comf` y `pythermalcomfort` están disponibles, aunque no hay una herramienta general para calcular índices de confort térmico. Concluyeron que la herramienta CBE Thermal Comfort es una plataforma gratuita en línea para calcular y visualizar el confort térmico, alineada con los principales estándares. En 2019, se lanzó una nueva versión con mejoras en la interfaz, gráficos y modelos, cumpliendo más estándares internacionales. Se espera que esta actualización amplíe su uso en diversas aplicaciones, facilitando cálculos complejos sin que se necesiten conocimientos de programación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Confort térmico

Pertenece a una condición de satisfacción mental y física que es cuando la circunstancia térmica está en equilibrio con las necesidades fisiológicas del cuerpo humano. Es fundamental para estar saludable y conservar la productividad. La comprensión de los principios que rigen el confort térmico es esencial para diseñar espacios interiores que sean agradables y cómodos para los ocupantes (Acuña, 2019).

Equilibrio térmico

El cuerpo humano produce calor constantemente a través de procesos metabólicos, como la respiración y la actividad muscular. Esta energía calorífica tiene que salir al entorno para establecerse a una temperatura de 310,15 (37°C). Siempre cuando hay un equilibrio térmico, el ocupante se siente cómodo (Chen et al., 2019).

Factores que influyen en el confort térmico

Factores ambientales:

Temperatura del aire: Es un factor ambiental más importante que afecta el confort térmico. Los rangos de temperatura considerados confortables varían según el metabolismo y el uso de las ropas de los ocupantes (Tewari & Dev, 2018).

Temperatura radiante media: Es temperatura promedio superficial radiante para rodear al ocupante. Las paredes también pueden ser radiantes, pisos, techos y objetos dentro del espacio (Tartarini et al., 2020).

Velocidad del aire: Es la que afecta toda transmisión energética de caloría entre el cuerpo humano y el ambiente. Una brisa ligera puede aumentar la sensación de frescor, mientras que una corriente de aire frío puede generar incomodidad (Tartarini et al., 2020).

Humedad relativa: Es el vapor de agua que se encuentra en el aire en vinculado con su capacidad tope para contenerlo. Una humedad relativa alta puede dificultar la disipación del calor del cuerpo, lo que puede provocar una sensación de calor y malestar (Tartarini et al., 2020).

Presión atmosférica: La presión atmosférica tiene un efecto menor en el confort térmico, pero puede causar variaciones de temperatura y la humedad (Tewari & Dev, 2018).

Factores personales:

Tasa metabólica: La tasa metabólica es la cuantía de energía calorífica que genera el cuerpo humano en reposo o durante la actividad física. Una mayor tasa metabólica aumenta la producción de calor y, por lo tanto, la necesidad de disipar calor para mantener el confort (Vargas Bautista et al., 2016).

Nivel de ropa: La cantidad de ropa que usa el ocupante afecta la capacidad del cuerpo para aislarse del entorno térmico. Un mayor nivel de ropa aumenta el aislamiento y dificulta la disipación del calor (Tartarini et al., 2020).

Aclimatación: La aclimatación es la capacidad del cuerpo humano para adaptarse a diferentes condiciones climáticas (Mercado, 2015).

Estándares de confort térmico

Existen diversos estándares que definen las condiciones térmicas aceptables para el confort térmico en espacios interiores. El estándar más reconocido es ASHRAE 55-2020. Este estándar establece los rangos para la temperatura, humedad relativa y rapidez del aire considerados aceptables para diferentes niveles en actividad y vestimenta (Tartarini et al., 2020).

Otro estándar importante es ISO 7730 que determina el índice PMV y del PPD - Índice de confort térmico y porcentaje de insatisfechos. Este estándar define los índices PMV y PPD como medidas cuantitativas del confort térmico (Tartarini et al., 2020).

Aplicaciones del confort térmico

El conocimiento sobre el confort térmico tiene diversas aplicaciones para diseñar, operar y evaluar en espacios interiores (Acuña, 2019).

Operación de edificios: Los administradores de edificios utilizan los principios del confort térmico para operar los sistemas HVAC de manera eficiente y mantener a los ocupantes cómodos (Liu et al., 2023).

2.2.2. Calefacción solar

La calefacción solar, como tecnología para aprovechar la energía del sol para generar calor, es una opción sostenible y eficiente a los sistemas de calefacción de energías no renovables que dependen de combustibles fósiles. Entre los diferentes colectores solares térmicos disponibles, los tubos de vacío destacan por su alto rendimiento y capacidad para funcionar en climas fríos y con poca luz solar. En este documento, se presenta una base teórica completa sobre la calefacción solar con tubos de vacío, abarcando desde los principios físicos de su funcionamiento (Xia et al., 2023).

1. Funcionamiento de los tubos de vacío

Cada tubo para el sistema de calefacción renovable funciona como una pequeña central eléctrica térmica individual. La técnica de conversión de luz solar en calor se desarrolla en:

a) Absorción selectiva: La superficie interior del tubo de vacío está recubierta con un material de revestimiento absorbente selectivo. Este material tiene la peculiaridad de absorber principalmente la radiación infrarroja, la parte más energética del espectro solar, mientras que refleja la luz visible. De esta manera, se maximiza la captación de calor y se minimizan las pérdidas (Meng et al., 2023).

b) Efecto termoiónico: El filamento incandescente, situado en el extremo inferior del tubo, se calienta al pasar una corriente eléctrica. Este calor provoca la emisión de electrones desde el filamento hacia el ánodo, un cilindro metálico situado en el centro del tubo (Soni et al., 2021) .

c) Campo eléctrico acelerador: El voltaje que mediante el cátodo y el ánodo genera el campo eléctrico que acelera los electrones emitidos por el filamento. Estos electrones, al impactar contra el colector, un cilindro metálico situado en la pared del tubo, liberan su energía cinética en forma de calor (Rekstad et al., 2015).

d) Aislamiento térmico efectivo: El vacío entre los dos tubos de vidrio actúa como un aislante térmico excepcional. Esto minimiza los extravíos de calor de forma convencional y concede la energía calorífica ganada en el interior del tubo se transfiera de manera eficiente al fluido cal portador que circula por su interior (Rekstad et al., 2015).

e) Transferencia de calor al fluido: El fluido cal portador, circula por el interior del tubo absorbiendo el calor generado por el colector. Este fluido caliente se dirige posteriormente al tanque de almacenamiento, donde se almacena para su uso posterior en el sistema de calefacción del hogar (Dong et al., 2020).

Factores para la eficiencia

Calidad del vacío: Un vacío de alta calidad es crucial para minimizar las pérdidas de calor por convección.

Propiedades del revestimiento absorbente: La selectividad del revestimiento, es decir, su capacidad para absorber la radiación infrarroja y reflejar la luz visible, es fundamental para un buen rendimiento.

Diseño del tubo: La forma y el tamaño del tubo, así como la disposición de los elementos internos, influyen en la captación y transferencia de calor.

Condiciones climáticas: La irradiación solar con la temperatura ambiente y la traslación del aire afectan al rendimiento del sistema.

2. Ventajas de los tubos de vacío

Aparte de los tubos están también los paneles fotovoltaicos son dos tecnologías de captación de energía solar que se utilizan comúnmente para sistemas de calefacción solar. Si bien ambos tienen como objetivo para convertir en calor o electricidad, presentan características y ventajas distintivas que los hacen más adecuados para diferentes aplicaciones (Song et al., 2022).

a. Eficiencia:

Tubos de vacío: Los tubos de vacío ofrecen una mayor eficiencia, es hasta 48 %, en la conversión de energía solar en calor, especialmente en climas fríos o con poca luz solar. Su diseño al vacío y su revestimiento absorbente selectivo les permiten captar y retener el calor de manera más efectiva (Rashad et al., 2021).

Paneles fotovoltaicos: La eficiencia de los paneles fotovoltaicos es hasta un 23 %, en transformar a electricidad, dependiendo del tipo de panel y la irradiación solar. En general, son menos eficientes para generar calor directamente (Romanach et al., 2017).

b. Rendimiento en climas fríos:

Tubos de vacío: Estos funcionan de manera óptima en climas fríos gracias a su capacidad para minimizar las pérdidas de calor. El vacío entre los tubos y el aislamiento térmico les permiten mantener el calor generado incluso en temperaturas bajas (Méndez, 2022).

Paneles fotovoltaicos: El rendimiento de los paneles fotovoltaicos se ve afectado negativamente por las bajas temperaturas. Su eficiencia disminuye en climas fríos, lo que los hace menos adecuados para calefacción en estas condiciones (Carolina & Giraldo, 2020).

c. Funcionamiento en días nublados:

Tubos de vacío: Los tubos de vacío pueden captar energía solar incluso en días nublados gracias a su diseño concentrado. El reflector interno dirige la luz solar difusa hacia el absorbente, lo que les permite generar calor en condiciones de poca luz (Chambergo et al., 2020).

Paneles fotovoltaicos: La cantidad de energía generada está ligada a la cantidad de luz solar recibida. En días nublados o con poca luz, su rendimiento disminuye considerablemente (Carolina & Giraldo, 2020).

d. Vida útil:

Tubos de vacío: Estos tienen una vida útil estimada de 20 a 30 años, gracias a su resistencia a la intemperie, a las altas temperaturas y a los golpes. El vacío entre los tubos y la ausencia de partes móviles los hacen menos propensos a fallos (Chambergo et al., 2020).

Paneles fotovoltaicos: La duración es aproximadamente de 24 a 30 años. pero, son más susceptibles a la degradación por factores ambientales como la humedad, la radiación UV y las fluctuaciones de temperatura (Chambergo et al., 2020).

e. Impacto estético:

Tubos de vacío: Los tubos de vacío suelen tener una estética más discreta y elegante que los paneles fotovoltaicos. Su diseño cilíndrico y su disposición en filas o rejillas permiten una integración más armoniosa en la arquitectura de los edificios (Rekstad et al., 2015).

Paneles fotovoltaicos: Los paneles fotovoltaicos, por su parte, suelen tener un aspecto más industrial y llamativo. Su tamaño y color negro pueden resultar menos atractivos visualmente para algunos propietarios (Rashad et al., 2021).

f. **Mantenimiento:**

Tubos de vacío: Estos requieren un mantenimiento mínimo, que consiste principalmente en la limpieza ocasional de la superficie exterior para eliminar el polvo y la suciedad.

Paneles fotovoltaicos: Los paneles fotovoltaicos también requieren un mantenimiento mínimo, pero pueden ser más susceptibles a la acumulación de suciedad o a la aparición de microgrietas en su superficie, lo que puede afectar su rendimiento.

g. **Costo:**

Tubos de vacío: El costo inicial de los tubos de vacío puede estar por encima de los paneles fotovoltaicos. Sin embargo, su mayor eficiencia y vida útil pueden compensar este costo a largo plazo.

Paneles fotovoltaicos: Los paneles fotovoltaicos tienen un costo inicial más bajo que los tubos de vacío. Sin embargo, su menor eficiencia y vida útil pueden implicar mayores costos de energía a largo plazo.

3. Selección de tubos de vacío

Cuando se selecciona el captador para un sistema de calefacción solar, es importante considerar los siguientes factores:

Tamaño y capacidad: El tamaño y la capacidad de los tubos de vacío deben adecuarse a las necesidades de calefacción del hogar.

Material del tubo: Los tubos de vidrio borosilicato son los más comunes y ofrecen una buena resistencia a la intemperie.

Revestimiento del absorbente: El revestimiento del absorbente debe ser selectivo, es decir, que deja entrar la luz del sol, pero minimizar la emisión de calor infrarrojo.

Aislamiento térmico: El aislamiento térmico del tubo debe ser eficiente para minimizar las pérdidas de calor.

Marca y reputación del fabricante: Es importante elegir tubos de vacío de una marca reconocida y con buena reputación.

4. Instalación de un sistema de calefacción solar con tubos de vacío

La instalación para el sistema de calefacción solar con tubos de vacío debe ser realizada por un profesional cualificado. El proceso de instalación general incluye los siguientes pasos:

Selección e instalación de los colectores solares: Los colectores solares deben instalarse en un lugar con orientación sur y libre de obstáculos que puedan sombrearlos.

Conexión de los tubos: Los tubos de vacío se conectan entre sí mediante tuberías y accesorios específicos (Aro, 2023).

Operación y mantenimiento: El sistema debe ser puesto en marcha por un profesional y debe recibir un mantenimiento periódico para garantizar su correcto funcionamiento.

4. Beneficios de la calefacción solar con tubos de vacío

La calefacción solar con tubos de vacío ofrece una serie de beneficios, tanto económicos como medioambientales:

Reducción de la factura energética: La calefacción solar puede reducir significativamente la factura energética del hogar, especialmente en zonas con climas fríos (Aro, 2023).

Disminución de las emisiones de CO₂: Al aprovechar la energía solar, una fuente renovable, la calefacción solar disminuye las emisiones de CO₂, ayudando a atacar la modificación climática (Song et al., 2022).

Mayor independencia energética: La dependencia de los combustibles fósiles se reduce considerablemente al utilizar un sistema de calefacción solar.

Aumento del valor de la propiedad: Una vivienda con un sistema de calefacción solar instalado puede estar más valorizado en el mercado.

5. Transferencia de calor

Está dado mediante convección forzada con superficies extendidas, es una técnica que se puede implementar en los tubos de vacío para calefacción solar con el objetivo aumentar su eficiencia en el sistema y, en consecuencia, aumentar la cantidad de calor utilizable (Aro, 2023).

a. Principio de funcionamiento:

En la convección forzada, un líquido portador de calor, como agua o una mezcla de agua y anticongelante, transita por el interior del tubo de vacío. Este líquido absorbe el calor producido por el absorbente selectivo al tocar la superficie interna del tubo. La circulación del fluido se realiza mediante una bomba que crea una diferencia de presión, impulsando el fluido a través de los tubos y favoreciendo la transferencia de calor (Méndez, 2022).

b. Superficies extendidas:

Las superficies extendidas son elementos adicionales que se incorporan al tubo de vacío para aumentar su área superficial. Esto permite que el fluido portador entre en

contacto con una mayor superficie, incrementando la tasa de transferencia de calor (Aro, 2023).

Tipos de superficies extendidas:

Aletas: Son las superficies extendidas más comunes y consisten en salientes o aletas que se integran a la pared del tubo.

Costillas: Son similares a las aletas, pero con una mayor longitud y grosor.

Tubos con ranuras o estrías: La superficie interna del tubo se modifica con ranuras o estrías para aumentar su área superficial.

c. Beneficios de la convección forzada con superficies extendidas:

Mayor tasa de transferencia de calor: Se incrementa la energía calorífica transferida del tubo al fluido cal portador por unidad de tiempo.

Mayor eficiencia térmica: Se mejora la eficiencia general para la calefacción solar, entonces hay un mayor aprovechamiento solar.

Menor tamaño del sistema: Al aumentar la eficiencia térmica, se puede reducir el tamaño del sistema de calefacción solar requerido para satisfacer las necesidades de calor del hogar.

Menor costo de instalación: La reducción en el tamaño del sistema puede implicar un menor costo de instalación.

d. Consideraciones para la implementación:

Selección del fluido cal portador: Es fundamental el atributo de la viscosidad y conductividad térmica, estas influyen en la transferencia de calor.

Diseño de las superficies extendidas: La forma, tamaño y disposición de las superficies extendidas deben optimizarse para maximizar la transferencia de calor.

Selección de la bomba: La bomba debe ser capaz de generar la presión necesaria para impulsar el fluido portador a través del sistema.

Control del sistema: Es importante controlar la velocidad de la bomba y la temperatura del fluido cal portador para optimizar el rendimiento del sistema.

2.3. Definición de términos

Área transversal: Es perpendicular a su eje longitudinal. Representa el área de la superficie proyectada en la dirección del movimiento.

ASHRAE 55–2017: ASHRAE 55–2017 es un estándar de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) que establece pautas para el diseño térmico y la calidad ambiental interior de los edificios ocupados.

Calefacción: La calefacción es el proceso de generar o introducir calor en un espacio para mantener una temperatura confortable o para procesos específicos. Puede implicar el uso de fuentes de calor como sistemas de calefacción central, estufas, radiadores o energía solar pasiva.

Convección forzada: La convección forzada es el proceso de fuerzas externas, como ventiladores o bombas. Estas fuerzas impulsan el fluido a circular, llevando el calor de un área caliente a una fría.

Convección natural: Es un proceso de propagación de calor en fluidos donde las diferencias de temperatura y densidad causan movimiento. El fluido caliente, al ser menos denso, sube, mientras que el fluido frío y más denso baja, creando corrientes de convección.

Eficiencia térmica: Es la vinculación de la energía útil realizada por un motor térmico y el calor absorbido del depósito caliente. Mide la eficacia con que un motor convierte el calor en trabajo.

Estufa: Un electrodoméstico diseñado para calentar un espacio interior utilizando una fuente de energía (como electricidad, gas o leña) que calienta un elemento, el cual a su vez libera calor al aire circundante.

ISO 7730:2005: La ergonomía del ambiente térmico, como establece la norma ISO 7730:2005, tiene como propósito prever la percepción térmica y su incomodidad en ambientes moderados. Es crucial para el diseño de lugares de trabajo, viviendas y transportes, evaluando parámetros ambientales como temperatura del aire, radiación, velocidad y humedad, también el metabolismo y resistencia térmica de la ropa.

Luz visible: Luz visible: Región del espectro electromagnético que los humanos pueden percibir, abarca longitudes de onda entre aproximadamente 400 y 700 nanómetros.

Muro trombe: El muro Trombe es un elemento arquitectónico pasivo que mejora la eficiencia energética de los edificios. Consiste en una pared orientada al sur con una cámara de aire entre dos capas de material pesado, como hormigón o ladrillos. El sol calienta el aire en la cámara, que circula naturalmente y calienta el interior del edificio.

Radiactividad: Es la difusión de partículas o radiaciones (alpha, beta y gamma) por el núcleo de átomos inestables, liberando energía en forma de calor y radiación ionizante.

Rendimiento: El rendimiento es la cantidad o calidad de trabajo o producción lograda en relación con el tiempo, los recursos o el esfuerzo invertidos. Es una medida de la eficiencia y productividad de un individuo, proceso o sistema.

Satisfacción mental: Es la comodidad emocional y psicológica en el que un individuo experimenta sentimientos de contentamiento, plenitud y armonía consigo mismo y su entorno. Implica reconocer y valorar los aspectos positivos de la vida, encontrar significado y propósito, y sentirse en control de las propias emociones y experiencias.

Simulación: La simulación es un proceso que crea una representación virtual de un sistema real, permitiéndonos experimentar y analizar su comportamiento sin afectar al sistema real.

Temperatura ambiente: Temperatura ambiente es la temperatura del aire en un espacio interior ocupado, típicamente entre 19 y 25 grados Celsius (65 y 77 grados Fahrenheit), que proporciona condiciones cómodas para la actividad humana sin necesidad de calefacción o refrigeración artificial.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación.

La investigación es de naturaleza aplicada y tecnológica, enfocada en resolver problemas reales de confort térmico en hogares de la ciudad de Tacna. Su objetivo es aplicar el conocimiento para mejorar la calidad de vida de los habitantes, y no solo generar conocimiento teórico.

La tesis aplica conocimientos científicos y técnicos para diseñar un sistema de calefacción solar que mejore el confort térmico en viviendas de la ciudad de Tacna. Que tendrá un impacto positivo en la salud, productividad y comodidad para todos los habitantes. La colaboración con la comunidad asegura la pertinencia de la investigación y la aplicación inmediata de los resultados. La tesis se enfoca en identificar y solucionar un problema específico, buscando soluciones prácticas y efectivas que puedan ser transferidas a otras regiones con climas similares.

3.1.2. Diseño de la investigación.

El diseño es transversal, que estudia la relación entre la calefacción solar y el confort térmico en hogares de la ciudad de Tacna durante 2022. Este enfoque permite analizar la conexión en un momento específico, adecuado para describir la situación actual del confort térmico en viviendas con y sin calefacción solar.

Adicionalmente, el diseño transversal facilita identificar factores asociados al confort térmico en las viviendas de la ciudad de Tacna. Este diseño es más viable en términos de tiempo y costo que un diseño experimental, especialmente si se dispone de datos existentes sobre calefacción solar, confort térmico y otras variables relevantes.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Son las viviendas unifamiliares ocupadas (93 400), construidas antes del 2023 y ubicadas en la ciudad de Tacna. Esta definición permite un análisis preciso y relevante del impacto para la calefacción solar de las viviendas en el contexto específico de la ciudad de Tacna.

3.2.2. Muestra

La mayoría de las casas de la ciudad de Tacna son de un solo nivel y construidas con materiales de albañilería (93 400). Esto se debe a que este tipo de construcción es económica, durable y resistente a los sismos. Por lo que la muestra de una vivienda.

3.3. Operacionalización de variables

Definición conceptual de la variable

Variable independiste

Calefacción solar: La calefacción solar usa la luz solar para calentar el aire en la vivienda a través de colectores solares en el techo, mejorando el confort térmico (Aro, 2023).

Variable dependiste

Aumento del confort térmico: Es el aumento de la satisfacción física y mental con el entorno térmico, logrado cuando temperatura, humedad y rapidez en el aire son agradables en la gran parte de los habitantes (CBE, 2022).

Operalización de variables

	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Calefacción solar	La calefacción solar usa la luz solar para calentar el aire en la vivienda a través de colectores solares en el techo, mejorando el confort térmico (Aro, 2023).	Temperatura promedio del aire en el espacio exterior.	Temperatura del aire promedio (K, °C).
		Temperatura promedio de las superficies radiantes.	Temperatura media radiante (K, °C).
		Es la media de la temperatura del aire promedio y la temperatura media radiante.	Temperatura operativa (K, °C).
		Velocidad del aire en el espacio interior.	Velocidad del aire (m/s).
		Cantidad de humedad en el aire en porcentaje.	Humedad relativa (%).
		Nivel de actividad física de los ocupantes.	Tasa metabólica (met).
		Cantidad de ropa que usan los ocupantes.	Nivel de ropa (clo).
Variable dependiente: Aumento del confort térmico	Es el aumento de la satisfacción física y mental con el entorno térmico, logrado cuando temperatura, humedad y rapidez en el aire son agradables en la gran parte de los habitantes (CBE, 2022).	Índice numérico que representa la sensación térmica promedio.	PMV (Voto medio previsto) (-0,5 hasta +0,5).
		Porcentaje que representa el número esperado de ocupantes insatisfechos.	PPD (Porcentaje previsto de insatisfechos) (%).

Fuente. Elaboración propia

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

En esta investigación del confort térmico en viviendas unifamiliares de la ciudad de Tacna, se emplearon diversas fuentes de datos:

Registros históricos de temperatura: Se consultaron bases de datos climáticos para obtener información sobre las temperaturas promedio en la ciudad de Tacna durante diferentes períodos del año. Estos datos permitieron comprender el contexto climático en el que se evaluaría el impacto de la calefacción solar.

Censo de población: Se accedió a datos del censo para determinar la cantidad promedio de habitantes en una vivienda unifamiliar en la ciudad de Tacna. Esta información fue crucial para calcular la demanda de calefacción y estimar el tamaño adecuado del sistema solar.

3.5. Procesamientos y análisis de datos

Se utilizó estas herramientas:

Hojas de cálculo Excel: Se emplearon hojas de cálculo para realizar cálculos relacionados con el diseño del intercambiador de calor, como el cálculo de la propagación de calor, la selección de materiales y las dimensiones del equipo.

Herramienta CBE (Comfort Building Evaluation): Se utilizó la herramienta CBE para el cálculo de la comodidad térmica prevista en las viviendas. Esta herramienta permite calcular el índice PMV y el índice PPD, para identificar el nivel de satisfacción térmica promedio de los ocupantes y el porcentaje de personas insatisfechas, respectivamente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Análisis del diagnóstico

El cálculo del desempeño de un colector solar, se analizó utilizando una inclinación de 45° en referencia al plano y una orientación de azimut de 0° . Esta configuración permitió registrar las temperaturas exteriores durante las horas de incidencia radiactiva directa sobre el colector.

Se analizó las temperaturas externas y la capacidad del colector para absorber y convertir la energía solar en calor utilizable. Al capturar datos de temperatura durante horas específicas de irradiación solar, el estudio buscaba evaluar la efectividad del colector bajo diferentes condiciones.

Se eligió un ángulo de inclinación de 45° para aumentar la captura de radiación solar a lo largo del día, mientras que la orientación de azimut de 0° garantizaba la máxima exposición a la luz solar directa durante las horas pico. Esta configuración es particularmente adecuada para regiones con variaciones estacionales moderadas en la radiación solar.

La metodología de análisis consistió en registrar las temperaturas externas en las horas de luz solar sobre el colector. Estos datos luego se utilizaron para evaluar la capacidad del colector para absorber y convertir la energía solar en calor utilizable. El estudio también consideró la temperatura en el aire ambiental, la rapidez del aire para obtener una comprensión completa del rendimiento del colector.

4.1.1.1. Temperaturas registradas

La recopilación de datos de temperatura se realizó en sincronía con la incidencia solar específica de cada mes. Este enfoque garantiza que las

mediciones coincidan con las horas de exposición directa del colector solar a la luz solar.

Al alinear las temperaturas con la incidencia solar mensual, se busca establecer una clara correlación entre las fluctuaciones de temperatura y la capacidad del colector para absorber y convertir la energía solar en calor utilizable. Este análisis de correlación proporciona información valiosa sobre el rendimiento del colector bajo diversas condiciones de radiación solar a lo largo del año.

Tabla 1

Cuadro de temperaturas registradas de los meses de enero, febrero y marzo

Enero		Febrero		Marzo	
Hora	Temperatura (K)	Hora	Temperatura (K)	Hora	Temperatura (K)
05:30	287,83	06:30	289,82	06:30	288,64
06:30	288,86	07:30	290,6	07:30	289,34
07:30	289,82	08:30	291,92	08:30	290,86
08:30	291,15	09:30	298,03	09:30	297,32
09:30	297,23	10:30	299,5	10:30	298,85
10:30	298,71	11:30	300,81	11:30	300,23
11:30	300,05	12:30	303,99	12:30	303,31
12:30	302,97	13:30	304,46	13:30	303,77
13:30	303,44	14:30	304,34	14:30	303,54
14:30	303,2	15:30	301,23	15:30	300,05
15:30	300,15	16:30	300,01	16:30	298,73
16:30	298,93	17:30	298,54	17:30	297,11
17:30	297,45				

*Fuente.*Elaboración propia

Tabla 2

Cuadro de temperaturas registradas de los meses de abril, mayo, junio

Abril		Mayo		Junio	
Hora	Temperatura (K)	Hora	Temperatura (K)	Hora	Temperatura (K)
06:30	286,11	06:30	284,31	06:30	282,92
07:30	286,71	07:30	284,71	07:30	283,16
08:30	288,17	08:30	285,79	08:30	284
09:30	294,19	09:30	290,65	09:30	288,04
10:30	295,65	10:30	291,85	10:30	289,05
11:30	296,85	11:30	292,8	11:30	289,87
12:30	299,69	12:30	295,62	12:30	292,45
13:30	300,11	13:30	295,92	13:30	292,69
14:30	299,88	14:30	295,88	14:30	292,67
15:30	296,42	15:30	292,83	15:30	290,14
16:30	295,12	16:30	291,69	16:30	289,2
17:30	293,52				

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3
Cuadro de temperaturas registradas de los meses de julio, agosto y setiembre

Julio		Agosto		Setiembre	
Hora	Temperatura (K)	Hora	Temperatura (K)	Hora	Temperatura (K)
06:30	281,8	06:30	282,15	05:30	282,08
07:30	282,01	07:30	282,54	06:30	282,44
08:30	282,84	08:30	283,54	07:30	283,2
09:30	286,95	09:30	288,43	08:30	284,46
10:30	287,96	10:30	289,58	09:30	290,17
11:30	288,79	11:30	290,48	10:30	291,41
12:30	291,68	12:30	293,49	11:30	292,41
13:30	291,96	13:30	293,83	12:30	295,44
14:30	292,01	14:30	293,86	13:30	295,79
15:30	289,43	15:30	291,05	14:30	295,74
16:30	288,48	16:30	289,97	15:30	292,48
				16:30	291,21
				17:30	289,76

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4
Cuadro de temperaturas registradas de los meses de octubre, noviembre y diciembre

Octubre		Noviembre		Diciembre	
Hora	Temperatura (K)	Hora	Temperatura (K)	Hora	Temperatura (K)
05:30	282,49	05:30	283,93	05:30	285,91
06:30	283,72	06:30	285,46	06:30	287,25
07:30	284,94	07:30	286,91	07:30	288,51
08:30	286,38	08:30	288,47	08:30	290
09:30	292,72	09:30	295,09	09:30	296,37
10:30	294,08	10:30	296,54	10:30	297,87
11:30	295,16	11:30	297,73	11:30	299,14
12:30	297,58	12:30	300,04	12:30	301,69
13:30	297,87	13:30	300,33	13:30	302,08
14:30	297,67	14:30	300,09	14:30	301,85
15:30	294,26	15:30	296,53	15:30	298,56
16:30	292,84	16:30	295,11	16:30	297,25
17:30	291,17	17:30	293,39	17:30	295,65

Fuente. Elaboración propia

4.1.1.2. Confort térmico mediante método adaptativo mensual

La herramienta de confort térmico CBE (Comfort Building Evaluation) permite determinar, mediante el método adaptativo, si un espacio está en confort térmico establecido por la norma ASHRAE 55-2023. Este método es aplicable únicamente a espacios con condiciones naturales controladas por los ocupantes y que cumplen con los siguientes criterios:

Criterios para la aplicación del método adaptativo CBE:

Ausencia de sistemas mecánicos de climatización: No debe existir ningún sistema de enfriamiento mecánico ni calefacción en funcionamiento dentro del espacio evaluado.

El índice metabólico entre 1,0 y 1,3 met: Las tasas metabólicas de los ocupantes deben oscilar dentro del rango de 1,0 a 1,3 met, lo que representa un nivel de actividad física moderado.

Adaptación de la vestimenta: Los ocupantes deben tener la libertad de ajustar su vestimenta, deben estar dentro de un rango de al menos 0,5 a 1,0 clo.

Aplicación del método adaptativo CBE:

El método adaptativo CBE está basada en el cálculo para el confort térmico propuesto por de Dear y Brager.

Adicionalmente, el método toma en cuenta la temperatura exterior como un factor que modifica la percepción del confort térmico. De esta manera, se reconoce que las personas se adaptan a las condiciones climáticas externas y ajustan su percepción del confort en función de las mismas.

Interpretación de los resultados:

El método CBE genera un índice de confort térmico (Iclo) que representa el nivel de satisfacción térmica promedio de los ocupantes. Un Iclo de 0,5 indica confort térmico neutral, mientras que valores positivos o negativos indican incomodidad térmica por calor o frío, respectivamente.

La norma ASHRAE 55-2023 establece rangos aceptables de Iclo para diferentes tipos de espacios y ocupantes. Si el Iclo calculado por el método CBE se encuentra dentro del rango aceptable según la norma, se considera que el espacio se encuentra en condiciones de confort térmico.

Ventajas del método adaptativo CBE:

Considera la adaptación de los ocupantes: El método reconoce que las personas se adaptan a las condiciones térmicas y ajustan su percepción del confort en función de las mismas.

Aplicabilidad a espacios con condiciones naturales: El método es adecuado para evaluar el confort térmico en espacios donde las condiciones climáticas se controlan principalmente por factores naturales.

De acuerdo con la norma ASHRAE 55-2023: El método CBE está alineado para criterios de comodidad térmica establecidos por ASHRAE 55-2023.

Limitaciones del método adaptativo CBE:

Consideración limitada de factores psicológicos: El método no considera en detalle factores psicológicos que pueden influir en la percepción del confort térmico, como la iluminación y el ruido.

Se aplica esta herramienta por cada mes para ver el estado del confort térmico.

Figura 1

Entrada para el método adaptativo del CBE

The image shows a software interface for entering data for the CBE adaptive method. It features a header 'Entradas' and several input fields:

- Seleccionar método:** A dropdown menu set to 'Método adaptativo'.
- Temperatura del aire:** A numeric input field with '22.4' and a unit of '°C'. There is an unchecked checkbox labeled 'Usar temperatura operativa'.
- Temperatura radiante media:** A numeric input field with '25' and a unit of '°C'.
- Temperatura exterior media predominante:** A numeric input field with '19.1' and a unit of '°C'.
- velocidad del aire:** A dropdown menu set to '0,3 m/s (59 pies por minuto)'.

Fuente: CBE, 2022

Enero

Tabla 5

Cuadro para el método adaptativo en el mes de enero

	Temperatura (K)
Temperatura del aire promedio	296,95
Temperatura media radiante	299,15
Temperatura operativa	298,05
Temperatura exterior media predominante	294,65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6

Cuadro para el método PVM en el mes de enero

Datos climáticos	
Temperatura del aire promedio	296,95 K
Temperatura media radiante	299,15 K
Temperatura operativa	298,05 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	80,1 %
Tasa metabólica	1,1 met
Nivel de ropa	0,74 clo

Fuente: Elaboración propia

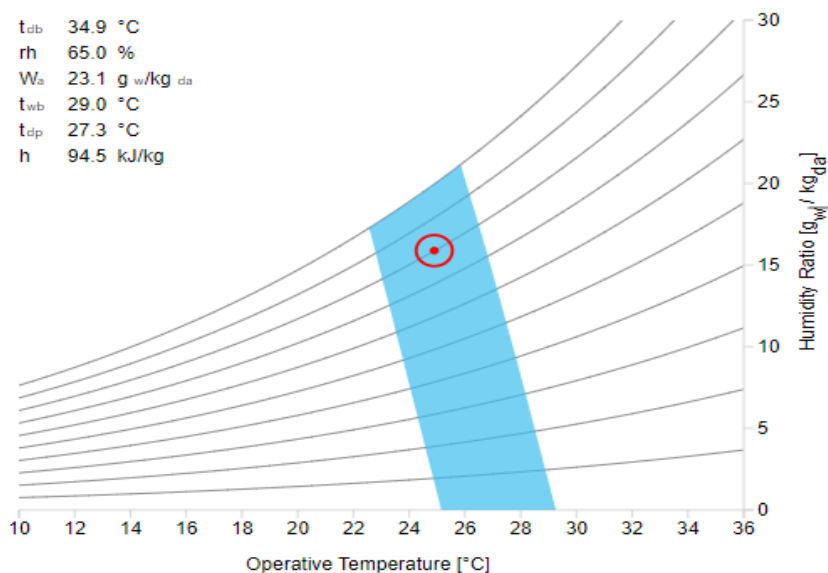
Figura 2

Diagnóstico con el método PMV para el mes de enero

✓ Cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = 0,03 PPD con velocidad del aire elevada = 5 %
 Sensación = Neutral AJUSTE = 25,7 °C
 Velocidad relativa del aire = 0,33 EM
 Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 1.6 °C
 23.3 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▾



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente. CBE, 2022

Febrero

Tabla 7

Cuadro para el método adaptativo en el mes de febrero

	Temperatura (K)
Temperatura del aire promedio	25,5
Temperatura media radiante	29
Temperatura operativa	27,25
Temperatura exterior media predominante	21,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Cuadro para el método PVM en el mes de febrero

Datos climáticos	
Temperatura del aire promedio	298,65 K
Temperatura media radiante	302,15 K
Temperatura operativa	300,4 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	79,5 %
Tasa metabólica	1,1 met
Nivel de ropa	0,74 clo

Fuente: Elaboración propia

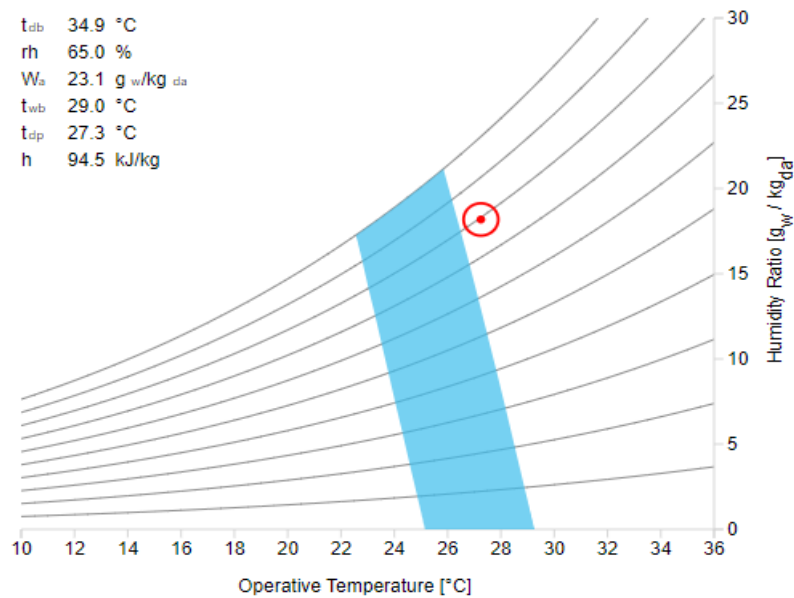
Figura 3

Diagnóstico con el método PMV para el mes de febrero

X No cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = 0,73 PPD con velocidad del aire elevada = dieciséis %
 Sensación = Ligeramente cálido AJUSTE = 28.8 °C
 Velocidad relativa del aire = 0,33 EM
 Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 1.6 °C
 25,7 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▼



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente. CBE, 2022

Marzo**Tabla 9**

Cuadro para el método adaptativo en el mes de marzo

	Temperatura (K)
Temperatura del aire promedio	297,65
Temperatura media radiante	301,35
Temperatura operativa	299,5
Temperatura exterior media predominante	294,05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Cuadro para el método PVM en el mes de marzo

Datos climáticos	
Temperatura del aire promedio	297,65 K
Temperatura media radiante	301,35 K
Temperatura operativa	299,5 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	79,8 %
Tasa metabólica	1,1 met
Nivel de ropa	0,74 clo

Fuente: Elaboración propia

Figura 4

Diagnóstico con el método PMV para el mes de marzo

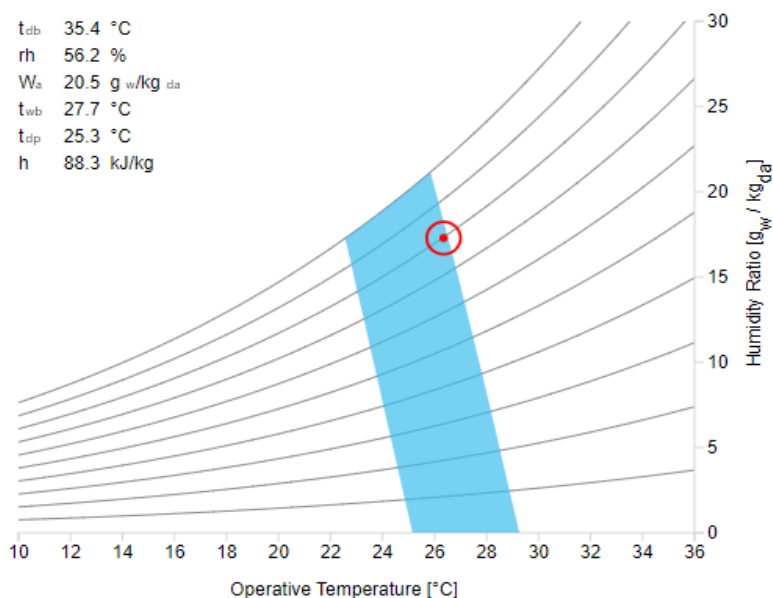
✓ Cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = 0,46 PPD con velocidad del aire elevada = 9 %
Sensación = Neutral AJUSTE = 27,6 °C

Velocidad relativa del aire = 0,33 EM

Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 1.6 °C
24.8 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▾



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente: CBE, 2022

Abril

Tabla 11

Cuadro para el método adaptativo en el mes de abril

	Temperatura (°C)
Temperatura del aire promedio	294,35
Temperatura media radiante	298,15
Temperatura operativa	296,25
Temperatura exterior media predominante	292,85

Fuente. Elaboración propia

Tabla 12

Cuadro para el método PVM en el mes de abril

Datos climáticos	
Temperatura del aire promedio	294,35 K
Temperatura media radiante	298,15 K
Temperatura operativa	296,25 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	82,1 %
Tasa metabólica	1,1 met
Nivel de ropa	0,74 clo

Fuente. Elaboración propia

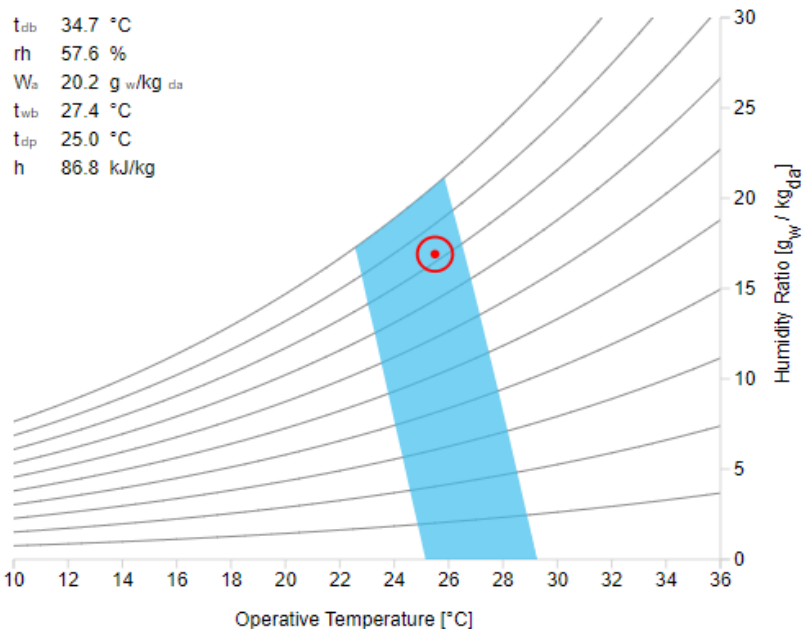
Figura 5

Diagnóstico con el método PMV para el mes de abril

✓ Cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = 0,22 PPD con velocidad del aire elevada = 6 %
 Sensación = Neutral AJUSTE = 26.6 °C
 Velocidad relativa del aire = 0,33 EM
 Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 1.6 °C
 23.9 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▼



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente. CBE, 2022

Mayo

Tabla 13

Cuadro para el método adaptativo en el mes de mayo

	Temperatura K
Temperatura del aire promedio	291,15
Temperatura media radiante	294,25
Temperatura operativa	292,7
Temperatura exterior media predominante	291,15

Fuente. Elaboración propia

Tabla 14

Cuadro para el método PVM en el mes de mayo

Datos climáticos	
Temperatura del aire promedio	291,15 K
Temperatura media radiante	294,25 K
Temperatura operativa	292,7 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	84,6 %
Tasa metabólica	1,1 met
Nivel de ropa	0,74 clo

Fuente. Elaboración propia

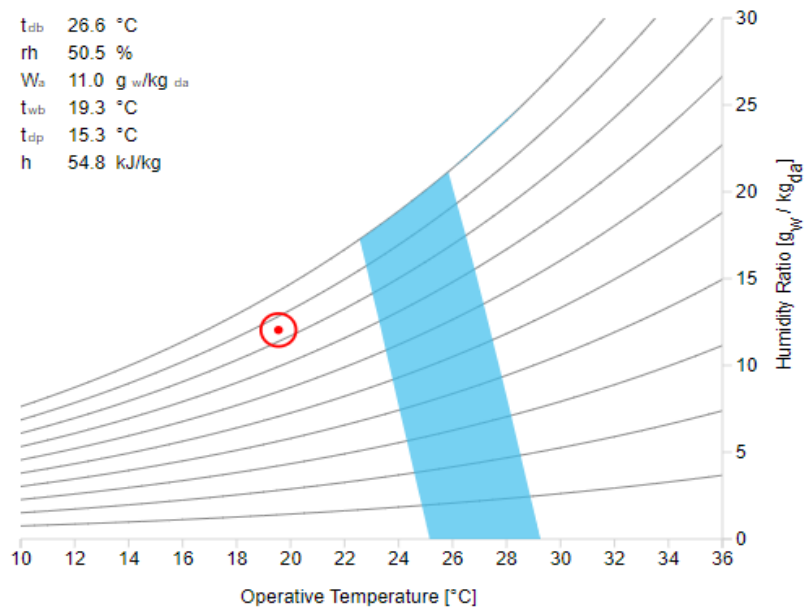
Figura 6

Diagnóstico con el método PMV para el mes de mayo

X No cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = -1,54 PPD con velocidad del aire elevada = 53 %
 Sensación = Fresco AJUSTE = 19.7 °C
 Velocidad relativa del aire = 0,33 EM
 Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 1.7 °C
 17.9 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▾



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente. CBE, 2022

Junio

Tabla 15

Cuadro para el método adaptativo en el mes de junio

	Temperatura (K)
Temperatura del aire promedio	288,55
Temperatura media radiante	292,05
Temperatura operativa	290,3
Temperatura exterior media predominante	288,75

Fuente. Elaboración propia

Tabla 16

Cuadro para el método PVM en el mes de junio

Datos climáticos	
Temp. del aire promedio	288,55 K
Temp. media radiante	292,05 K
Temp. operativa	290,3 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	83,1 %
Tasa metabólica	1,1 met
Grado de ropa	0,74 clo

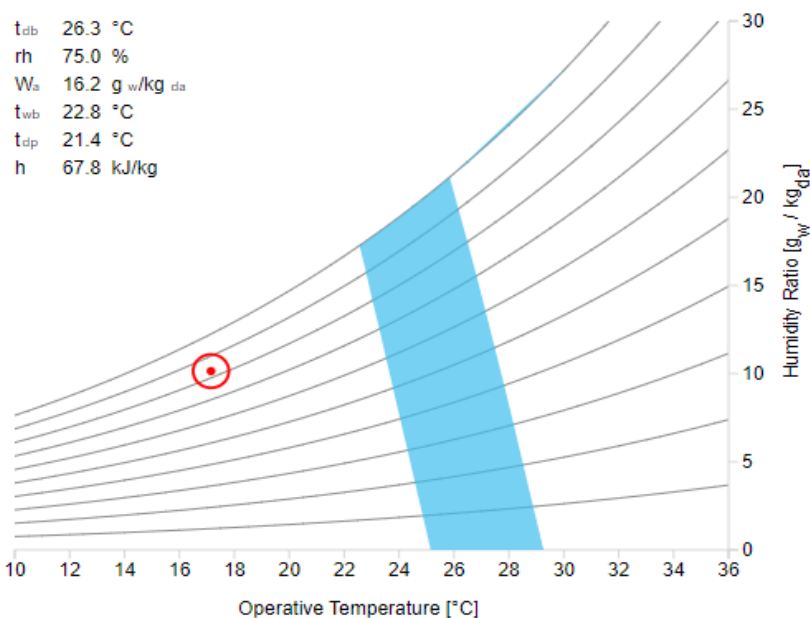
Fuente. Elaboración propia

Figura 7
Diagnóstico con el método PMV para el mes de junio

X No cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = -2.31 PPD con velocidad del aire elevada = 89 %
Sensación = Fresco AJUSTE = 17.2 °C
Velocidad relativa del aire = 0,33 EM
Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 1.9 °C
15.3 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▾



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente. CBE, 2022.

Julio

Tabla 17

Cuadro para el método adaptativo en el mes de julio

	Temperatura (K)
Temperatura del aire promedio	287,65
Temperatura media radiante	290,15
Temperatura operativa	288,9
Temperatura exterior media predominante	289,05

Fuente. Elaboración propia

Tabla 18

Cuadro para el método PVM en el mes de julio

Datos climáticos	
Temp. del aire promedio	287,65 K
Temp. media radiante	290,15 K
Temp. operativa	288,9 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	83 %
Tasa metabólica	1,1 met
Grado de ropa	0,74 clo

Fuente. Elaboración propia

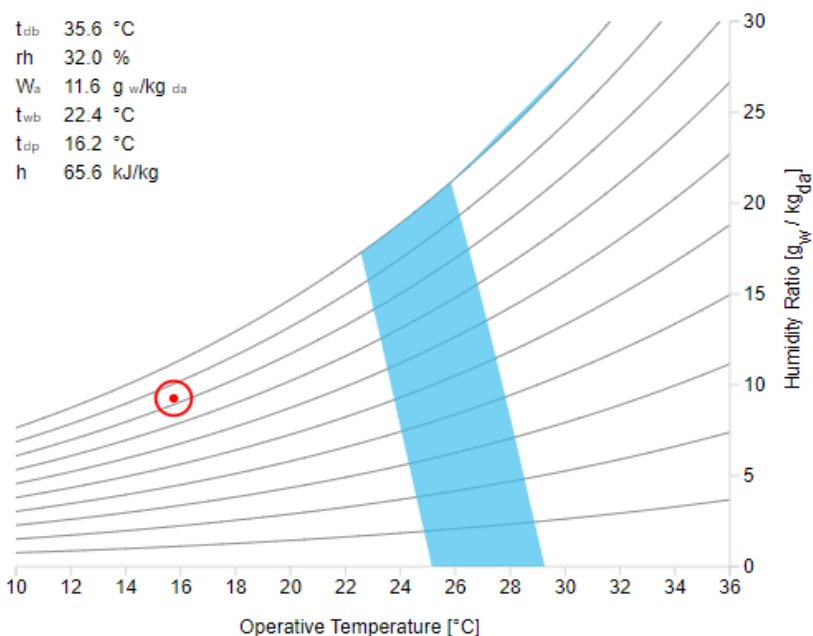
Figura 8

Diagnóstico con el método PMV para el mes de julio

X No cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = -2,76 PPD con velocidad del aire elevada = 97 %
 Sensación = Frío AJUSTE = 15.8 °C
 Velocidad relativa del aire = 0,33 EM
 Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 2.0 °C
 13.8 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▾



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente. CBE, 2022

Agosto**Tabla 19**

Cuadro para el método adaptativo en el mes de agosto

	Temperatura (K)
Temperatura del aire promedio	289,05
Temperatura media radiante	291,55
Temperatura operativa	290,3
Temperatura exterior media predominante	287,05

Fuente. Elaboración propia**Tabla 20**

Cuadro para el método PVM en el mes de agosto

Datos climáticos	
Temp. del aire promedio	289,05 K
Temp. media radiante	291,55 K
Temp. operativa	290,3 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	84,7 %
Tasa metabólica	1,1 met
Grado de ropa	0,74 clo

Fuente. Elaboración propia

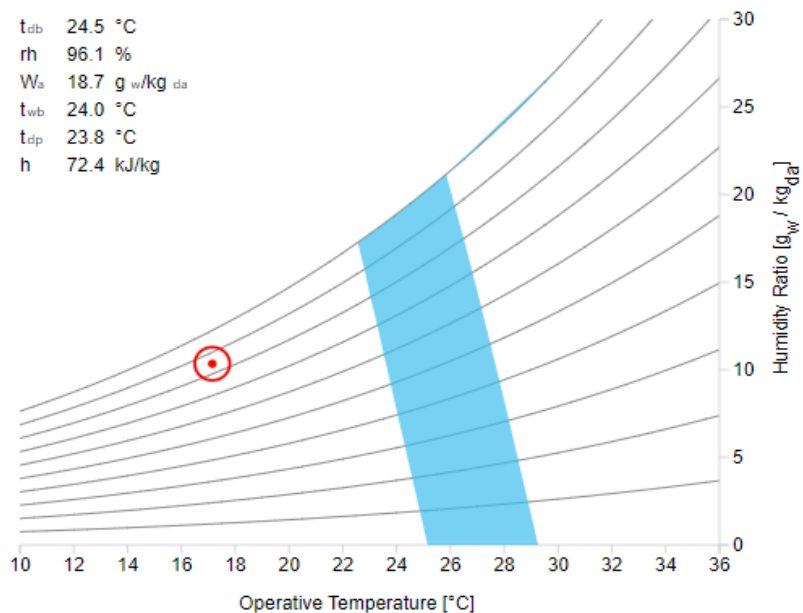
Figura 9

Diagnóstico con el método PMV para el mes de agosto

X No cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = -2.31 PPD con velocidad del aire elevada = 88 %
 Sensación = Fresco AJUSTE = 17.2 °C
 Velocidad relativa del aire = 0,33 EM
 Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 1.9 °C
 15.3 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▾



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente. CBE, 2022

Setiembre

Tabla 21

Cuadro para el método adaptativo en el mes de setiembre

	Temperatura (K)
Temperatura del aire promedio	289,75
Temperatura media radiante	292,65
Temperatura operativa	291,2
Temperatura exterior media predominante	288,65

Fuente. Elaboración propia

Tabla 22

Cuadro para el método PVM en el mes de setiembre

Datos climáticos	
Temp. del aire promedio	289,75 K
Temp. media radiante	292,65 K
Temp. operativa	291,2 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	84,5 %
Tasa metabólica	1,1 met
Grado de ropa	0,74 clo

Fuente. Elaboración propia

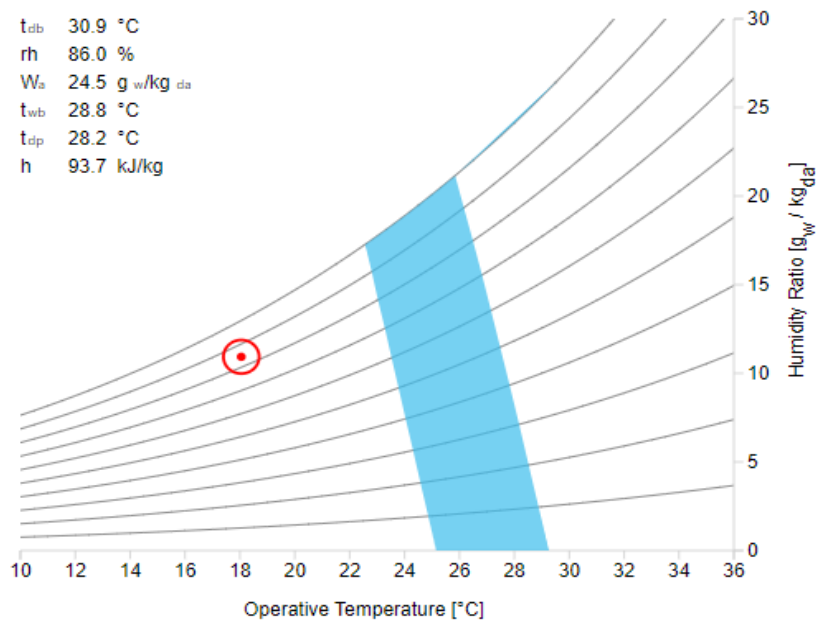
Figura 10

Diagnóstico con el método PMV para el mes de Setiembre

X No cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = -2.02 PPD con velocidad del aire elevada = 78 %
 Sensación = Fresco AJUSTE = 18.2 °C
 Velocidad relativa del aire = 0,33 EM
 Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 1.8 °C
 16.3 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▾



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente. CBE, 2022

Octubre

Tabla 23

Cuadro para el método adaptativo en el mes de octubre

	Temperatura (K)
Temperatura del aire promedio	291,65
Temperatura media radiante	294,75
Temperatura operativa	293,2
Temperatura exterior media predominante	290,25

Fuente. Elaboración propia

Tabla 24

Cuadro para el método PVM en el mes de octubre

Datos climáticos	
Temp. del aire promedio	291,65 K
Temp. media radiante	294,75 K
Temp. operativa	293,2 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	85,1 %
Tasa metabólica	1,1 met
Grado de ropa	0,74 clo

Fuente. Elaboración propia

Noviembre

Tabla 25

Cuadro para el método adaptativo en el mes de noviembre

	Temperatura (K)
Temperatura del aire promedio	293,85
Temperatura media radiante	296,85
Temperatura operativa	295,35
Temperatura exterior media predominante	289,35

Fuente. Elaboración propia

Tabla 26

Cuadro para el método PVM en el mes de noviembre

Datos climáticos	
Temp. del aire promedio	293,85 K
Temp. media radiante	296,85 K
Temp. operativa	295,35 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	83,8 %
Tasa metabólica	1,1 met
Grado de ropa	0,74 clo

Fuente. Elaboración propia

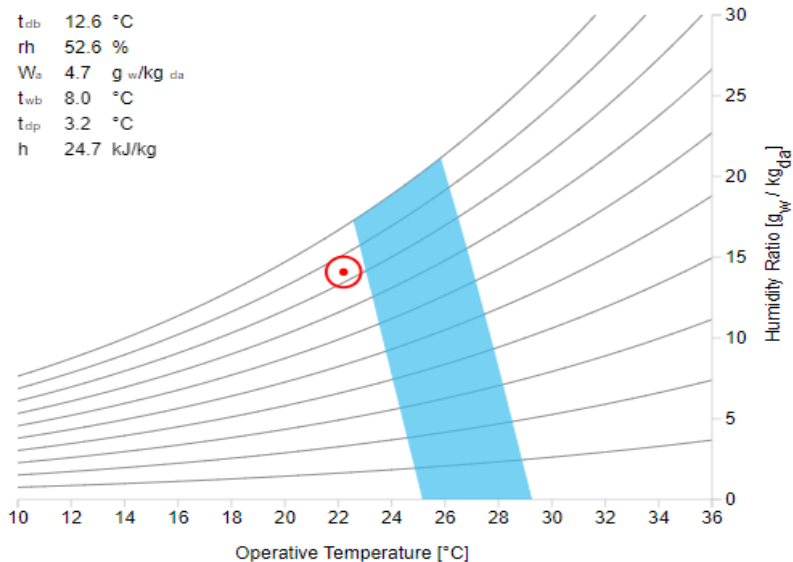
Figura 12

Diagnóstico con el método PMV para el mes de noviembre

X No cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = -0,71 PPD con velocidad del aire elevada = dieciséis %
 Sensación = Ligeramente fresco AJUSTE = 22,5 °C
 Velocidad relativa del aire = 0,33 EM
 Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 1.5 °C
 20.7 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▾



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente. CBE, 2022

Diciembre

Tabla 27

Cuadro para el método adaptativo en el mes de diciembre

	Temperatura (K)
Temperatura del aire promedio	295,55
Temperatura media radiante	298,15
Temperatura operativa	296,85
Temperatura exterior media predominante	292,25

Fuente. Elaboración propia

Tabla 28

Cuadro para el método PVM en el mes de diciembre

Datos climáticos	
Temp. del aire promedio	295,55 K
Temp. media radiante	298,15 K
Temp. operativa	296,85 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	81,6 %
Tasa metabólica	1,1 met
Grado de ropa	0,74 clo

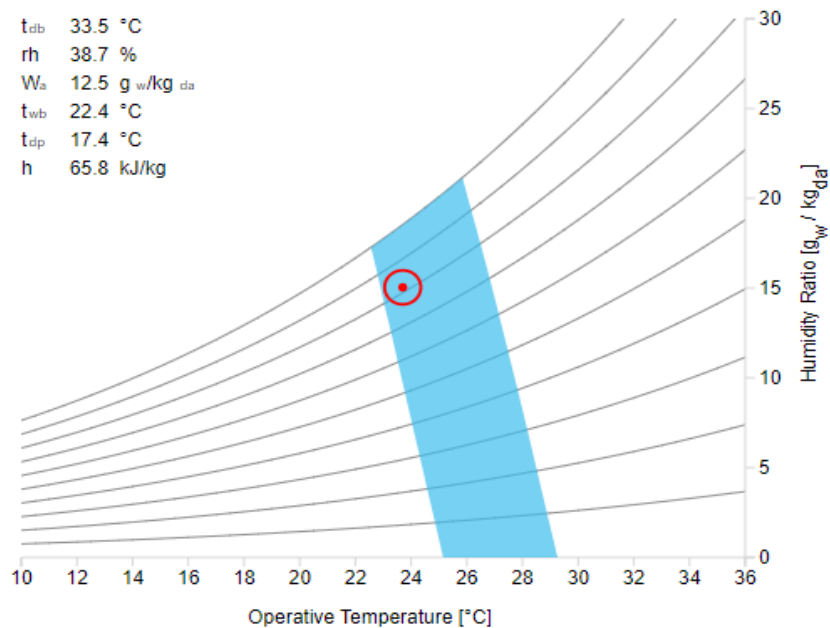
Fuente. Elaboración propia

Figura 13 Diagnóstico con el método PMV para el mes de diciembre

✓ Cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

PMV con velocidad de aire elevada = -0,30 PPD con velocidad del aire elevada = 7 %
 Sensación = Neutral AJUSTE = 24.3 °C
 Velocidad relativa del aire = 0,33 EM
 Tmp de bulbo seco con aire en calma = Efecto de enfriamiento = 1.6 °C
 22.1 °C

Psicrométrico (temperatura operativa) ▾



NOTA: En este cuadro psicrométrico, la abscisa es la temperatura operativa y para cada punto la temperatura de bulbo seco es igual a la temperatura radiante media (DBT = MRT). La zona de confort representa la combinación de condiciones con el mismo DBT y MRT para las cuales el PMV está entre -0,5 y +0,5, según la norma.

Límites de aplicabilidad: esta norma solo se aplica a personas sanas. Esta norma no se aplica a los ocupantes: a) cuya ropa tenga un aislamiento superior a 1,5 clo; b) cuya ropa sea altamente impermeable; o c) que estén durmiendo, reclinados en contacto con la ropa de cama o que puedan ajustar las mantas o la ropa de cama.

Las herramientas de confort CBE calculan automáticamente la velocidad relativa del aire y el aislamiento dinámico de la ropa .

Fuente. CBE, 2022

4.1.2. Sistema de calefacción

En el corazón del sistema de calefacción reside una tecnología fundamental: los tubos de vacío. Estos elementos, que forman parte integral del colector solar, cumplen la crucial función para subsumir la energía solar para convertir en calor utilizable. Su diseño ingenioso permite una captura eficiente de la radiación solar, incluso en condiciones climáticas adversas.

El interior de cada tubo está enrarecido, lo que reduce la transferencia de calor por convección y optimiza la retención del calor. La luz del sol impacta en la superficie del tubo, es absorbida por un material especial, generalmente recubierto con una capa de alta absorptividad. Este calor absorbido se transfiere a la punta del tubo, también conocida como condensador, donde se concentra para su posterior aprovechamiento.

Para maximizar la eficiencia, se incorporan aletas o superficies extendidas. Estas aletas aumentan significativamente el área superficial del condensador.

La temperatura del condensador puede alcanzar hasta más de 100 grados Celsius, pero para fines de los cálculos se emplea esta temperatura con el fin de obtener de aumentar la temperatura del aire ambiental a 25 grados Celsius, esta será regulada mediante un ventilador, por lo que estará garantizando el confort en el ambiente de estudio.

4.1.2.1. Condiciones básicas

Primeramente, la ecuación presentada a continuación proporciona el cálculo para el diámetro de los tubos (Incropera & Witt, 1999).

$$D_{optimo} = 1,3632 \times Q^{0,362} \times \rho^{0,13}$$

En donde, D_{optimo} es medida óptima para la tubería, el caudal está representado por Q y la densidad del fluido del aire a 298 K (25°C) está representada como ρ .

Para garantizar una respiración adecuada, cada persona necesita consumir alrededor de 8 litros de aire por minuto. En las viviendas de 4 habitantes, el caudal total de aire necesario asciende a 32 L/min, lo que equivale a $0,53 \times 10^{-3}$ metros cúbicos por segundo. Considerando una densidad de aire de 1,2 kilogramos por metro cúbico a 298 K (25°C), podemos obtener el diámetro óptimo para la tubería de ventilación utilizando el cálculo que sigue (Incropera & Witt, 1999).

$$D_{optimo} = 1,3632 \times Q^{0,362} \times \rho^{0,13} = 0,091m$$

La sección transversal de la tubería está dada por:

$$A = \frac{\pi \times D_{optimo}^2}{4} = \frac{\pi \times 0,091^2}{4} = 0,0065m^2$$

La velocidad del fluido es:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,53}{0,0065} = 81,54 \text{ m/s}$$

El número de Reynolds es (Incropera & Witt, 1999).

$$Re = \frac{v \times D}{\gamma} = \frac{81,54 \frac{m}{s} \times 0,091 \text{ m}}{1,3 \times 10^{-5} m^2/s} = 570780$$

El número de Reynolds nos da mención del comportamiento del flujo, para materiales plásticos la rugosidad es cero, el tubo por donde circula el aire tiene una longitud de 13m por lo que la pérdida por fricción es de 664,5 columnas de aire y la pérdida por accesorios que consta de 9 codos la pérdida es de 8795m columnas de aire por lo que habrá una pérdida de presión de 9459,5m columna de aire.

4.1.2.2. Evaluación de la cantidad necesaria de tubos de vacío

Para determinar la demanda energética, se considera el mes de julio con un día soleado y un tiempo de exposición de 10 horas, desde las 6:30 am hasta las 4:30 pm.

En este escenario, se estima un caudal de aire de 0,53 m³/s y una velocidad de 81,54 m/s para 4 personas. La masa de aire se calcula utilizando la siguiente ecuación (Serway & Jewett, 2008).

$$M = \rho \times V = 1,2 \times Q \times t = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,00053 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 36000\text{s} = 22,9 \text{ kg de aire}$$

Donde, Q es el caudal, t es el tiempo.

Ahora la energía mínima será según la siguiente ecuación (Serway & Jewett, 2008).

$$E = M \times C_p \times (\Delta T) = 22,9 \times 1 \times (25 - 14,5) = 240,45 \text{ kJ}$$

En donde, M está considerada como la masa del aire, C_p está considerada como la capacidad calorífica del aire, ΔT , diferencia térmica para la temperatura promedio y temperatura que se requiere alcanzar del aire para el confort térmico.

El área transversa es según la siguiente ecuación (Raichman & Totter, 2016):

$$A_t = \frac{d_e * \pi * L}{2} = \frac{0,059 \times \pi \times 17,6}{2} = 0,16 \text{ m}^2$$

En donde, d_e es el circunferencia del borde del tubo de vacío, L es la distancia recorrida sobre el tubo de vacío: 17,6 m.

Entonces el número de tubos de vacío a utilizar (Aro, 2023):

$$N_t = \frac{A \times FS}{A_t} = \frac{34,30 \times 10^{-2} \times 1}{0,16} = 2,14 \text{ tubos de vacío}$$

Donde, A es el área requerida en función de la demanda energética mínima E , A_t es el área transversal y FS es el factor de seguridad.

Entonces es necesario 2 tubos de vacíos para alcanzar los 298,15 K (25 °C).

4.1.2.3. Evaluación del intercambiador de calor

Primeramente, para alcanzar un confort ideal es necesario contar que la temperatura sea de 25 °C o su equivalente 298,15 K.

U_a : Rapidez del viento.

Tabla 29

Condiciones térmicas para el intercambiador de calor

Factor	Datos	Unidades
Condiciones térmicas externas del condensador (T.s.)	373,14	K
Ambiente térmico del aire de entrada (T.m,i)	287,64	K
Condición térmica media del el aire (T.m.)	330,40	K

Fuente. Elaboración propia

Tabla 30

Propiedades físicas a la entrada de intercambiador de calor

Parámetro	Datos	Unidades
Calor específica para el aire a 287,65 K (C_p)	1008,10	$\frac{J}{kgK}$
Viscosidad dinámica para el aire a 287,65 K (μ)	$199,26 \times 10^{-7}$	$\frac{N s}{m^2}$
Conductividad térmica (k)	28,60	$\frac{W}{mK}$
Densidad (δ)	1,2273	$\frac{kg}{m^3}$

Fuente. Elaboración propia

Con los datos de las tablas anteriores se realizó el cálculo para el intercambiador de calor.

Para diseñar la aleta en el condensador en un calefactor solar es crucial para su eficiencia. La aleta transfiere el calor del tubo de vacío al fluido, y su tamaño, material y diseño (como aletas corrugadas) influyen en su capacidad de disipar calor.

Se obtuvo el perímetro:

$$P = \pi * \varphi = \pi * 0,0262m$$

El número de aletas es de N=15.

Figura 14

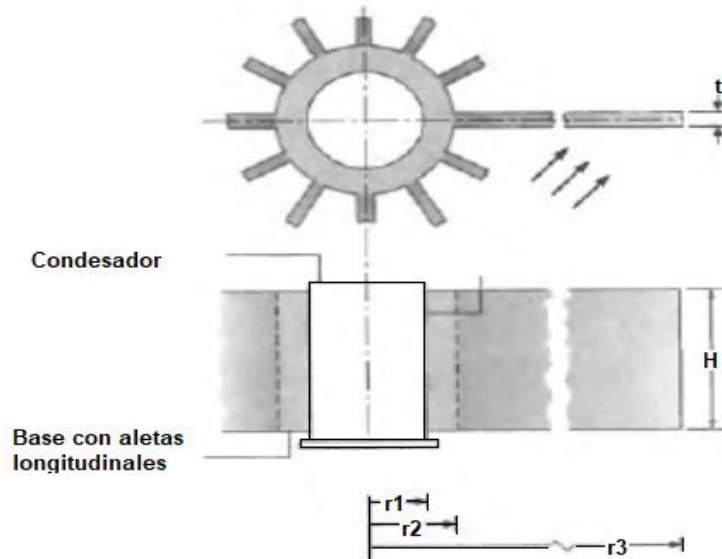
Dimensiones del condensador del tubo de vacío



Fuente. (Aro, 2023)

Figura 15

Dimensiones de las superficies extendidas



Fuente. (Aro, 2023)

Tabla 31

Dimensiones de las superficies extendidas

Parámetro	Datos	Unidades
Radio del condensador (r_1)	0,012	m
Radio de la manga (r_2)	0,013	m
Radio del condensador, la manga y la aleta (r_3)	0,0381	m
Espesor de la aleta (t)	0,001	m
Altura de la aleta (H)	0,075	m

Fuente. Elaboración propia

El área transversal del arreglo de la aleta es:

$$A_t = N \times A_f + A_b = N \times (r_3 - r_2) \times H + A_b = N \times (r_3 - r_2) \times H + 2 \times \pi \times r_2 \times H - N \times t \times H$$

$$A_t = 0,03323 \text{ m}^2$$

$$A_f = 0,0018825 \text{ m}^2$$

El rendimiento del arreglo de aletas es como se muestra la siguiente ecuación (Incropera & Witt, 1999).

$$n_o = 1 - \frac{N * A_f (1 - n_f)}{A_t}$$

En donde, A_t es la superficie transversal, A_f es la superficie en la longitud de la aleta y n_f es la eficiencia de cada aleta

Y la eficiencia de la aleta es como se muestra la siguiente ecuación (Incropera & Witt, 1999).

$$n_f = \frac{\tanh m(r_3 - r_2)}{m(r_3 - r_2)}$$

$$m = \left(\frac{\bar{h}P}{kA} \right)^{0,5}$$

Donde, \bar{h} es el factor convencional para cada ruta, P es el perímetro de cada superficie extendida lateral, A es la superficie lateral extendida y k es la conductividad térmica para el cobre.

Se comienza hallando el valor de diámetro hidráulico, ya que tiene una geometría circular restadas con el juego de superficies extendidas y el condensador de forma circular según su vista frontal (Incropera & Witt, 1999).

$$D_h = \frac{(4 \times (r_3 - r_2))^2}{r_3} = 0,066142 \text{ m}$$

El flujo másico es como se muestra en la siguiente ecuación (Incropera & Witt, 1999).

$$\dot{m} = \delta \times u_a \times A_c = \delta \times u_a \times \frac{\pi * (r_3^2 - r_2^2)}{N} = 9,8904 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

El número de Reynolds como se muestra la siguiente ecuación (Incropera & Witt, 1999):

$$Re_{Dh} = \frac{\dot{m} \times D_h}{u \times A_c} = \frac{9,8904 \times 10^{-5} \times 0,066142}{0,000019926 \times 0,000268621} = 1222,16$$

Es un flujo laminar.

El número Nusselt es como se muestra la siguiente ecuación (Incropera & Witt, 1999)

$$Nu_{Dh} = 0,023 * Re_{Dh}^{0,8} * Pr^n = 5,908$$

En donde, Pr es el número de Prandtl que al calentar el aire vale 0,708 y n = 0,4.

El factor para convección para las aletas es como se muestra la siguiente ecuación (Incropera & Witt, 1999).

$$\bar{h} = \frac{k \times Nu_{Dh}}{D_h} = 2,55 \frac{W}{m^2K}$$

Por lo que m tendrá un valor de:

$$m = \left(\frac{\bar{h}P}{kA} \right)^{0,5} = 3,6 \text{ m}^{-1}$$

$$mR = m(r_3 - r_2) = 0,0904$$

$$n_f = \frac{\tanh m(r_3 - r_2)}{m(r_3 - r_2)} = 0,9972 = 99,72 \%$$

$$n_o = 1 - \frac{N * A_f(1 - n_f)}{A_t} = 99,76 \%$$

La resistencia térmica es como se muestra la siguiente ecuación (Incropera & Witt, 1999).

$$R = n_o * \bar{h} * A_t = 11,80 \frac{K}{W}$$

Entonces la temperatura en el primer tramo es como se muestra la siguiente ecuación (Incropera & Witt, 1999).

$$T_{m,o} = T_s - (T_s - T_{m,i}) e^{-\left(\frac{1}{\dot{m} * C_p * R}\right)} = 293,88 \text{ K}$$

Nuestro objetivo es alcanzar 298,15 K, entonces recalentaremos el aire con un nuevo proceso.

Tabla 32

Condiciones térmicas para el intercambiador de calor aire calentado

Factor	Datos	Unidades
Condiciones térmicas externas del condensador (T.s.)	373,15	K
Ambiente térmico del aire de entrada (T.m,i)	293,88	K
Condición térmica media del el aire (T.m.)	333,515	K

Fuente. Elaboración propia

Tabla 33

Propiedades físicas a la entrada de intercambiador de calor del aire calentado

Parámetro	Datos	Unidades
Calor específica para el aire a 286,65 K (Cp)	1008,5	$\frac{J}{kgK}$
Viscosidad dinámica para el aire a 286,65 K (u)	$195,885 \times 10^{-7}$	$\frac{Ns}{m^2}$
Conductividad térmica (k)	28,062	$\frac{W}{mK}$
Densidad (δ)	1,2273	$\frac{kg}{m^3}$

Fuente. Elaboración propia**Tabla 34**

Resultado de parámetros para el aire calentado

Parámetro	Valor
Flujo másico	$9,89 \times 10^{-2} \frac{kg}{s}$
Número de Reynolds	$124,04 \times 10^3$
Número de Nusselt	5,989
Coefficiente de convección para las aletas longitudinales	$2,5410 \frac{W}{m^2K}$
Eficiencia del arreglo	0,9977
Resistencia térmica	$11,8668 \frac{K}{W}$
Temperatura de salida	298,22 K

Fuente. Elaboración propia

Con el segundo tubo de vacío puesto en serie se puede obtener 298,22 K o 25,07 °C

Potencia del calefactor solar

La potencia de un calefactor solar se calcula de la siguiente manera (Acuña, 2019).

$$P_{cm} = \dot{m} \times c_p \times \Delta T$$

Donde:

P_{cm} : Potencia promedio para la máquina de calor solar.

c_p : Calor específico del aire.

ΔT : Diferencia de temperatura.

$$P_{cm} = 9,8904 \times 10^{-2} \frac{kg}{s} \times 1008,5 \frac{J}{kg \times K} \times (298,22 - 287,65)K$$

$$P_{cm} = 1,054 \text{ kW}$$

Ahorro energético

Se calcula el ahorro energético teniendo un tiempo de uso de 10 horas durante la exposición solar.

Por lo que el consumo energético diario está dada por la siguiente ecuación (Vargas Bautista et al., 2016).

$$\text{Eneriga} = P_{cm} \times T$$

$$\text{Eneriga} = 1,054 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 10,54 \text{ KWh} = 37,977 \text{ MJ}$$

Donde T, es el tiempo de trabajo del calefactor.

Las tarifas brutas eléctricas en las viviendas de la ciudad de Tacna varían entre S/. 0,58 por kWh y S/.0,88 por kWh, por lo que se tomara la media de los valores el cual es S/. 0,73 por kWh.

Entonces el ahorro económico diario es de:

$$\text{Ahorro energetico} = \text{Eneriga} \times \text{Tarifa bruta} = 10,54 \text{ kWh} \times \frac{\text{S}/. 0,73}{\text{kWh}} = \text{S}/. 7,69$$

Entonces se tiene un ahorro de S/. 7,69 diariamente, en un mes se tiene un ahorro de S/. 230,83.

Figura 1

Datos de entradas del método adaptativo para comparar el confort térmico

Entradas

Seleccionar método: Método adaptativo ▾

Temperatura del aire
25 ▾ °C Usar temperatura operativa

Temperatura radiante media
27 ▾ °C

Temperatura exterior media predominante
25 ▾ °C

velocidad del aire
0,3 m/s (59 pies por minuto) ▾

Configurar presión
SI/IP

Malestar local
temperatura del globo

Reiniciar
Ahorrar
Recargar
Compartir

Documentación

Fuente. CBE, 2022

Figura 16

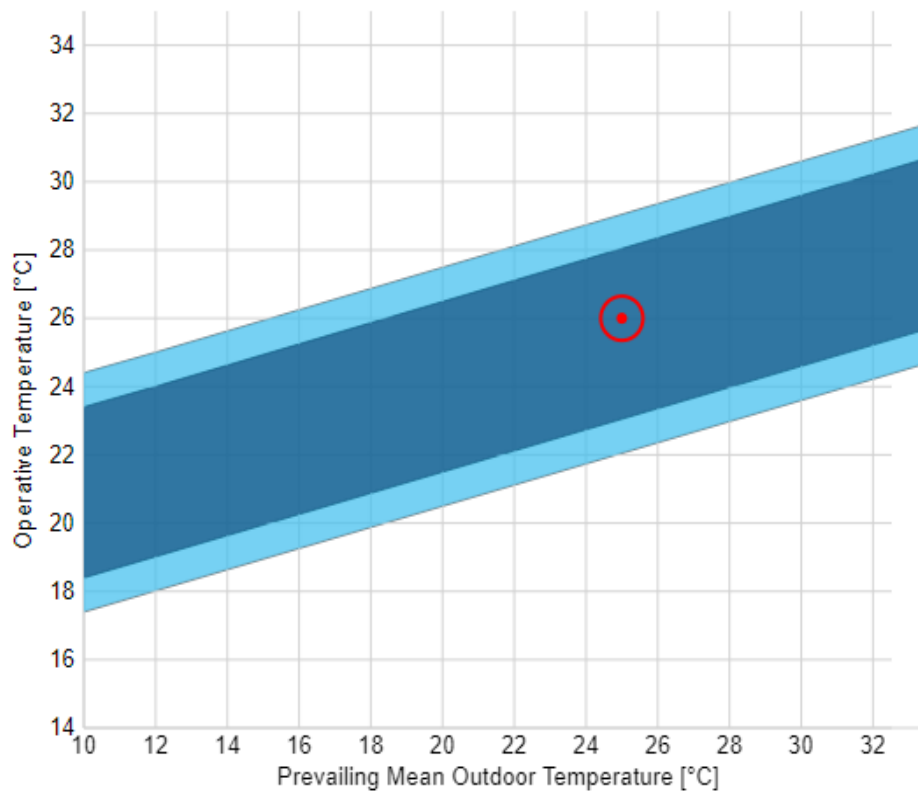
Gráfico del método adaptativo para comparar el confort térmico

✓ Cumple con la Norma ASHRAE 55-2023

Límites de aceptabilidad del 80% = Temperatura operativa: 22,1 a 29,1 °C
Cómodo

Límites de aceptabilidad del 90 % = Temperatura operativa: 23,1 a 28,1 °C
Cómodo

Gráfico adaptativo



NOTA: El método se aplica únicamente a espacios con condiciones naturales controlados por ocupantes que cumplen con todos los siguientes criterios: (a) No hay ningún sistema de enfriamiento mecánico instalado. No hay ningún sistema de calefacción en funcionamiento; (b) Tasas metabólicas que oscilan entre 1,0 y 1,3 cumplidas; y (c) Los ocupantes son libres de adaptar su ropa a las condiciones térmicas interiores y/o exteriores dentro de un rango de al menos 0,5-1,0 clo.

Fuente. CBE, 2022

Podremos mantener un estado de confort térmico dentro del recinto

4.1.3. Montaje por simulación

4.1.3.1. Comparación con el diagnóstico

Mejora del confort térmico en función a las temperaturas

Para realizar la comparación de los meses del 2022 que no cumplen la norma ASHRAE por método adaptativo los cuales son: Mayo, Junio, Julio, Agosto, Setiembre, Octubre, Noviembre.

Se tiene un cuadro de temperaturas ideal para realizar las comparaciones.

Tabla 35

Datos óptimos para el confort térmico comparativo

Datos climáticos	
Temperatura del aire promedio	298,15 K
Temperatura media radiante	299,15 K
Temperatura operativa	298,65 K
Rapidez para aire	0,3 m/s
Humedad relativa	80 %
Tasa metabólica	1,1 met
Nivel de ropa	0,74 clo

Fuente. Elaboración propia

Figura 17

Gráfico del método PVM para comparar el confort térmico

✓ Complies with ASHRAE Standard 55-2023

PMV with elevated air speed = 0.06

PPD with elevated air speed = 5 %

Sensation = Neutral

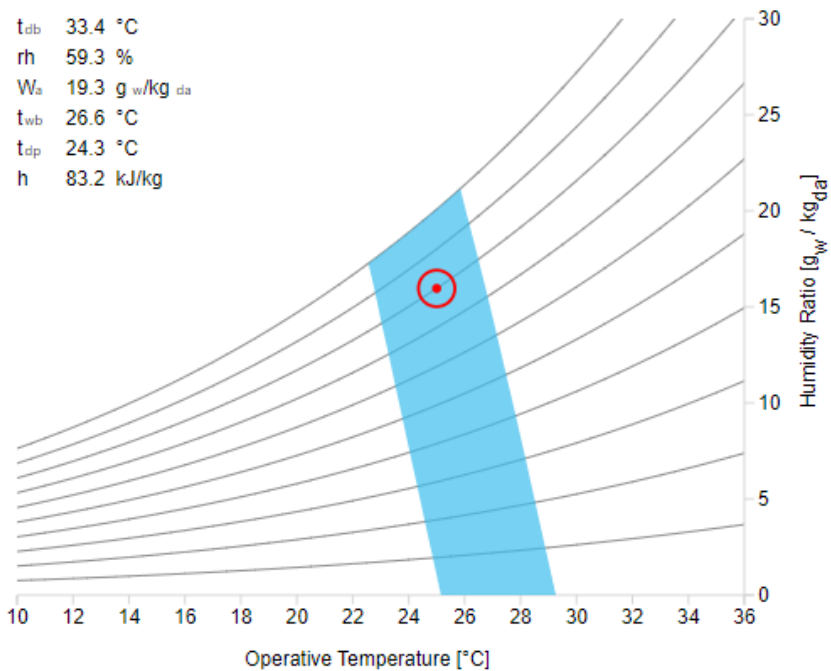
SET = 25.9 °C

Relative air speed = 0.33 m/s

Dry-bulb Tmp at still air = 23.4 °C

Cooling effect = 1.6 °C

Psychrometric (operative temperature)



NOTE: In this psychrometric chart the abscissa is the operative temperature and for each point dry-bulb temperature equals mean radiant temperature (DBT = MRT). The comfort zone represents the combination of conditions with the same DBT and MRT for which the PMV is between -0.5 and +0.5, according to the standard.

Limits of Applicability: This standard is only applicable to healthy individuals. This standard does not apply to occupants: a) whose clothing insulation exceed 1.5 clo; b) whose clothing is highly impermeable; or c) who are sleeping, reclining in contact with bedding, or able to adjust blankets or bedding.

The CBE comfort tools automatically calculates the relative air speed and the dynamic clothing insulation .

Fuente. CBE, 2022

Figura 18

Datos de entradas del método PVM para comparar el confort térmico

Inputs

Select method:

Operative temperature
 °C

Air speed
 m/s

Relative humidity
 %

Metabolic rate
 met

Clothing level
 clo

Fuente. CBE, 2022

La validación del aumento del confort térmico está en base a los indicadores del PMV (Voto Medio Previsto) y el PPD (Porcentaje Previsto de Insatisfecho).

Tabla 36
Resultado para el aumento del confort térmico

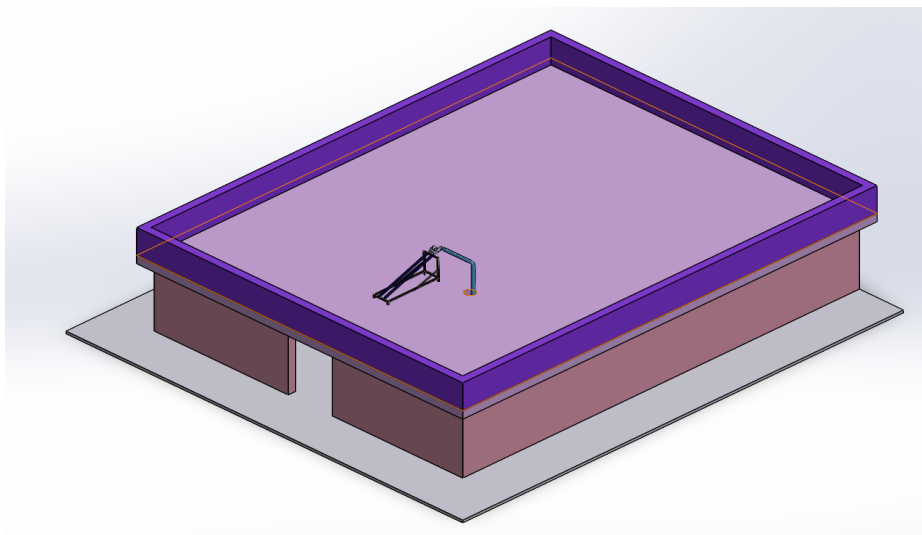
Mes	Diagnóstico del confort térmico		Aumento del confort térmico	
	PMV (Voto medio previsto)	PPD (Porcentaje previsto de insatisfechos)	PMV (Voto medio previsto)	PPD (Porcentaje previsto de insatisfechos)
Mayo	-1,54	53 %	1,6	-48 %
Junio	-2,31	89 %	2,37	-84 %
Julio	-2,76	97 %	2,82	-92 %
Agosto	-2,31	88 %	2,37	-83 %
Setiembre	-2,02	78 %	2,08	-73 %
Octubre	-1,38	44 %	1,44	-39 %
Noviembre	-0,71	16 %	0,77	-11 %

Fuente. Elaboración propia

4.1.3.2. Montaje del sistema de calefacción solar

Figura 19

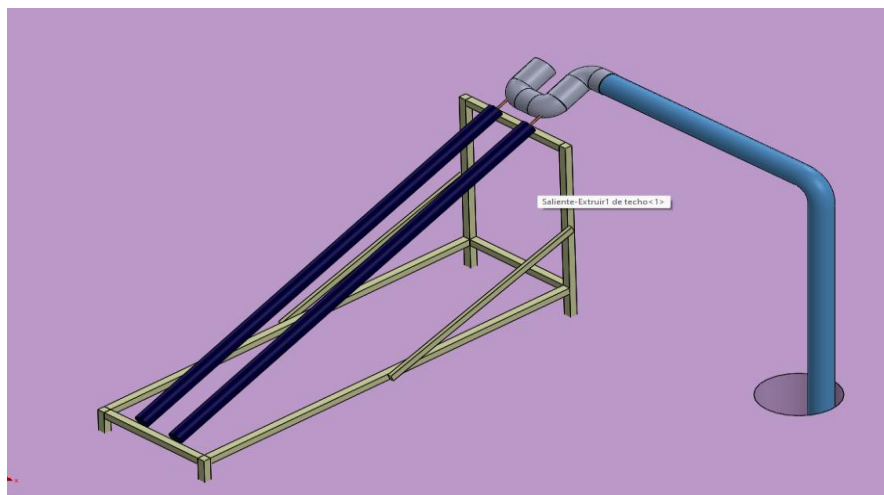
Vivienda promedio con sistema de calefacción solar



Fuente. Elaboración propia

Figura 20

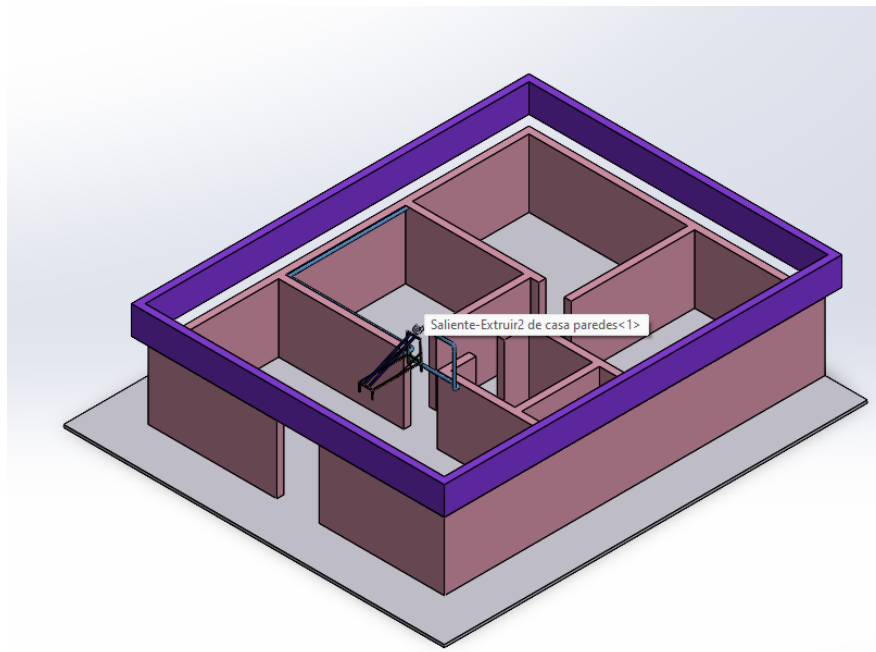
Sistema de calefacción solar



Fuente. Elaboración propia

Figura 21

Ambiente instalado con el sistema de calefacción solar para el confort térmico



Fuente. Elaboración propia

Costos de instalación del sistema de calefacción solar

El costo de la presente tesis tiene un costo de S/. 5 599,00

Tabla 37
Costos de instalación del sistema de calefacción

Recursos materiales	Cantidad	Descripción	Precio	
			unitario (S/.)	Total (S/.)
Materiales				
para el calefactor solar.	1	Arduino Uno.	75	75
	4	Sensores de temperatura.	10	40
	1	Panel kit generador de panel solar	122	122
	1	Mano de obra	1 000	1 000
	2	Aletas longitudinales	200	200
	1	Ventilador	75	75
	3	Tubos de PVC	35	105
	2	Tubos de vacío	760	1520
	1	Filtro para aire	30	30
	4	Sellador	25	100
	7	Accesorio para fijación	13	91
	9	Tubos tipo codo	11	99
	1	Computadora	1 600	1 600
	1	Microsoft Office	150	150
	1	Programa SolidWork	200	200
	12	Sellador para PVC	16	192
			Total	5 599

Fuente. Elaboración propia

DISCUSIONES

Con respecto al antecedente nacional 1:

Siguiendo la investigación de Yucra y Tumi (2021), donde se demostró que las estufas solares pueden mantener una temperatura interior confortable entre 285,15K (12°C) y 298,15 K (25°C), esta tesis propone un sistema que aprovecha la radiación solar en la ciudad de Tacna para mejorar el confort térmico sin necesidad de combustibles contaminantes. El sistema utiliza tubos de vacío para convertir la energía solar en calor, logrando un Voto Medio Previsto (PMV) de 2,82 y un Porcentaje Previsto de Insatisfechos (PPD) del 92 % en el mes de junio, indicadores que demuestran un alto aumento de confort térmico.

Con respecto al antecedente nacional 2:

Siguiendo a Wieser et al. (2021), quienes en una de sus conclusiones mencionan que las propuestas futuras para soluciones pasivas y naturales se centran en disminuir la brecha térmica entre el aislamiento y también la cimentación, y en mejorar el sellado de la envolvente mientras se precalienta el aire de entrada, posiblemente mediante intercambiadores de calor o ventilación subterránea. Además, se considera la incorporación de estrategias bioclimáticas activas, como sistemas de calentamiento solar y almacenamiento de fluidos, aunque son más costosas de implementar y mantener, en esta tesis se aprovechó la radiación solar para luego utilizar el tubo de vacío y agregar un arreglo de aletas extendidas para incrementar la transferencia de calor del aire de entrada controlada por medio de la velocidad del viento.

Con respecto al antecedente internacional 1:

Según Rashad et al. (2021), emana que la existe la necesidad de investigaciones más extensas y casos reales para cuantificar los ahorros de energía, para la presente tesis se ha realizado una innovadora forma contar con una habitación o un lugar de estudio la

cual sea un ambiente confortable térmicamente sin la necesidad de consumir energía eléctrica u otras formas de quema de combustible, el ahorro promedio monetario es de S/. 230,83, se emplearon indicadores del confort térmico, puesto que no solo está en función de la temperatura, pero mediante la herramienta CBE podemos calcular y medir este indicador de satisfacción térmica.

Con respecto al antecedente internacional 2:

Según Song et al. (2022), menciona que es fundamental no perder de vista el objetivo principal de proporcionar espacios cómodos para los ocupantes. Un diseño bien pensado garantiza un ambiente térmico interior confortable, especialmente en entornos como oficinas, donde las personas pasan una parte significativa del día. Tuvo como resultado que el impacto de la luz del sol en comodidad térmica varía según las zonas climáticas. Para la presente tesis se realizó en un espacio determinado de trabajo en donde se requiere que el confort térmico sea predominante, ya que la persona no está en movimiento por lo que no genera calor corporal.

Con respecto al antecedente internacional 3:

En concordancia con Tartarini et al. (2020), se utilizó la herramienta gratuita en línea CBE Thermal Comfort para calcular y visualizar el confort térmico en la presente tesis. Esta herramienta, alineada con los principales estándares internacionales, nos permitió validar la variable dependiente de la investigación: la temperatura interior estable de 298,15 K (25°C) alcanzada mediante un sistema de calefacción solar.

CONCLUSIONES

1. Se mejoró el confort térmico en viviendas unifamiliares de la ciudad de Tacna mediante calefacción solar, cumpliendo con normas internacionales. Esto resultó en un aumento del 2,82 en el voto medio previsto y una disminución del 92M% en la insatisfacción durante julio de 2022, a la vez se tiene un ahorro de 230,83 soles mensualmente. La calefacción solar demostró ser efectiva, elevando la temperatura interior significativamente en varios meses y mejorando el bienestar de los ocupantes. Este sistema reduce el consumo energético convencional, promoviendo la sostenibilidad y generando ahorros económicos, mejorando así la comodidad térmica.
2. Se realizó un diagnóstico del confort térmico en viviendas de la ciudad de Tacna, revelando la falta de confort en los meses de mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre. El diagnóstico sugiere oportunidades para mejorar la eficiencia energética mediante tecnologías avanzadas mediante energías renovables.
3. Se determinó el sistema de calefacción y concediendo el uso de los tubos de vacío frente al uso de los paneles fotovoltaicos por ser más eficiente. La implementación de un sistema de calefacción con 2 tubos de vacío y 2 intercambiadores de calor de aletas representa una alternativa eficiente, sostenible y de bajo mantenimiento para calentar hasta 298,22 K (25,07 °C) las viviendas en cuestión, contribuyendo al confort térmico de sus ocupantes y a la protección del medio ambiente.
4. Se realizó el montaje mediante simulación y se comparó los resultados obtenidos con el diagnóstico inicial y esta activación del sistema de calentamiento solar para la vivienda en cuestión ha demostrado ser un éxito rotundo, cumpliendo con los objetivos establecidos en el diagnóstico inicial y proporcionando beneficios tangibles en términos de confort térmico, ahorro energético y sostenibilidad ambiental.

RECOMENDACIONES

1. Replicar el modelo en viviendas similares: Dada la efectividad comprobada del sistema de calefacción solar implementado, se recomienda replicar este modelo exitoso en otras viviendas con características similares, como tamaño, ubicación y clima. Esto podría implicar brindar asistencia técnica, incentivos económicos o programas educativos para fomentar la adopción de esta solución de calefacción sostenible.
2. Ampliar la aplicación a edificios más grandes y espacios comerciales: La implementación exitosa del sistema de calefacción solar en una vivienda residencial demuestra su potencial para aplicaciones a mayor escala. Se recomienda explorar la viabilidad de adaptar y escalar el sistema para su uso en edificios multifamiliares, edificios comerciales o incluso instalaciones industriales.
3. Integrar con tecnologías inteligentes del hogar: Mejora la eficiencia y la experiencia del usuario del sistema de calefacción solar, integrándolo con tecnologías inteligentes del hogar. Esto podría incluir monitoreo y control remoto del sistema, datos de consumo de energía en tiempo real y ajustes automatizados basados en la ocupación y las condiciones climáticas.
4. Promover la conciencia pública y la educación: Fomenta la conciencia pública sobre los beneficios y la rentabilidad de los sistemas de calefacción solar a través de campañas educativas, talleres e iniciativas de divulgación comunitaria. Anima a los propietarios de viviendas y empresas a considerar la calefacción solar como una alternativa viable y sostenible a los métodos de calefacción tradicionales.
5. Desarrollar lineamientos y mejores prácticas estandarizados: Establece lineamientos y mejores prácticas estandarizados para el diseño, instalación y

mantenimiento de sistemas de calefacción solar para garantizar un rendimiento, seguridad y calidad consistentes. Esto podría implicar la creación de estándares para la industria, la certificación de instaladores y la oferta de programas de capacitación.

6. Fomentar la investigación y el desarrollo en tecnologías de calefacción solar: Apoya los esfuerzos continuos de investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia, la asequibilidad y la versatilidad de las tecnologías de calefacción solar. Esto podría incluir explorar nuevos materiales, sistemas de control avanzados y diseños innovadores que mejoren aún más el rendimiento y el atractivo de las soluciones de calefacción solar.
7. Abogar por políticas e incentivos de apoyo: Defiende las políticas e incentivos gubernamentales que promuevan la adopción de sistemas de calefacción solar. Esto podría implicar exenciones de impuestos, subsidios o procesos de permisos simplificados para que la calefacción solar sea más accesible y económicamente atractiva para propietarios de viviendas y empresas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, D. E. (2019). Sistema de calefacción doméstico rural basado en energía solar para la localidad de Acobambilla, Huancavelica. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*, 146. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14813>
- Aro, R. (2023). *Diseño de un calefactor solar mediante el uso de tubos de vacío con temperatura regulada para el confort en las viviendas de la región de Tacna, en el año 2021*. UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN.
- Carolina, A., & Giraldo, M. (2020). *CONSTRUIDAS CON MATERIALES LIGEROS Modalidad : Exploratorio, HEIDY VANESSA CORTES NAVARRO*.
- CBE. (2022). *CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55*. <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>
- Chambergo, R., Sacha, R., & Zapana, M. (2020). *Optimización de un colector solar térmico de aire para mejorar el confort térmico en viviendas alto andinas de la región Junín*. Universidad Continental.
- Chen, Q. F., Yuan, Z. X., Guo, Z. Q., & Zhao, Y. (2019). Practical performance of a small PTC solar heating system in winter. *Solar Energy*, 179(November 2018), 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.061>
- Dong, Q., Li, S., & Han, C. (2020). Numerical and experimental study of the effect of solar radiation on thermal comfort in a radiant heating system. *Journal of Building Engineering*, 32(December 2019), 101497. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101497>
- Incropera, F., & Witt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor* (I. John Wiley & Sons (ed.); en español). Prentice Hall.
- Liu, H., Wang, D., Jiao, X., Gao, M., Liu, Y., Fan, J., & Liang, Y. (2023). Storage periods and heating terminals types influence on the solar heating thermal storage volume in

- the Tibetan Plateau regions. *Journal of Energy Storage*, 66(13), 107461.
<https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107461>
- Méndez, E. (2022). Sistema de calefacción hidrónico con técnicas ecológicas e influencia en el confort térmico de la vivienda altoandina de la comunidad campesina de Huaros, Canta-Lima. In *Universidad Ricardo Palma*.
<https://hdl.handle.net/20.500.14138/5358>
- Meng, X., Liu, Y., Han, Y., Cao, Q., Zhang, S., & Yang, L. (2023). Defining and grading passive solar heating potential indicator in China: A new irradiation degree hour ratio parameter. *Solar Energy*, 252(January), 342–355.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.01.054>
- Mercado, C. M. (2015). *Evaluación de parámetros de operación de colector solar de tubo al vacío para generación de agua caliente en Huancayo*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Raichman, S., & Totter, E. (2016). Geometría analítica para ciencias e ingenierías. In *Geometría Analítica para Ciencias e Ingenierías* (1st ed.). Universidad Nacional de Cuyo.
- Rashad, M., Khordehgah, N., Żabnieńska-Góra, A., Ahmad, L., & Jouhara, H. (2021). The utilisation of useful ambient energy in residential dwellings to improve thermal comfort and reduce energy consumption. *International Journal of Thermofluids*, 9.
<https://doi.org/10.1016/j.ijft.2020.100059>
- Rekstad, J., Meir, M., Murtnes, E., & Dursun, A. (2015). A comparison of the energy consumption in two passive houses, one with a solar heating system and one with an air-water heat pump. *Energy and Buildings*, 96, 149–161.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.059>
- Romanach, L., Leviston, Z., Jeanneret, T., & Gardner, J. (2017). Low-carbon homes, thermal comfort and household practices: Uplifting the energy-efficiency discourse.

- Energy Procedia*, 121, 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.023>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. J. (2008). Física para ciencias e ingeniería. In S. R. Cervantes González (Ed.), *Cengage Learning* (7th ed., Vol. 1, Issue 1). <https://doi.org/10.1163/221058799x01268>
- Song, B., Bai, L., & Yang, L. (2022). Analysis of the long-term effects of solar radiation on the indoor thermal comfort in office buildings. *Energy*, 247, 123499. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123499>
- Soni, N., Sharma, D., Rahman, M. M., Hanmaiahgari, P. R., & Reddy, V. M. (2021). Mathematical Modeling of Solar Energy based Thermal Energy Storage for House Heating in Winter. *Journal of Energy Storage*, 34(October 2020), 102203. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102203>
- Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T., & Hoyt, T. (2020). CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, 12, 100563. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>
- Tewari, K., & Dev, R. (2018). Analysis of modified solar water heating system made of transparent tubes & insulated metal absorber. *Evergreen*, 5(1), 62–72. <https://doi.org/10.5109/1929731>
- Vargas Bautista, J., Yampasi Espejo, P., Tirado Villarroel, X., & Patzi, A. (2016). Implementación de un sistema de calefacción solar térmico: análisis energético y económico. *Investigación & Desarrollo*, 16(1), 49–60. <https://doi.org/10.23881/idupbo.016.1-4i>
- Xia, T., Li, Y., Sun, Z., Wan, X., Sun, D., Wang, L., Liu, X., & Li, T. (2023). Performance study of an active solar water curtain heating system for Chinese solar greenhouse heating in high latitudes regions. *Applied Energy*, 332(120), 120548. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120548>

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

AUMENTO DEL CONFORT TÉRMICO MEDIANTE LA CALEFACCIÓN SOLAR EN LAS VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE TACNA, EN EL AÑO 2022

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente: Calefacción solar	Tipo de investigación Aplicada - Tecnológica
¿En qué medida aumentará el confort térmico mediante la calefacción solar en las viviendas de la ciudad de Tacna, en el año 2022?	Aumentar el confort térmico mediante la calefacción solar en las viviendas de la ciudad de Tacna, en el año 2022.	La calefacción solar aumenta el confort térmico en las viviendas de la región de Tacna.	Variable dependiente: Aumento del confort térmico	Nivel de investigación Descriptivo
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		Diseño de investigación
a) ¿Cuál es el diagnóstico de la calefacción en las	a) Realizar un diagnóstico del confort térmico en las viviendas	a) La realización de un diagnóstico del confort térmico permite su aumento en las viviendas de la ciudad de Tacna 2022.		Diseño transversal

viviendas de la ciudad de Tacna 2022?	de la ciudad de Tacna 2022.	b) La determinación, el sistema de calefacción, seleccionando adecuadamente los componentes y el método de transferencia de calor, permite el aumento del confort térmico en las viviendas de la ciudad de Tacna 2022.	Población
b) ¿Cuál es el sistema de calefacción adecuado para la selección de los componentes y el método de transferencia de calor?	b) Determinar el sistema de calefacción, seleccionando adecuadamente los componentes y el método de transferencia de calor.	c) Realizar el montaje del sistema mediante simulación, comparando resultados con los obtenidos en el diagnóstico inicial, permite el aumento del confort térmico en las viviendas de la ciudad de Tacna 2022.	Viviendas de la ciudad de Tacna en el año 2022.
c) ¿Cuál es el montaje del sistema de calefacción mediante la simulación y como se comparará los resultados con los obtenidos en el diagnóstico inicial?	c) Realizar el montaje del sistema mediante simulación, comparando resultados con los obtenidos en el diagnóstico inicial.		Muestra
			Viviendas de la ciudad de Tacna en el año 2022
			Técnicas de recolección de datos
			Registros históricos
			Instrumentos de recolección de datos
			Censo de población

ANEXO 02



Este termómetro digital tiene un sensor externo para su refrigerador / congelador y también temperatura ambiente. Min / Max Temperaturas y alarma por fuera

Mantenga su refrigerador a la temperatura adecuada durante todo el año. Simplemente conecte el sensor a la posición deseada en el refrigerador o congelador y el termómetro en el exterior con los imanes adjuntos o la tira de velcro adjunta.

Configure su lectura preferida de °C o °F y luego configure las temperaturas mínimas y máximas con la alarma. Si el refrigerador baja o supera estas temperaturas establecidas, la alarma sonará hasta que la apague manualmente para investigar el problema.

No más comida en mal estado nunca más. Muestra la temperatura ambiente con solo tocar un botón.

Especificaciones

- Rango de temperatura ambiente: -10 a 50 °C
- Rango de temperatura del refrigerador / congelador: -50 a 70 °C
- Tamaño de pantalla 26 (W) x 13 (H) mm
- Cable del sensor del refrigerador: 1 metro
- Requiere 1 x batería AAA (suministrada)
- Dimensiones: 67 (W) x 39 (H) x 15 (D) mm
- Precisión $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ sobre rango completo

ANEXO 03



ANSI/ASHRAE Standard 55-2020
 (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55-2017)
 Includes ANSI/ASHRAE addenda listed in Appendix N

Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

See Appendix N for ASHRAE and American National Standards Institute approval dates.

This Standard is under continuous maintenance by a Standing Standard Project Committee (SSPC) for which the Standards Committee has established a documented program for regular publication of addenda or revisions, including procedures for timely, documented, consensus action on requests for change to any part of the Standard. Instructions for how to submit a change can be found on the ASHRAE® website (<https://www.ashrae.org/continuousmaintenance>).

The latest edition of an ASHRAE Standard may be purchased from the ASHRAE website (www.ashrae.org) or from ASHRAE Customer Service, 180 Technology Parkway NW, Peachtree Corners, GA 30092. E-mail: orders@ashrae.org. Fax: 678-539-2129. Telephone: 404-636-8400 (worldwide), or toll free 1-800-527-4723 (for orders in US and Canada). For reprint permission, go to www.ashrae.org/permissions.

© 2021 ASHRAE

ISSN 1041-2336



ANEXO 04

SoftwareX 12 (2020) 100563



Contents lists available at ScienceDirect

SoftwareX

journal homepage: www.elsevier.com/locate/softx

Original software publication

CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations


 Federico Tartarini ^{a,*}, Stefano Schiavon ^b, Toby Cheung ^a, Tyler Hoyt ^b
^a SinBerBEST, Berkeley Education Alliance for Research in Singapore, Singapore

^b Center for the Built Environment, University of California Berkeley, USA

ARTICLE INFO

Article history:
 Received 3 June 2020
 Received in revised form 29 June 2020
 Accepted 2 July 2020

Keywords:
 Thermal comfort
 Predicted Mean Vote
 Adaptive comfort models
 Local thermal discomfort

ABSTRACT

The Center for the Built Environment (CBE) Thermal Comfort Tool is a free online tool for thermal comfort calculations and visualizations that complies with the ASHRAE 55–2017, ISO 7730:2005 and EN 16798–1:2019 Standards. It incorporates the major thermal comfort models, including the Predicted Mean Vote (PMV), Standard Effective Temperature (SET), adaptive models, local discomfort models, SolarGal, and dynamic predictive clothing insulation. Our tool also provides dynamic and interactive visualizations of thermal comfort zones. The CBE Thermal Comfort Tool has several practical applications and each year is used by more than 49,000 users worldwide, including engineers, architects, researchers, educators, facility managers and policymakers.

© 2020 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Code metadata

Current code version	v2.0.0
Permanent link to code/repository used for this code version	https://github.com/ElsevierSoftwareX/SOFTX_2020_242
Legal Code License	GNU General Public License (GPL) version 2
Code versioning system used	git
Software code languages, tools, and services used	Python, JavaScript
If available Link to developer documentation/manual	https://centerforthebuiltenvironment.github.io/comfort_tool
Support email for questions	cbecomforttool@gmail.com

1. Motivation and significance

People spend the majority of their time indoors and thermal environmental conditions significantly affect their well-being, performances and the overall satisfaction with the built environment [1–3]. For this reason, starting in the 1960's, numerous thermal comfort indices have been developed. Among which, the most widely adopted and used are the Predicted Mean Vote (PMV) [4], the Standard Effective Temperature (SET) [5] and the EN and ASHRAE Adaptive thermal comfort models [6,7].

International thermal comfort Standards, such as the ASHRAE 55–2017 [8] and the ISO 7730:2005 [9], and scientific publications provide methods to calculate thermal comfort indices, but they are not freely available to the public. Moreover, even for

skilled users it may take a significant amount of time to re-write the source code to calculate a comfort index, making it an error prone process. Open source packages to calculate thermal comfort indices such as: `comf` [10] and `pythermalcomfort` [11] are available and can be used by researchers or skilled users. However, we did not find any available tool which could be used to calculate thermal comfort indices, provide visual and highly interactive representation of the thermal comfort zones with no prior coding skills [12]. Possibly because the conversion of equations to codes, requires a combination of high programming skills, and a significant investments of time which in turns discourages developers in releasing free tools. An open source interactive visualization tool may on the other hand help engineers, architects, researchers, educators, facility managers and policymakers to better understand how to design and operate buildings to enhance thermal comfort conditions indoors while minimizing energy consumption.

* Corresponding author.
 E-mail address: federicotartarini@berkeley.edu (F. Tartarini).

<https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>

2352-7110/© 2020 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

ANEXO 05



Descripción

Model	8758	8778
Temp. range	0~50°C	
Temp. resolution	0.1°C/°F	
Temp. accuracy	+/-0.6°C	
Humidity. range	0%~100%RH	
Humidity resolution	0.1%RH	
Humidity accuracy	+/-3%RH (at 25°C, 10~90%RH, others +/-5%RH)	
Globe Temp. (inside black ball)	0~80°C	
Globe Temp. Acc.	Indoor: +/-2 °C(at 15~40°C),others 2.5 °C outdoor: +/-3 °C(at 15~40°C),others 3.5 °C	+/-1 °C(at 15~40°C),others 1.5 °C +/-1.5 °C(at 15~40°C),others 2 °C
WBGT temp. range	0~50°C	
Black ball size(mm)	Dia. 40, height:35	Dia. 75, height:75
Stabilization time	15 ~25 minutes typical	
RH% Self calibration	YES	
Battery life	>250hour	
LCD size (mm)	28(H)x33(W)	
Operation temp.	0~50°C	
Operation RH%	Humidity < 80%	
Storage temp.	-20~50°C	
Storage RH%	Humidity < 90%	
Dimension(mm)	254x48.7x30.9(H)	278.2x75x75(H)
Weight	~120g	~140g
Battery	AAA x2pcs	
Standard Package	Meter/Battery/Manual/Paper box	
Optional	Software Kit /RH calibration kit	

ANEXO 06



Perú
Anuario de
**Estadísticas
Ambientales**

2023

ANEXO 07**Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2023****Dirección General****Dante Carhuavilca Bonett****Jefe****Instituto Nacional de Estadística e****Informática****Peter Abad Altamirano****Subjefe de Estadística****Supervisión****José Luis Robles Franco**

Director Nacional

Dirección Nacional de Cuentas Nacionales**Henry Jacinto Meza Meza**

Director Ejecutivo de Cuentas de Hogares

Rosa Blas Alcántara

Directora

Analista

Eliana Quispe Calmett

Felixalberto Lavado Romani

Diagramación y Diseño

Ana Huauya Tacza

© 2023 Instituto Nacional de Estadística e Informática

Impreso en Lima, Perú.

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta obra siempre que se mencione la fuente.

Preparado: Dirección Nacional de Cuentas Nacionales

ANEXO 08

1.1.1 Atmósfera, clima y condiciones meteorológicas

A. Temperatura

1. Temperatura promedio anual, según departamento 2001-2022
(Grado Celsius)

Departamento	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Amazonas	14,7	14,9	15,0	14,9	15,2	15,0	14,7	14,8	14,8	15,4	14,9	14,7	15,0	14,9	15,1	15,6	15,2	14,9	15,0	15,3	15,0	15,0
Áncash	12,0	12,6	12,6	12,1	12,5	14,2	12,6	12,4	12,5	12,7	12,2	12,4	12,5	12,5	12,8	13,1	12,3	12,0	12,5	a/	11,2	11,1
Apurímac	14,8	14,8	15,3	14,8	16,2	15,7	15,8	16,2	16,0	16,2	15,7	14,0	14,1	14,1	14,5	14,9	14,3	14,2	14,6	a/	13,6	15,6
Arequipa	15,8	16,3	16,3	15,8	16,0	15,9	15,9	15,0	16,4	16,4	15,6	15,6	15,6	16,1	17,1	17,3	16,6	16,6	17,0	a/	16,2	16,0
Ayacucho	17,7	18,3	18,0	16,8	17,8	17,7	18,1	19,4	19,0	18,8	18,0	18,0	18,2	18,4	18,3	18,8	18,1	17,1	17,0	18,2	17,4	17,7
Cajamarca	14,4	14,7	14,8	14,6	14,6	14,5	14,4	14,4	14,7	14,9	14,4	14,6	14,9	15,0	15,4	15,6	15,0	14,9	15,0	15,5	14,9	14,8
Cusco	12,0	11,9	12,1	12,1	11,9	11,8	12,4	12,3	12,4	12,6	12,1	12,3	12,3	12,5	12,6	13,3	13,0	12,6	12,9	14,0	14,0	12,5
Huancavelica	9,9	10,5	10,4	10,5	10,5	10,1	10,3	10,0	10,6	10,4	9,5	9,6	10,3	10,3	10,4	10,8	10,4	10,4	10,7	11,1	10,3	10,7
Huánuco	20,2	20,5	20,6	20,2	20,7	20,4	20,5	20,4	20,5	20,9	20,2	20,3	20,7	20,6	20,8	21,4	20,9	20,2	20,4	21,1	20,8	20,9
Ica	22,1	21,6	21,0	20,9	20,7	21,2	20,6	21,6	21,8	21,4	22,2	20,7	21,5	21,0	21,6	22,9	22,7	22,4	22,1	22,7	22,0	20,8
Junín	12,0	12,3	12,2	12,2	12,4	12,0	12,4	12,1	12,4	12,7	12,1	12,1	12,4	12,4	12,6	13,0	12,8	12,3	12,3	13,3	12,7	12,5
La Libertad	19,7	20,6	20,1	17,9	20,1	20,1	18,9	20,8	20,5	19,8	19,9	21,2	19,3	21,0	22,2	21,2	20,9	20,0	20,6	20,2	19,7	18,8
Lambayeque	20,8	21,8	20,9	21,6	21,6	22,5	19,9	21,5	21,2	20,5	20,7	22,0	20,2	21,7	22,8	22,4	22,0	20,9	21,5	20,8	20,5	19,8
Lima	18,7	19,2	19,0	19,0	18,7	19,4	18,1	19,5	19,5	18,8	19,1	19,8	18,7	19,5	20,8	20,3	20,1	19,5	19,6	a/	18,5	18,0
Loreto	26,7	27,6	26,7	27,5	28,1	27,4	27,4	27,3	27,4	27,6	27,5	26,8	27,4	26,9	27,3	27,5	27,5	27,2	27,4	27,6	27,5	27,3
Madre de Dios	26,5	27,0	27,1	26,8	27,8	27,4	27,1	26,5	26,1	...	26,6	26,9	26,6	26,5	27,1	27,0	27,0	26,2	26,6	27,5	26,5	26,1
Moquegua	19,9	19,8	20,0	19,2	19,7	20,0	19,7	18,8	19,8	19,2	19,4	19,7	19,3	19,4	19,9	...	...	20,1	20,0	a/	18,6	19,4
Pasco	4,6	4,9	5,0	4,7	5,1	4,8	5,0	5,3	5,2	5,7	5,2	5,0	5,3	5,2	5,5	6,0	5,5	5,2	5,5	a/	a/	5,4
Piura	23,8	24,7	24,5	24,5	24,1	24,8	24,0	24,8	24,8	24,2	24,6	25,2	23,9	25,3	26,1	26,0	25,0	25,0	25,4	a/	23,8	22,5
Puno	9,8	10,2	10,2	10,3	10,2	10,2	10,7	9,4	10,9	11,5	10,8	10,5	10,2	10,5	10,3	10,9	10,6	10,4	10,7	a/	9,7	9,7
San Martín	22,4	22,5	22,3	22,7	22,9	22,7	22,6	23,2	22,7	23,4	23,1	22,8	23,0	22,8	22,9	23,6	23,1	22,8	23,0	a/	23,1	23,3
Tacna	17,6	17,8	17,7	17,0	17,2	18,0	16,7	18,3	18,1	17,5	17,6	18,2	17,7	18,0	18,8	18,8	18,5	18,5	18,2	18,8	17,8	17,5
Tumbes	24,6	25,6	25,3	25,1	24,9	25,3	24,9	26,2	25,7	25,5	25,5	25,6	25,1	26,0	27,2	26,9	25,8	26,0	26,3	a/	24,5	24,2
Ucayali	26,3	25,6	25,5	25,2	25,9	25,7	26,2	26,1	25,7	26,1	25,5	25,5	25,6	25,5	26,0	26,0	25,9	25,5	25,7	a/	25,7	26,1

a/ No se registró información, debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

ANEXO 09

2. Temperatura promedio mensual, según departamento, 2021 - 2022
(Grado Celsius)

Departamento	2021												2022											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Amazonas	14,5	15,7	14,8	15,4	15,0	14,6	13,9	14,5	14,6	15,5	15,6	15,8	15,6	14,9	15,1	14,9	15,0	14,1	14,5	14,2	15,0	15,5	15,6	15,5
Áncash	10,5	a/	10,7	11,6	11,2	11,0	10,2	10,6	11,6	11,9	11,3	12,2	11,8	11,1	10,4	11,6	11,1	9,9	10,4	10,8	11,0	11,7	12,1	10,9
Apurímac	13,6	14,2	13,4	13,2	12,6	12,2	11,7	13,0	14,1	15,4	14,8	14,7	15,5	14,9	14,9	14,8	14,6	...	...	14,1	...	17,1	17,3	16,8
Arequipa	16,9	16,9	16,3	15,8	15,5	14,4	14,7	15,2	17,1	17,3	17,2	17,6	17,0	16,2	16,1	15,7	15,4	14,4	15,3	15,5	15,7	16,8	17,3	16,7
Ayacucho	18,4	18,4	17,2	17,1	15,8	14,8	14,3	16,2	17,9	19,8	19,6	19,8	18,7	18,2	17,7	17,0	16,6	14,2	14,3	16,1	18,6	20,2	20,8	20,0
Cajamarca	14,9	15,3	14,2	15,2	14,8	14,2	13,9	14,4	15,1	15,5	15,6	15,8	15,0	14,6	14,7	14,8	14,5	13,8	14,4	14,3	14,7	15,3	16,1	15,5
Cusco	14,4	14,5	13,9	a/	a/	12,5	12,0	13,4	14,8	15,5	14,7	14,7	13,3	13,1	12,9	12,9	11,7	10,2	10,7	11,3	13,1	13,9	14,5	...
Huancavelica	10,4	10,8	8,7	9,5	9,8	9,7	9,7	10,0	10,1	11,8	11,4	11,6	10,7	10,1	10,0	10,7	10,5	9,5	10,1	10,3	11,1	12,1	12,2	11,4
Huánuco	20,5	21,1	20,4	21,1	20,8	20,7	19,9	20,6	20,9	21,7	20,8	21,4	21,4	20,2	20,5	21,6	21,1	19,7	20,5	20,2	21,4	22,1	21,3	20,7
Ica	25,9	26,1	26,3	24,3	21,7	17,7	17,8	18,5	20,4	21,7	a/	a/	26,0	25,0	24,3	22,6	19,8	17,0	16,4	17,1	17,4	19,1	21,5	23,5
Junín	13,1	13,7	12,4	12,5	11,6	11,2	10,7	12,1	12,9	14,3	13,6	14,1	13,2	12,8	12,6	12,2	12,1	10,1	10,7	11,6	13,2	14,4	14,5	12,7
La Libertad	22,2	22,7	23,2	20,6	19,3	19,3	18,6	17,4	16,7	17,1	18,9	20,5	22,1	21,9	22,1	19,3	18,2	17,2	16,4	16,3	16,4	16,6	18,5	21,1
Lambayeque	22,9	23,9	24,2	21,4	20,1	19,9	19,4	18,5	17,7	17,9	19,5	20,8	22,5	22,8	23,2	20,4	19,2	18,4	17,6	17,4	17,5	17,5	19,4	22,0
Lima	21,6	22,4	22,9	19,9	17,7	17,2	16,2	15,5	15,1	15,9	17,6	19,5	21,8	21,9	21,7	19,1	17,1	15,8	15,1	14,6	14,9	15,2	17,9	20,8
Loreto	27,0	27,7	27,1	27,5	26,9	27,4	26,4	28,1	28,1	28,1	27,6	28,0	28,0	27,2	26,9	27,4	26,7	26,5	27,4	26,7	28,1	28,0	27,2	27,4
Madre de Dios	26,9	26,7	26,6	26,1	26,0	a/	24,3	26,7	28,7	27,7	25,9	26,4	27,0	26,1	25,8	26,6	24,9	23,5	26,1	25,3	26,9	27,0	27,2	26,6
Moquegua	19,1	19,5	19,0	18,3	18,8	17,9	18,2	17,8	18,4	18,9	18,6	18,9	20,6	20,3	20,6	19,6	19,3	17,2	17,6	18,4	18,5	20,0	20,0	20,2
Pasco	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	5,4	6,3	5,2	5,3	5,5	5,6	5,7	4,6	4,8	4,9	5,4	6,1	6,5	5,2
Piura	26,8	27,8	27,5	25,5	22,9	21,9	21,7	21,2	21,2	21,8	22,7	24,3	...	...	...	...	...	21,9	21,4	21,3	21,7	21,9	23,1	26,0
Puno	10,0	10,6	9,6	9,6	8,6	7,9	8,0	8,6	10,3	11,4	11,4	10,2	9,9	10,1	10,4	9,9	9,0	7,9	8,3	8,7	10,1	10,4	11,6	10,5
San Martín	23,2	23,4	22,6	23,2	23,0	22,2	22,2	23,0	23,7	24,1	a/	a/	23,9	23,0	22,7	22,7	22,8	22,4	23,4	22,9	23,7	24,2	24,1	24,0
Tacna	22,1	22,7	21,7	18,9	17,1	14,6	13,9	14,0	14,3	15,9	18,0	19,9	21,7	21,5	20,9	17,9	15,9	14,2	13,7	13,8	13,9	15,9	18,6	21,4
Tumbes	26,2	26,8	27,0	26,3	24,4	23,6	23,0	22,7	22,7	23,3	23,3	24,8	...	...	...	...	26,4	25,3	23,8	23,7	23,4	23,3	22,8	24,8
Ucayali	25,8	25,8	25,0	25,7	25,4	25,2	25,7	26,0	25,9	26,2	25,3	26,2	25,2	25,5	26,3	25,8	25,9	26,1	27,1	26,0	26,6	26,0	26,4	26,3

a/ No se registró información, debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

ANEXO 10

3. Temperatura máxima promedio, anual, según departamento, 2001 - 2022
(Grado Celsius)

Departamento	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Amazonas	20,2	19,7	20,0	20,2	20,8	20,2	20,0	20,4	19,9	20,9	20,3	19,9	20,2	20,0	20,0	20,9	20,3	20,1	20,0	20,5	20,0	20,2
Áncash	20,1	20,4	21,2	20,6	21,1	21,9	20,8	20,5	20,1	21,5	20,5	...	20,9	20,9	21,7	21,8	20,8	20,6	21,1	a/	20,3	20,8
Apurímac	20,7	20,4	21,2	20,8	22,5	21,6	22,0	22,4	22,3	22,6	21,6	21,3	20,8	21,4	21,1	22,3	20,9	20,9	21,3	a/	20,9	22,1
Arequipa	22,3	22,5	22,6	22,2	22,4	22,4	22,0	23,0	22,9	22,1	22,5	23,2	23,1	24,1	25,0	23,5	23,6	24,4	a/	24,5	23,9	
Ayacucho	26,7	24,2	24,7	25,6	26,7	24,5	24,7	27,1	27,2	28,1	26,3	26,2	26,6	27,4	26,5	28,2	26,8	25,6	26,4	27,6	27,2	28,2
Cajamarca	21,3	21,6	22,0	21,7	21,9	21,5	21,2	21,0	21,5	22,1	21,3	21,5	21,9	22,0	22,0	22,7	21,8	21,6	21,7	22,6	22,0	21,8
Cusco	20,4	20,5	21,3	21,1	21,4	20,8	21,1	21,1	21,7	22,1	21,2	21,8	21,8	21,5	21,2	22,0	21,2	20,7	21,1	21,7	21,4	22,2
Huancavelica	16,8	17,1	17,2	17,2	17,4	17,1	17,3	17,5	17,8	17,9	16,4	16,2	17,1	16,5	16,8	18,0	16,8	16,8	17,2	16,7	16,7	17,7
Huánuco	26,5	26,6	26,9	26,4	27,1	26,4	26,9	26,3	26,5	27,1	26,1	26,2	26,5	26,5	26,8	27,6	26,9	26,3	26,8	27,4	27,1	27,3
Ica	29,7	29,7	30,0	29,8	29,4	29,7	29,4	29,2	29,6	29,4	29,7	29,4	30,0	29,9	29,8	30,6	30,0	29,7	30,1	30,3	29,6	29,8
Junín	19,5	19,7	20,0	20,0	20,6	19,7	20,2	19,9	20,0	21,0	19,9	20,1	20,6	20,5	20,7	21,5	20,4	20,4	20,3	21,1	20,3	20,7
La Libertad	23,8	25,0	24,4	...	23,2	24,0	22,4	23,9	23,8	23,3	23,6	24,8	22,8	24,6	26,1	25,2	24,9	23,7	24,2	24,1	23,2	22,3
Lambayeque	25,1	26,5	25,5	26,7	27,8	28,8	23,9	...	25,1	24,5	25,1	26,5	24,7	26,2	27,1	27,0	26,3	25,3	25,7	25,2	24,8	24,3
Lima	21,0	21,5	21,3	21,6	20,9	21,7	20,4	21,6	21,9	21,3	21,6	22,3	21,3	22,1	23,4	23,3	23,1	22,4	22,5	a/	21,6	21,4
Loreto	31,7	31,9	32,1	32,3	32,5	32,0	32,4	32,2	32,3	32,4	31,8	31,8	32,1	31,8	32,2	32,2	32,0	31,7	31,7	32,2	31,9	31,9
Madre de Dios	31,4	32,8	32,6	32,8	31,5	32,9	33,2	33,8	32,7	...	32,2	31,7	31,3	31,2	31,6	31,7	31,6	31,0	31,2	32,5	31,3	31,1
Moquegua	27,1	26,9	27,3	27,0	26,9	27,1	26,8	26,6	27,0	26,8	26,8	27,4	27,4	27,2	27,6	27,9	27,3	27,6	27,7	a/	27,3	27,3
Pasco	10,1	10,1	10,6	10,3	11,5	10,8	10,8	10,8	10,6	11,7	10,7	10,7	10,7	10,7	11,2	12,1	11,0	11,0	11,4	a/	a/	11,8
Piura	29,7	30,7	30,8	31,1	30,5	30,8	30,3	30,0	30,6	30,3	30,8	31,0	30,0	31,3	31,7	32,3	30,6	31,3	31,8	a/	30,3	29,2
Puno	15,3	15,4	15,8	15,6	16,3	16,0	16,2	16,3	16,6	17,5	16,1	15,6	15,6	16,0	16,1	16,9	16,3	16,0	16,6	a/	16,2	16,3
San Martín	27,8	27,9	28,2	28,4	28,8	28,7	28,4	28,3	28,5	29,4	28,8	28,6	29,3	28,4	28,7	29,4	28,6	28,2	28,6	a/	28,7	29,2
Tacna	23,2	23,3	23,6	23,5	23,2	23,9	22,4	23,5	24,1	23,2	23,3	24,0	23,7	23,6	24,4	24,8	24,3	24,1	23,7	24,3	22,8	22,8
Tumbes	28,4	29,9	29,8	29,8	29,7	30,1	29,6	30,0	28,8	29,9	29,9	29,9	29,4	30,3	32,0	31,6	30,5	30,6	30,0	a/	27,6	26,8
Ucayali	31,1	31,2	31,5	30,2	31,9	32,1	31,8	31,5	31,8	32,3	31,3	31,8	31,6	31,3	31,9	32,0	31,7	31,7	32,0	a/	31,9	32,5

a/ No se registró información, debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

ANEXO 11

4. Temperatura máxima promedio mensual, según departamento, 2021 – 2022
(Grado Celsius)

Departamento	2021												2022											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Amazonas	18,9	20,6	19,3	20,0	20,0	19,4	19,7	20,3	19,7	20,5	20,4	20,7	20,6	19,2	19,6	19,3	20,1	19,7	20,3	20,1	20,9	21,0	21,1	21,0
Áncash	18,3	a/	18,6	19,9	20,3	20,9	21,3	21,6	20,6	20,7	20,0	20,9	20,1	18,9	18,5	20,0	20,7	20,4	21,5	22,2	22,1	22,2	22,4	20,7
Apurímac	19,5	20,4	19,2	19,5	20,2	20,6	20,5	21,6	21,9	23,4	21,9	21,8	21,5	19,8	20,3	21,0	21,2	...	...	21,5	...	25,0	25,1	23,5
Arequipa	24,1	25,2	24,2	24,5	24,7	23,8	24,5	23,9	24,8	25,2	24,3	24,4	23,5	23,2	22,6	24,3	24,7	23,5	23,9	23,9	24,1	24,5	24,7	23,6
Ayacucho	25,8	26,9	25,1	26,2	26,5	26,8	27,3	27,6	27,5	29,6	28,5	28,5	27,2	25,9	25,5	27,3	27,9	27,0	27,7	28,2	29,6	31,1	31,4	29,5
Cajamarca	20,7	22,4	20,5	21,9	21,8	21,4	22,0	22,6	22,4	22,6	23,3	22,5	21,9	20,7	20,8	21,0	21,5	21,0	21,7	21,8	22,7	22,5	23,5	22,2
Cusco	19,8	20,0	19,6	a/	a/	21,0	22,6	22,8	22,6	22,9	21,7	21,0	20,1	...	20,7	22,2	21,8	20,9	22,5	22,8	23,4	23,6	24,0	...
Huancavelica	15,5	16,4	14,3	16,0	16,5	16,7	17,2	17,6	16,6	18,6	17,6	17,9	16,7	15,1	14,9	16,9	18,1	16,6	17,7	17,9	19,4	20,6	19,7	18,2
Huánuco	25,7	26,7	26,3	27,3	27,6	27,4	27,3	27,9	27,5	28,3	26,5	27,1	27,2	25,6	25,8	28,2	27,5	27,3	27,8	27,0	28,3	28,4	27,8	26,6
Ica	32,5	32,6	32,9	32,1	29,8	24,7	24,9	27,5	28,8	30,2	a/	a/	32,7	32,6	32,9	32,3	29,9	26,3	25,6	26,9	26,9	29,1	30,5	31,6
Junín	18,9	20,3	18,5	19,8	20,0	20,2	20,5	21,3	20,6	21,6	20,4	21,1	20,2	18,9	19,1	19,9	20,5	19,6	20,9	21,0	22,4	23,0	23,2	20,2
La Libertad	26,2	27,2	27,1	24,6	22,4	21,8	21,3	20,5	19,9	20,6	22,2	24,1	26,0	25,7	26,5	22,9	21,6	20,5	19,5	19,3	19,3	19,6	22,0	24,9
Lambayeque	27,5	28,9	29,1	26,0	23,7	23,1	23,1	22,7	22,2	22,1	23,7	25,1	27,0	27,8	28,1	24,7	23,5	22,6	21,7	21,4	21,7	21,7	24,0	27,0
Lima	25,7	26,8	27,5	24,1	20,8	19,2	18,1	17,8	17,5	18,9	20,5	22,8	25,4	26,2	26,2	23,3	20,6	18,9	17,2	17,1	17,8	18,4	21,1	24,6
Loreto	31,4	32,0	31,1	31,7	30,4	31,0	30,9	33,2	33,3	32,9	32,2	32,2	32,8	31,5	30,6	31,5	30,6	31,0	31,7	31,6	33,7	33,2	32,6	32,1
Madre de Dios	31,0	30,4	30,7	30,0	30,2	a/	29,8	33,0	34,5	33,9	30,3	30,5	31,6	30,3	30,1	32,0	30,1	28,8	31,7	31,0	32,7	31,5	32,2	30,7
Moquegua	27,3	28,2	27,1	26,9	27,5	26,5	27,3	26,8	27,2	27,9	27,3	27,2	27,4	27,6	27,6	27,3	27,5	26,1	27,1	27,5	27,1	27,7	27,6	27,0
Pasco	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	10,0	11,8	10,9	10,5	10,3	11,6	12,1	11,6	12,4	12,2	12,4	12,9	13,5	11,3
Piura	33,3	34,2	34,0	32,1	28,6	27,2	27,4	27,9	28,7	29,3	29,7	31,3	...	...	...	...	...	27,9	27,7	28,1	29,0	29,0	30,2	32,6
Puno	15,9	16,0	14,9	15,5	15,5	15,5	15,6	16,2	17,1	18,3	17,9	15,9	15,3	15,1	15,2	16,1	15,9	14,7	15,7	16,0	18,0	18,1	18,5	16,9
San Martín	28,6	28,3	27,2	28,2	29,1	27,6	28,3	29,6	29,7	30,5	a/	a/	29,6	28,0	27,9	28,1	28,1	28,6	29,9	29,0	30,5	30,2	29,9	30,1
Tacna	27,5	27,7	27,1	23,8	21,7	19,0	18,2	18,9	19,3	21,9	23,7	25,3	27,1	27,0	26,5	23,1	20,7	18,8	18,3	19,2	19,4	22,2	24,5	26,7
Tumbes	29,5	30,0	30,1	29,2	27,4	26,8	26,3	25,6	25,4	26,2	26,5	28,3	...	...	...	...	29,3	28,5	26,6	26,3	25,9	25,3	25,1	27,7
Ucayali	31,8	31,8	31,1	31,6	31,9	31,4	31,9	32,6	32,4	33,2	31,2	32,1	31,4	31,5	32,6	32,0	32,2	32,9	33,8	32,3	33,4	32,4	32,8	32,5

a/ No se registró información, debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

ANEXO 12

5. Temperatura mínima promedio anual, según departamento, 2001 – 2022
(Grado Celsius)

Departamento	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Amazonas	10,4	11,9	11,6	10,4	10,4	10,5	10,4	...	10,4	10,7	10,4	10,3	10,6	10,0	9,9	10,0	10,0	9,3	9,8	9,8	9,7	8,2
Áncash	4,3	5,1	5,9	4,6	3,7	3,2	4,2	4,2	5,3	4,1	4,2	4,5	4,7	3,0	4,2	4,5	3,8	4,0	4,6	a/	4,2	3,7
Apurímac	10,1	10,3	11,5	10,2	10,7	10,3	10,3	10,3	10,8	11,0	11,1	6,7	7,8	7,3	6,0	6,7	8,3	8,2	8,9	a/	9,1	9,0
Arequipa	9,7	10,0	11,2	9,4	9,1	9,3	9,0	7,9	8,7	8,8	8,5	8,4	8,0	8,5	10,1	9,8	9,8	9,8	10,1	a/	9,6	9,0
Ayacucho	5,9	7,4	...	8,2	7,5	9,4	10,2	12,0	11,8	10,5	9,9	10,8	10,8	10,1	10,6	10,7	10,1	7,9	7,3	8,4	7,8	6,8
Cajamarca	8,1	8,3	...	7,9	7,5	8,1	7,8	7,9	8,6	8,2	7,8	8,1	8,2	8,4	8,9	8,3	8,5	8,3	8,9	8,6	8,2	8,2
Cusco	3,9	4,4	7,8	3,8	3,3	3,8	3,7	3,5	3,8	4,1	3,9	3,6	3,8	4,3	4,6	4,2	4,5	4,4	4,6	4,6	4,7	3,6
Huancavelica	2,0	2,5	...	3,1	2,4	2,2	2,3	2,4	2,6	1,7	1,4	2,2	2,5	2,7	2,6	1,6	2,6	2,3	2,8	3,8	2,8	2,4
Huánuco	13,8	14,5	...	14,2	14,4	13,3	14,7	14,6	14,9	14,8	14,4	14,1	14,7	14,9	15,0	15,3	15,1	14,4	14,5	15,0	14,7	14,6
Ica	13,8	14,0	13,5	13,8	13,5	14,2	13,3	14,0	14,4	12,8	13,3	13,4	12,5	12,8	15,2	14,6	14,9	14,6	14,4	14,8	13,6	12,6
Junín	4,7	5,2	...	4,7	4,2	4,5	4,7	4,2	4,9	4,5	4,5	4,4	4,6	4,4	4,4	3,8	4,2	4,5	5,1	5,4	5,1	4,3
La Libertad	16,8	17,3	16,8	...	15,2	17,1	16,2	17,7	17,8	16,7	16,7	17,9	16,5	17,8	19,2	17,6	17,7	17,1	17,5	16,5	16,4	15,4
Lambayeque	17,4	18,2	19,3	17,8	18,1	18,8	16,6	18,0	18,1	17,3	17,4	18,5	17,1	18,4	19,7	18,1	18,3	17,8	18,5	17,6	17,2	16,1
Lima	16,8	17,3	17,3	17,3	17,0	17,5	16,3	17,4	17,6	16,9	17,3	18,0	16,8	17,8	19,0	18,3	18,1	17,4	17,6	a/	16,7	16,1
Loreto	22,5	22,7	...	22,6	22,7	22,5	22,8	22,3	22,8	22,7	22,3	22,1	22,3	22,5	23,0	23,1	22,8	22,7	22,9	22,9	23,2	22,7
Madre de Dios	18,1	17,9	18,3	20,2	20,9	20,5	19,7	18,3	19,4	...	21,2	22,7	21,3	21,7	22,5	21,7	21,8	21,5	22,0	22,3	21,4	21,2
Moquegua	12,1	12,0	...	11,7	11,2	11,8	10,9	10,9	11,2	11,0	11,4	11,2	10,6	11,4	11,8	11,6	11,8	11,2	11,7	a/	12,1	10,6
Pasco	...	0,5	1,9	0,2	...	0,2	0,1	-0,1	0,5	0,4	0,2	...	0,6	0,3	0,5	0,3	0,8	0,4	0,4	a/	a/	-0,2
Piura	19,3	20,0	19,4	19,4	19,1	19,9	19,0	19,9	20,3	19,3	19,5	20,4	19,1	20,4	21,6	20,9	20,5	20,1	20,3	a/	19,0	17,5
Puno	3,2	3,6	3,0	3,1	3,0	3,1	3,4	2,6	3,0	3,6	3,5	3,5	3,8	4,2	3,9	4,0	4,0	4,0	4,4	a/	4,0	3,4
San Martín	18,3	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	18,5	18,5	18,9	19,1	18,9	18,7	19,0	19,4	19,0	19,3	19,0	19,0	19,2	a/	19,0	19,0
Tacna	13,9	14,1	...	13,3	13,0	13,9	12,6	13,1	13,6	12,9	13,2	14,0	13,3	13,8	14,9	14,3	14,6	14,3	14,1	14,4	13,3	13,2
Tumbes	21,7	22,6	22,5	22,2	22,1	22,5	22,2	22,4	22,8	22,7	22,6	22,5	22,2	22,7	23,6	23,0	22,2	22,5	23,1	a/	21,8	20,3
Ucayali	20,5	21,0	21,3	20,9	21,1	21,0	21,1	20,9	21,6	21,1	21,2	21,0	21,3	21,3	21,8	21,5	21,5	21,1	21,4	a/	19,4	20,1

a/ No se registró información, debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

ANEXO 13

6. Temperatura mínima promedio mensual, según departamento, 2021 – 2022
(Grado Celsius)

Departamento	2021												2022											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Amazonas	10,2	10,7	10,9	11,1	10,2	9,2	6,9	7,2	9,2	9,6	10,5	10,3	10,1	10,3	10,2	9,5	7,2	6,5	6,5	6,3	8,0	8,8	5,4	9,1
Áncash	6,2	a/	6,1	5,4	3,5	2,5	-0,1	0,8	3,5	6,0	6,0	6,0	6,2	6,7	6,0	5,5	3,6	0,7	0,0	0,5	2,8	3,6	3,6	4,8
Apurímac	10,2	10,3	9,9	9,4	7,8	7,4	6,5	7,5	9,0	10,2	10,4	10,2	8,9	9,5	9,3	9,0	8,3	...	...	7,6	...	9,4	9,6	9,3
Arequipa	12,2	11,9	11,4	10,0	8,5	7,0	7,4	7,1	9,2	9,3	9,4	11,6	11,8	11,3	11,6	8,7	7,4	6,2	7,6	6,8	7,9	7,9	9,8	10,9
Ayacucho	12,3	10,5	11,6	9,2	5,0	3,2	1,5	4,4	7,3	8,5	9,4	10,3	11,3	12,0	11,1	7,4	4,6	2,1	0,7	3,5	6,6	5,7	7,2	9,6
Cajamarca	10,2	8,4	9,4	9,2	7,9	7,1	4,5	6,6	8,0	10,0	8,2	9,4	9,0	9,9	9,8	9,7	7,8	7,0	6,5	6,5	7,2	8,4	7,9	8,8
Cusco	8,3	7,8	7,0	a/	a/	1,1	-1,6	-0,2	2,8	5,9	7,9	7,8	6,8	...	6,9	4,6	2,0	-0,2	-0,8	1,1	4,3	5,5	5,6	...
Huancavelica	4,7	3,3	4,2	3,0	1,0	0,5	0,0	1,1	3,0	4,2	4,3	4,7	4,5	4,5	4,3	2,8	0,7	-0,1	0,7	1,0	1,6	2,6	2,7	3,2
Huánuco	15,8	15,8	15,3	15,5	13,7	13,9	11,8	12,9	14,4	15,6	15,7	16,3	15,9	15,4	15,8	15,4	15,1	11,8	12,4	13,0	14,3	16,0	15,0	15,0
Ica	17,4	17,5	17,9	15,7	11,6	10,9	10,5	10,9	11,3	12,1	a/	a/	16,9	16,4	17,1	14,0	10,4	8,8	9,7	9,5	9,5	10,0	12,4	16,2
Junín	8,4	6,4	7,6	5,7	3,1	2,6	0,1	2,5	4,7	6,5	6,8	7,0	6,7	8,3	7,6	5,0	3,4	0,5	0,3	2,1	4,1	4,4	3,8	5,1
La Libertad	18,3	18,3	19,5	17,1	16,3	17,1	16,0	14,5	14,0	14,4	14,9	16,2	17,9	17,9	18,2	16,6	14,6	13,6	13,3	14,0	13,9	13,7	14,5	17,0
Lambayeque	19,0	20,0	20,7	17,9	17,4	17,3	16,4	15,2	14,8	14,8	15,7	17,0	18,5	18,7	19,0	17,0	15,7	14,7	14,3	14,2	14,2	13,9	15,1	17,8
Lima	19,3	19,6	20,2	17,7	16,3	16,0	15,2	14,3	13,9	14,4	16,2	17,7	19,7	19,2	18,9	16,6	15,3	14,1	13,9	13,3	13,6	13,8	16,1	18,6
Loreto	23,2	23,6	23,0	23,3	23,2	23,3	21,5	22,7	23,0	23,5	23,6	23,9	23,4	23,4	23,4	23,2	23,0	22,3	23,2	21,4	22,3	22,4	21,9	22,7
Madre de Dios	22,2	22,5	22,4	21,1	20,7	...	17,8	19,8	22,6	22,6	21,9	22,3	22,9	21,9	21,0	22,1	20,4	18,2	21,1	19,4	21,1	22,5	21,6	22,7
Moquegua	13,7	13,8	13,7	12,2	11,9	10,7	10,8	10,5	11,3	12,1	11,8	13,2	13,1	12,8	13,6	11,0	10,0	8,3	8,6	9,0	8,1	9,6	10,9	12,7
Pasco	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	1,7	1,8	1,2	1,7	1,9	0,6	0,2	-1,8	-2,6	-1,7	-0,9	-0,1	-0,6	0,0
Piura	21,3	21,8	22,3	20,1	19,1	18,5	17,8	16,9	16,6	16,6	17,5	18,9	...	...	...	...	...	17,0	16,7	16,6	16,6	16,5	18,1	20,8
Puno	5,4	6,1	5,4	4,1	2,4	1,0	0,7	1,6	4,5	5,2	6,1	6,0	5,6	5,8	5,8	3,8	1,9	-1,1	1,2	1,4	2,8	3,1	5,2	5,8
San Martín	19,6	19,8	19,5	19,6	19,1	18,7	17,3	18,1	18,8	19,9	a/	a/	19,6	19,6	19,6	19,6	19,2	18,2	18,6	17,6	18,2	19,5	19,2	19,3
Tacna	17,0	17,3	16,6	14,7	13,0	10,7	10,1	10,3	10,2	10,9	13,0	15,6	16,7	16,5	16,3	13,6	12,3	10,6	10,7	10,3	10,3	11,1	13,9	16,5
Tumbes	23,4	23,7	23,5	23,4	21,9	20,8	20,2	20,1	20,3	21,1	20,8	22,2	...	...	...	...	22,3	21,5	20,3	20,1	19,6	19,4	18,8	20,4
Ucayali	20,4	19,5	18,7	20,0	19,0	19,0	19,7	19,3	19,6	19,3	19,0	19,4	19,0	19,4	20,0	19,6	20,0	19,7	21,0	19,8	20,4	19,7	21,0	21,0

a/ No se registró información, debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

ANEXO 14

C. Humedad

1. Humedad relativa promedio anual, según departamento, 2002 – 2022
(Porcentaje)

Departamento	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Amazonas	83	80	82	85	83	85	88	83	77	77	81	87	83	81	78	79	80	81	79	80	79
Áncash	64	64	68	63	74	77	75	78	81	85	80	77	78	76	75	76	74	68	a/	65	63
Apurímac	91	90	87	94	94	95	93	91	91	93	87	83	79	82	80	81	80	76	a/	74	76
Arequipa	41	41	51	53	56	58	52	57	47	50	54	51	49	48	47	51	48	54	a/	51	50
Ayacucho	58	57	56	57	77	75	70	86	84	78	73	77	77	79	78	63	63	68	67	63	61
Cajamarca	72	70	69	65	64	66	63	69	65	65	65	64	63	63	64	64	62	66	62	65	62
Cusco	80	77	71	75	75	72	64	71	74	76	67	74	68	69	64	68	70	72	70	74	73
Huancavelica	80	77	76	80	79	78	75	77	76	81	84	84	86	85	84	85	86	86	86	81	87
Huánuco	64	63	65	62	64	63	67	65	64	67	65	66	65	64	62	65	66	67	64	64	63
Ica	80	83	81	82	79	80	76	86	84	75	70	68	74	73	68	67	67	70	70	71	69
Junín	66	64	63	61	63	62	60	67	64	65	63	62	59	59	56	58	59	59	59	60	70
La Libertad	82	82	82	80	89	89	86	89	91	91	87	92	91	85	85	86	85	86	91	93	95
Lambayeque	78	80	76	72	71	86	82	83	83	82	81	82	80	81	82	81	82	81	81	83	81
Lima	86	85	89	85	84	87	84	86	85	85	86	86	87	86	85	86	87	88	a/	84	82
Loreto	89	92	90	89	86	86	83	84	84	83	85	85	84	92	90	89	90	87	88	85	86
Madre de Dios	84	82	84	70	88	85	81	86	...	83	83	85	90	93	92	93	93	91	90	91	92
Moquegua	56	66	55	56	58	57	55	57	62	63	61	62	63	65	...	...	74	74	a/	a/	71
Pasco	84	83	79	83	85	84	79	81	75	82	84	86	85	86	85	85	82	81	a/	a/	83
Piura	67	72	72	69	70	74	71	75	76	73	70	75	74	76	72	73	74	74	a/	73	71
Puno	63	62	61	57	62	63	56	55	56	63	61	64	65	68	62	61	62	62	a/	55	47
San Martín	84	84	83	83	83	84	74	83	81	82	82	82	83	83	81	83	84	83	a/	82	80
Tacna	78	75	75	77	78	80	73	75	77	75	75	76	78	80	76	81	83	80	80	87	80
Tumbes	87	88	89	89	89	88	87	91	91	90	85	91	91	78	79	86	82	81	a/	83	87
Ucayali	88	88	89	85	88	88	84	89	90	90	90	88	90	88	88	88	88	89	a/	87	87

a/ No se registró información, debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

ANEXO 15

2. Humedad relativa promedio mensual, según departamento, 2021-2022
(Porcentaje)

Departamento	2021												2022											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Amazonas	82,6	80,2	84,1	83,2	80,8	82,0	74,8	75,1	77,5	82,8	80,6	81,5	78,0	82,0	83,0	84,0	82,0	79,0	76,0	75,0	76,0	78,0	75,0	76,0
Áncash	78,6	a/	76,0	72,0	68,2	57,9	50,3	53,2	58,4	69,3	69,8	65,3	68,0	75,0	81,0	72,0	68,0	55,0	46,0	51,0	60,0	58,0	53,0	67,0
Apurímac	81,0	79,2	81,5	80,6	72,6	71,1	67,4	66,2	67,8	69,2	72,4	75,1	76,0	82,0	81,0	80,0	78,0	...	...	72,0	...	72,0	76,0	70,0
Arequipa	61,9	62,9	68,1	59,0	46,5	45,8	43,0	42,7	41,9	44,6	42,8	53,4	62,0	65,0	72,0	54,0	46,0	43,0	42,0	38,0	38,0	35,0	42,0	60,0
Ayacucho	73,0	70,6	77,3	75,3	69,9	67,4	62,4	55,7	58,2	56,4	32,0	61,8	69,0	75,0	42,0	72,0	69,0	62,0	60,0	61,0	57,0	51,0	53,0	59,0
Cajamarca	73,7	65,6	74,2	69,5	65,5	65,1	55,4	58,7	59,9	70,6	60,6	64,6	62,0	70,0	70,0	70,0	67,0	61,0	56,0	58,0	60,0	56,0	51,0	62,0
Cusco	78,9	80,0	80,4	a/	a/	73,5	65,9	69,6	67,2	72,9	78,2	79,4	81,0	83,0	82,0	78,0	71,0	68,0	69,0	72,0	69,0	68,0	64,0	...
Huancavelica	88,8	87,7	51,0	42,8	89,2	88,3	88,9	87,2	87,5	86,5	87,3	87,8	89,0	89,0	90,0	88,0	88,0	88,0	86,0	87,0	86,0	86,0	86,0	87,0
Huánuco	68,3	65,8	68,9	67,4	63,0	62,2	59,8	57,7	60,9	63,3	68,1	66,4	65,0	70,0	70,0	64,0	63,0	60,0	59,0	61,0	58,0	59,0	62,0	65,0
Ica	65,8	66,0	65,7	71,0	78,9	78,9	75,9	73,3	70,7	66,6	a/	a/	60,0	63,0	62,0	64,0	72,0	79,0	78,0	75,0	75,0	71,0	67,0	66,0
Junín	67,5	58,0	69,7	65,9	60,5	57,5	44,6	53,4	57,6	58,8	61,8	60,9	64,0	70,0	70,0	65,0	59,0	75,0	80,0	80,0	67,0	65,0	69,0	77,0
La Libertad	86,7	91,6	93,6	93,4	94,8	94,8	94,5	94,9	95,0	94,8	92,9	92,0	93,0	94,0	94,0	95,0	94,0	95,0	96,0	96,0	95,0	95,0	95,0	94,0
Lambayeque	79,9	77,7	81,4	82,7	85,1	84,8	84,4	86,8	86,8	83,3	79,6	80,4	80,0	79,0	80,0	84,0	80,0	80,0	83,0	84,0	81,0	82,0	83,0	81,0
Lima	80,1	76,7	76,7	82,5	86,9	86,2	86,5	87,7	88,0	85,9	83,6	81,9	79,0	77,0	77,0	82,0	84,0	84,0	87,0	88,0	85,0	84,0	81,0	80,0
Loreto	87,0	86,9	86,5	85,9	86,6	85,4	84,2	82,1	82,6	85,9	85,9	85,2	83,0	86,0	86,0	85,0	88,0	86,0	86,0	92,0	83,0	84,0	87,0	88,0
Madre de Dios	91,8	92,5	91,6	91,6	92,1	a/	92,3	90,8	89,1	90,2	91,9	91,9	91,0	92,0	92,0	92,0	94,0	93,0	92,0	91,0	88,0	90,0	91,0	93,0
Moquegua	70,7	a/	a/	a/	a/	a/	a/	66,4	66,6	63,9	67,0	74,3	76,0	76,0	79,0	76,0	73,0	73,0	70,0	68,0	65,0	63,0	66,0	73,0
Pasco	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	a/	86,6	85,1	86,0	86,0	86,0	85,0	81,0	85,0	83,0	83,0	81,0	81,0	79,0	83,0
Piura	67,3	65,4	70,1	70,8	77,4	79,8	79,1	75,9	74,9	71,9	69,9	69,8	...	...	...	...	...	71,0	75,0	72,0	72,0	71,0	71,0	68,0
Puno	79,2	67,7	77,2	59,0	50,5	35,2	39,4	34,2	54,2	45,3	49,2	72,6	79,0	78,0	74,0	51,0	34,0	33,0	35,0	32,0	25,0	21,0	34,0	68,0
San Martín	80,5	82,3	85,7	84,3	82,6	84,8	80,3	78,8	78,5	79,7	a/	a/	79,0	84,0	86,0	87,0	84,0	82,0	79,0	77,0	76,0	78,0	76,0	77,0
Tacna	78,7	81,6	86,5	90,7	91,3	90,8	90,5	92,7	91,2	91,5	81,7	78,6	71,0	73,0	74,0	80,0	84,0	85,0	85,0	87,0	85,0	80,0	79,0	75,0
Tumbes	80,1	79,5	79,8	82,1	84,6	83,1	83,0	84,7	84,5	85,1	83,8	81,6	...	...	...	...	85,0	87,0	89,0	87,0	89,0	89,0	88,0	81,0
Ucayali	85,9	86,4	87,6	87,4	86,8	87,6	86,7	85,9	85,9	85,6	87,1	87,0	87,0	87,0	86,0	88,0	88,0	86,0	86,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0

a/ No se registró información, debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

ANEXO 16

12. Índice de radiación ultravioleta máxima mensual en el departamento de Moquegua, 2015-2022
(Índice)

Mes	2015	2016	2017	2018	2022
Enero	13	14	14	13	...
Febrero	13	14	14	14	...
Marzo	12	13	13	13	...
Abril	...	11	10	11	13
Mayo	...	9	9	8	10
Junio	7	8	7	7	8
Julio	8	8	7	7	9
Agosto	10	10	9	9	11
Setiembre	11	12	11	11	13
Octubre	12	14	13	...	14
Noviembre	13	13	12	...	12
Diciembre	13	13	13	...	15

Nota: El año 2019 no cuenta con información disponible, tampoco los años 2020 y 2021 debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Nota: No se dispone de información de los años 2019, 2020 y 2021.

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

13. Índice de radiación ultravioleta promedio mensual en el departamento de Tacna, 2015-2022
(Índice)

Mes	2015	2016	2017	2018	2022
Enero	11	10	9	10	...
Febrero	10	10	9	11	...
Marzo	9	10	9	9	...
Abril	...	7	7	7	...
Mayo	...	6	5	6	...
Junio	5	4	4	4	4
Julio	5	4	4	4	4
Agosto	6	6	6	6	5
Setiembre	8	8	6	8	7
Octubre	9	10	8	8	8
Noviembre	9	10	9	10	8
Diciembre	10	10	9	...	8

Nota: El año 2019 no cuenta con información disponible, tampoco los años 2020 y 2021 debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

14. Índice de radiación ultravioleta máxima mensual en el departamento de Tacna, 2015-2022
(Índice)

Mes	2015	2016	2017	2018	2022
Enero	12	11	11	11	...
Febrero	11	12	11	11	...
Marzo	10	11	10	10	...
Abril	...	9	8	8	...
Mayo	...	7	7	7	...
Junio	6	6	5	5	4
Julio	6	6	5	6	5
Agosto	7	7	7	7	6
Setiembre	9	9	9	9	8
Octubre	10	11	10	10	8
Noviembre	10	11	11	11	9
Diciembre	11	11	11	...	8

Nota: El año 2019 no cuenta con información disponible, tampoco los años 2020 y 2021 debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Nota: No se dispone de información de los años 2019, 2020 y 2021.

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

ANEXO 17

18. Producción de energía eléctrica por tipo de generación, según departamento, 2022
(Gigawatts hora)

Departamento	Total	Hidráulica	Térmica	Solar	Eólica
Total	59 712,6	29 743,8	27 215,9	821,0	1 931,9
Amazonas	48	46	2	-	-
Áncash	2 135	2 010	125	-	-
Apurímac	43	43	0	-	-
Arequipa	1 198	1 019	90	90	-
Ayacucho	12	11	1	-	-
Cajamarca	1 338	1 219	2	-	117
Callao 1/	3 528	-	3 528	-	-
Cusco	1 975	1 865	110	-	-
Huancavelica	9 572	9 571	1	-	-
Huánuco	2 007	2 006	1	-	-
Ica	1 808	-	474	-	1 334
Junín	3 071	3 070	0	-	-
La Libertad	688	89	257	-	342
Lambayeque	74	2	72	-	-
Lima	26 781	6 562	20 217	2	-
Loreto	422	-	422	-	-
Madre de Dios	2	-	2	-	-
Moquegua	1 004	21	310	673	-
Pasco	836	836	0	-	-
Piura	1 589	198	1 251	-	139
Puno	1 057	1 044	13	0	-
San Martín	37	34	3	-	-
Tacna	147	91	0	56	-
Tumbes	13	-	13	-	-
Ucayali	328	5	323	0	-

Nota: Los totales pueden diferir por efectos de redondeo.

1/ Provincia Constitucional.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

ANEXO 18



Centro científico de la UE



Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (PVGIS)

PVGIS proporciona información sobre la radiación solar y el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos para cualquier lugar del mundo, excepto los polos norte y sur.

que hacemos



¿Cuánta electricidad podrían producir las instalaciones fotovoltaicas donde vivo?

¿Cómo cambia la producción a lo largo del año?

¿Cuánto ayuda una batería a utilizar toda la electricidad producida?

©AdobeStock_Wirestock

ANEXO 19

[Visita PVGIS >](#)

[\(https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/\)](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

Herramienta en línea PVGIS

Rendimiento fotovoltaico [\(https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/\)](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

Electricidad producida al año por el rendimiento de un sistema fotovoltaico en cualquier ubicación.

Radiación solar [\(https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR\)](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR)

Series temporales de valores horarios, diarios o mensuales de radiación solar y rendimiento fotovoltaico.

Año meteorológico

típico [\(https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY\)](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY)

Conjunto de datos horarios de nueve variables climáticas durante un año "típico", formateados para herramientas de cálculo de energía de edificios.

Características clave

- Acceso libre y gratuito al potencial de generación de electricidad fotovoltaica (PV) para diferentes tecnologías y configuraciones.
- Disponible en inglés, francés, italiano, español y alemán.
- No hay registro
- Amplia documentación de respaldo: consulte los enlaces al final de esta página.
- ¿Usuario primerizo? Consulte la sección [Primeros pasos](#)
- API para necesidades de acceso rápido y automatizado.
- Mapas de recurso solar y potencial fotovoltaico, por país o región, en archivos listos para imprimir.

Noticias destacadas

ANEXO 20



Anuncio de noticias | 14 de febrero de 2024

La energía fotovoltaica en tejados y más allá puede superar los objetivos preservando al mismo tiempo el medio ambiente [\(/jrc-news-and-updates/pv-rooftops-and-beyond-can-](https://jrc-news-and-updates/pv-rooftops-and-beyond-can-surpass-targets-while-preserving-environment-2024-02-14_en)

[surpass-targets-while-preserving-environment-2024-02-14_en](https://jrc-news-and-updates/pv-rooftops-and-beyond-can-surpass-targets-while-preserving-environment-2024-02-14_en))

La energía fotovoltaica (PV) en tejados y masas de agua, así como a lo largo de carreteras y vías férreas, podría aumentar la capacidad instalada total de la UE a más de 1 TWp.

Empezando con PVGIS [\(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis_en)

[Servicio API no interactivo \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/api-non-interactive-service_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/api-non-interactive-service_en)

[Otras fuentes \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/other-sources_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/other-sources_en)

[Fuentes de datos y métodos de cálculo de PVGIS \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods_en)

[manual de usuario pvgis \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual_en)

[Uso de PVGIS: preguntas frecuentes \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/using-pvgis-frequently-asked-questions_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/using-pvgis-frequently-asked-questions_en)

Descarga de datos PVGIS [\(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download_en)

[CM SAF Radiación Solar \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/cm-saf-solar-radiation_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/cm-saf-solar-radiation_en)

[Mapas nacionales y regionales. \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/country-and-regional-maps_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/country-and-regional-maps_en)

[Radiación solar NSRDB \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/nsrdb-solar-radiation_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/nsrdb-solar-radiation_en)

[PVMAPS \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/pvmaps_en\)](https://photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/pvmaps_en)

ANEXO 21

[Sara Radiación solar \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/sarah-solar-radiation_en\)](#)

[Datos de radiación solar SARAH-2 \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/sarah-2-solar-radiation-data_en\)](#)

Lanzamientos PVGIS ([/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-releases_en\)](#)

[PVGIS 5.2 \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-releases/pvgis-52_en\)](#)

[PVGIS 5.1 \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-releases/pvgis-51_en\)](#)

[PVGIS 5 \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-releases/pvgis-5_en\)](#)

[Historial y corrección de errores \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-releases/history-bug-fixes_en\)](#)

Herramientas PVGIS ([/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-tools_en\)](#)

[Radiación diaria \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-tools/daily-radiation_en\)](#)

[Fotovoltaica conectada a la red \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-tools/grid-connected-pv_en\)](#)

[Perfil del horizonte \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-tools/horizon-profile_en\)](#)

[Radiación horaria \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-tools/hourly-radiation_en\)](#)

[Radiación mensual \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-tools/monthly-radiation_en\)](#)

[Sistemas fotovoltaicos aislados de la red \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-tools/grid-pv-systems_en\)](#)

[Generador de año meteorológico típico \(TMY\) PVGIS \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-tools/pvgis-typical-meteorological-year-tmy-generator_en\)](#)

[Seguimiento de sistemas fotovoltaicos \(/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-tools/tracking-pv-systems_en\)](#)

Información general de PVGIS ([/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-background-information_en\)](#)

ANEXO 22



ANEXO 23

Instituto Nacional de Estadística e Informática
Av. General Garzón N° 658, Jesús María, Lima 11 PERÚ
Teléfonos: (511) 433-8398 431-1340 Fax: 433-3591
Web: www.inei.gob.pe
Octubre, 2023

La información contenida en este documento puede ser reproducida total o parcialmente, siempre y cuando se mencione la fuente de origen: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

ANEXO 24

4 Vivienda y Hogar

La vivienda ocupa un lugar preferente en las condiciones de vida de las personas, porque la calidad de su construcción y la disponibilidad de servicios, entre otros, hacen posible que sus ocupantes tengan una adecuada vida familiar, protegiéndoles además, de las inclemencias climáticas y de otras amenazas naturales. Por ello, es importante presentar información estadística en serie histórica, base para el diseño y ejecución de políticas públicas dirigidas hacia este sector.

En este capítulo se presenta información estadística sobre el tipo de vivienda, la condición de tenencia y la infraestructura física de las viviendas particulares, es decir el material predominante en paredes exteriores, techos y pisos. Además, se muestra información acerca del acceso a los servicios básicos: agua y desagüe, cuya fuente es la Encuesta Nacional de Programas Presupuestales –ENAPRES y para el acceso a energía eléctrica, la fuente es la Encuesta Nacional de Hogares – ENAHO. Ambas encuestas son ejecutadas anualmente por el Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, y sus resultados tienen representatividad nacional y departamental.

Por otro lado, se incorpora información que proporciona el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL relacionado a las Conexiones Facturadas de Agua Potable y Alcantarillado según gerencias y centros de servicio. Además,

ANEXO 25**Compendio Estadístico. PERÚ 2023**

encontramos Información sobre Conexiones de agua potable y alcantarillado registradas por la SuperIntendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS, según empresa prestadora de servicio de saneamiento.

También se incluye datos referentes al registro predial que proporciona la SuperIntendencia Nacional de Registros Públicos - SUNARP. EL Organismo de Formalización de la Propiedad Informal - COFOPRI, por su parte proporciona información sobre la formalización de la propiedad predial en asentamientos humanos, urbanizaciones populares y programas de viviendas del Estado, los que tienen cobertura departamental.

Finalmente, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento brinda Información estadística acerca de créditos hipotecarios para vivienda, así como las viviendas financiadas, la oferta de viviendas aprobadas por el Fondo Mivivienda y los bonos familiares habitacionales otorgados por modalidad de postulación.

ANEXO 26

VIVIENDA Y HOGAR

Compendio Estadístico. PERÚ 2023

A. TIPO Y RÉGIMEN DE TENENCIA DE VIVIENDAS PARTICULARES

4.1 TIPOS DE VIVIENDAS PARTICULARES, 2012-2022

(Porcentaje del total de viviendas particulares)

Tipos de vivienda	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Casa independiente	85,6	86,3	86,4	85,8	86,0	85,4	86,6	85,5	90,1	87,6	86,2
Departamento en edificio	5,6	6,2	6,3	7,2	7,1	7,3	7,0	7,7	6,4	7,3	7,6
Vivienda en quinta	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	1,9	1,9	1,8	1,0	1,2	1,5
Vivienda en casa de vecindad (Callejón, solar o corralón)	5,1	4,4	4,3	4,0	4,3	4,5	3,8	4,5	2,0	3,5	4,3
Chozo o cabaña	1,8	1,4	1,3	1,2	0,9	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
Vivienda improvisada	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Local no destinado para habitación humana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

4.2 VIVIENDAS PARTICULARES COMO CASA INDEPENDIENTE, SEGÚN DEPARTAMENTO, 2012-2022

(Porcentaje del total de viviendas particulares)

Departamento	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Total	85,6	86,3	86,4	85,8	86,0	85,4	86,6	85,5	90,1	87,6	86,2
Amazonas	88,9	91,6	87,9	88,8	89,5	89,5	91,3	88,0	94,4	92,2	91,7
Áncash	96,4	95,9	96,7	96,4	98,3	97,5	99,2	97,7	97,6	98,5	96,9
Apurímac	90,9	93,5	93,0	95,0	91,2	90,6	90,4	89,3	97,9	92,9	90,6
Arequipa	83,3	89,9	87,2	88,2	89,9	90,1	92,5	91,0	96,9	93,5	89,7
Ayacucho	92,4	92,2	90,1	90,3	91,9	92,1	90,6	89,8	92,1	89,2	87,1
Cajamarca	96,1	96,8	94,6	97,7	95,8	95,4	96,0	94,5	96,0	93,7	95,5
Prov. Const. del Callao	82,1	82,8	84,3	84,5	85,9	81,1	81,0	81,1	81,7	78,8	79,3
Cusco	73,3	73,7	73,7	78,9	76,2	75,9	81,2	82,2	91,1	85,6	82,5
Huancavelica	89,0	90,7	91,2	90,4	90,2	91,5	91,5	90,7	96,0	91,9	91,5
Huánuco	90,7	94,7	93,1	93,5	93,7	92,5	92,4	93,3	94,8	95,0	94,3
Ica	93,0	93,8	96,3	96,5	97,4	96,6	96,9	95,2	96,8	97,3	97,2
Junín	81,1	83,4	84,3	84,2	81,6	83,5	84,9	84,9	90,4	87,4	84,3
La Libertad	97,1	95,9	97,7	95,8	97,1	96,9	97,1	97,1	97,8	97,1	95,8
Lambayeque	96,2	96,8	97,9	98,6	97,3	96,7	97,2	96,0	95,7	95,4	93,1
Lima Metropolitana 1/	77,8	75,7	75,3	71,9	73,0	70,4	71,7	70,1	78,4	74,8	73,0
Lima 2/	93,4	94,7	95,8	95,9	95,6	94,6	96,0	95,4	98,0	96,2	95,8
Loreto	71,7	75,6	79,4	82,2	85,3	85,8	89,2	90,3	92,0	93,9	94,3
Madre de Dios	83,1	81,6	82,0	87,8	88,1	85,5	84,5	83,6	89,4	83,5	81,6
Moquegua	92,0	95,4	95,6	97,6	97,7	98,6	98,9	97,0	97,7	96,2	97,6
Pasco	84,4	85,1	85,5	87,6	89,6	92,0	91,2	90,1	94,0	89,8	90,2
Piura	99,2	99,8	99,7	99,5	99,0	99,0	98,7	99,5	99,9	99,6	99,8
Puno	74,1	80,6	80,4	79,7	79,3	82,0	85,8	79,7	89,6	85,2	82,6
San Martín	91,4	95,9	95,9	95,8	96,9	96,9	97,4	98,0	98,5	97,2	98,0
Tacna	88,8	94,2	94,2	94,8	93,7	93,3	94,6	94,0	97,0	94,8	93,4
Tumbes	98,2	98,7	99,4	99,2	98,9	99,4	99,2	98,7	99,7	99,6	99,9
Ucayali	86,9	87,3	87,6	89,7	91,0	93,1	93,5	94,2	95,9	96,1	94,7

Nota: Casa independiente es aquella que tiene salida directa a la calle, camino, carretera, etc. y constituye una sola vivienda.

1/ Denominación establecida mediante Ley N° 31140, las publicaciones estadísticas referidas a la Provincia de Lima se denominarán en adelante, Lima Metropolitana y comprende los 43 distritos.

2/ Denominación establecida mediante Ley N° 31140, las publicaciones estadísticas referidas a la Región Lima, se denominarán en adelante Departamento de Lima y comprende las provincias de: Barranca, Cajatambo, Canta, Cañete, Huaral, Huarochirí, Huaura, Oyón y Yauyos.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

ANEXO 27

Compendio Estadístico. PERÚ 2023**4.3 VIVIENDAS PARTICULARES, SEGÚN CONDICIÓN DE TENENCIA, 2012-2022**

(Porcentaje del total de viviendas particulares)

Condición de tenencia	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Alquilada	8,9	9,0	8,9	9,3	9,5	9,3	9,6	9,8	9,6	10,0	10,4
Propia, totalmente pagada	68,6	69,7	69,7	69,1	67,7	68,4	69,4	69,7	69,5	66,4	66,6
Propia, por invasión	5,7	5,8	5,3	5,0	5,4	5,0	4,7	4,2	5,4	6,1	5,6
Propia, comprándola a plazos	0,6	0,5	0,8	0,6	0,9	0,8	0,6	0,5	0,7	0,8	0,8
Cedida por el centro de trabajo	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2
Cedida por otro hogar o institución	15,6	14,6	14,9	15,4	16,0	16,1	15,3	15,5	14,5	16,4	16,2
Otra forma 1/	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1

1/ Comprende anticresis.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

ANEXO 28



ANEXO 29

MARTÍN VIZCARRA CORNEJO
Presidente Constitucional de la República

**PRESIDENCIA DEL
CONSEJO DE MINISTROS**

CÉSAR VILLANUEVA ARÉVALO
Presidente

**INSTITUTO NACIONAL DE
ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA**

FRANCISCO COSTA APONTE
Jefe

ANÍBAL SÁNCHEZ AGUILAR
Subjefe

NANCY HIDALGO CALLE
Directora Técnica
Dirección Técnica de Demografía
e Indicadores Sociales

GASPAR MORÁN FLORES
Director Nacional
Dirección Nacional de Censos y Encuestas

LEY DE ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES DEL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

DECRETO LEGISLATIVO N° 604

- Artículo 1° Los Sistemas Nacionales de Estadística e Informática tienen por finalidad asegurar, en los respectivos campos, que sus actividades se desarrollen en forma integrada, coordinada y racionalizada y bajo una normatividad técnica común, contando para ello con autonomía técnica y gestión.
- Artículo 2° Son objetivos de los Sistemas Nacionales de Estadística e Informática:
- a. Normar las actividades de estadística e informática oficial.
 - b. Coordinar, integrar y racionalizar las actividades de Estadísticas e Informática; y
 - c. Promover la capacitación, investigación y desarrollo de las actividades de Estadística e Informática.
- Artículo 3° Los ámbitos de competencia de los Sistemas Nacionales de Estadística e Informática son:
- a. Del Sistema Nacional de Estadística
Los levantamientos censales, estadísticas continuas, las encuestas por muestreo, las estadísticas de población, los indicadores e índices en general, las cuentas nacionales y regionales, los esquemas macroestadísticos, análisis e investigación. Corresponde a éste las tareas técnicas y científicas que se desarrollan con fines de cuantificar y proyectar los hechos económicos y sociales para producir las estadísticas oficiales del país.

ANEXO 30

CUADRO N° 6.8
PERÚ: HOGARES NUCLEARES EN VIVIENDAS PARTICULARES CON OCUPANTES PRESENTES,
SEGÚN DEPARTAMENTO, 2007 Y 2017
(Absoluto y porcentaje)

Departamento	Censo 2007			Censo 2017			Variación intercensal 2007 - 2017		Tasa de crecimiento promedio anual
	Total de Hogares	Hogar Nuclear	%	Total de Hogares	Hogar Nuclear	%	Absoluto	%	
Total	6 754 074	3 577 316	53.0	8 252 284	4 451 706	53.9	874 390	24.4	2.2
Amazonas	90 645	51 810	57.2	107 364	65 123	60.7	13 313	25.7	2.3
Ancash	260 087	142 364	54.7	313 661	174 747	55.7	32 383	22.7	2.1
Apurímac	106 445	62 286	58.5	126 048	76 169	60.4	13 883	22.3	2.0
Arequipa	309 892	161 274	52.0	425 522	214 099	50.3	52 825	32.8	2.9
Ayacucho	163 147	85 134	52.2	185 681	102 365	55.1	17 231	20.2	1.9
Cajamarca	333 311	191 377	57.4	395 608	246 857	62.4	55 480	29.0	2.6
Prov. Const. del Callao	216 252	108 069	50.0	266 228	133 656	50.2	25 587	23.7	2.1
Cusco	303 974	166 861	54.9	354 869	207 205	58.4	40 344	24.2	2.2
Huancavelica	112 817	67 462	59.8	106 018	63 114	59.5	- 4 348	-6.4	-0.7
Huánuco	180 731	98 111	54.3	203 451	114 692	56.4	16 581	16.9	1.6
Ica	180 828	100 758	55.7	238 038	129 267	54.3	28 509	28.3	2.5
Junín	303 218	163 455	53.9	349 713	197 283	56.4	33 828	20.7	1.9
La Libertad	384 842	203 616	52.9	474 027	256 226	54.1	52 610	25.8	2.3
Lambayeque	254 488	136 778	53.7	308 987	165 815	53.7	29 037	21.2	1.9
Lima	2 075 091	1 026 014	49.4	2 611 122	1 308 848	50.1	282 834	27.6	2.5
Loreto	176 046	86 470	49.1	196 685	102 912	52.3	16 442	19.0	1.8
Madre de Dios	27 494	12 544	45.6	41 412	21 235	51.3	8 691	69.3	5.4
Moquegua	49 099	25 239	51.4	59 002	31 075	52.7	5 836	23.1	2.1
Pasco	66 889	37 946	56.7	69 197	40 162	58.0	2 216	5.8	0.6
Piura	389 685	229 924	59.0	492 686	296 479	60.2	66 555	28.9	2.6
Puno	363 432	203 609	56.0	414 969	220 779	53.2	17 170	8.4	0.8
San Martín	173 646	94 992	54.7	222 664	131 232	58.9	36 240	38.2	3.3
Tacna	84 819	42 907	50.6	104 478	52 471	50.2	9 564	22.3	2.0
Tumbes	50 005	29 970	59.9	62 598	36 964	59.0	6 994	23.3	2.1
Ucayali	97 191	48 346	49.7	122 256	62 931	51.5	14 585	30.2	2.7
Provincia de Lima 1/	1 860 569	912 653	49.1	2 353 950	1 173 193	49.8	260 540	28.5	2.5
Región Lima 2/	214 522	113 361	52.8	257 172	135 655	52.7	22 294	19.7	1.8

1/ Comprende los 43 distritos de la provincia de Lima.

2/ Comprende las provincias: Barranca, Cajatambo, Canta, Cañete, Huaral, Hurochiri, Huaura, Oyón y Yauyos.

Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda 2007 y 2017.

6.2.2. Hogares extendidos

Los resultados del Censo de 2017, revelan que existe en el país 1 millón 701 mil 64 hogares extendidos, representando el 20,6% del total de hogares.; mientras que el Censo de 2007 determinó que fue el 25,1% del total de hogares de ese año.

Por departamento, Loreto (29,1%), Ucayali (26,8%), la Provincia Constitucional del Callao y Lambayeque (26,0%, en cada caso), la provincia de Lima (24,2%), La Libertad (23,3%), Ica y la región Lima (21,9% en cada caso) presentan las mayores proporciones de hogares de este tipo y superan el promedio nacional (20,6%). Mientras que, las menores proporciones con este tipo de hogar se encuentran en Puno (9,4%), Huancavelica (11,6%) y Apurímac (12,1%).

ANEXO 31

CUADRO N° 6.9
 PERÚ: HOGARES EXTENDIDOS EN VIVIENDAS PARTICULARES CON OCUPANTES PRESENTES,
 SEGÚN DEPARTAMENTO, 2007 Y 2017
 (Absoluto y porcentaje)

Departamento	Censo 2007			Censo 2017			Variación intercensal 2007 - 2017		Tasa de crecimiento promedio anual
	Total de Hogares	Hogar Extendido	%	Total de Hogares	Hogar Extendido	%	Absoluto	%	
Total	6 754 074	1 695 898	25.1	8 252 284	1 701 064	20.6	5 166	0.3	0.0
Amazonas	90 645	21 225	23.4	107 364	17 644	16.4	- 3 581	-16.9	-1.8
Ancash	260 087	67 223	25.8	313 661	60 688	19.3	- 6 535	-9.7	-1.0
Apurímac	106 445	18 925	17.8	126 048	15 269	12.1	- 3 656	-19.3	-2.1
Arequipa	309 892	67 911	21.9	425 522	77 015	18.1	9 104	13.4	1.3
Ayacucho	163 147	31 854	19.5	185 681	27 277	14.7	- 4 577	-14.4	-1.5
Cajamarca	333 311	83 378	25.0	395 608	63 816	16.1	- 19 562	-23.5	-2.6
Prov. Const. del Callao	216 252	62 737	29.0	266 228	69 336	26.0	6 599	10.5	1.0
Cusco	303 974	58 391	19.2	354 869	51 968	14.6	- 6 423	-11.0	-1.2
Huancavelica	112 817	19 571	17.3	106 018	12 322	11.6	- 7 249	-37.0	-4.5
Huánuco	180 731	43 098	23.8	203 451	36 682	18.0	- 6 416	-14.9	-1.6
Ica	180 828	43 954	24.3	238 038	52 147	21.9	8 193	18.6	1.7
Junín	303 218	72 020	23.8	349 713	67 017	19.2	- 5 003	-6.9	-0.7
La Libertad	384 842	105 886	27.5	474 027	110 618	23.3	4 732	4.5	0.4
Lambayeque	254 488	75 324	29.6	308 987	80 362	26.0	5 038	6.7	0.6
Lima	2 075 091	579 263	27.9	2 611 122	626 635	24.0	47 372	8.2	0.8
Loreto	176 046	59 204	33.6	196 685	57 324	29.1	- 1 880	-3.2	-0.3
Madre de Dios	27 494	5 359	19.5	41 412	7 004	16.9	1 645	30.7	2.7
Moquegua	49 099	8 907	18.1	59 002	8 568	14.5	- 339	-3.8	-0.4
Pasco	66 889	14 636	21.9	69 197	10 645	15.4	- 3 991	-27.3	-3.1
Piura	389 685	99 816	25.6	492 686	100 967	20.5	1 151	1.2	0.1
Puno	363 432	56 458	15.5	414 969	38 990	9.4	- 17 468	-30.9	-3.6
San Martín	173 646	44 075	25.4	222 664	46 325	20.8	2 250	5.1	0.5
Tacna	84 819	16 303	19.2	104 478	17 016	16.3	713	4.4	0.4
Tumbes	50 005	11 687	23.4	62 598	12 635	20.2	948	8.1	0.8
Ucayali	97 191	28 693	29.5	122 256	32 794	26.8	4 101	14.3	1.3
Provincia de Lima 1/	1 860 569	524 538	28.2	2 353 950	570 428	24.2	45 890	8.7	0.8
Región Lima 2/	214 522	54 725	25.5	257 172	56 207	21.9	1 482	2.7	0.3

1/ Comprende los 43 distritos de la provincia de Lima.

2/ Comprende las provincias: Barranca, Cajatambo, Canta, Cañete, Huaral, Huarochiri, Huaura, Oyón y Yauyos.

Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda 2007 y 2017.

6.2.3. Hogares compuestos

Los hogares compuestos son los constituidos por un hogar nuclear o extendido al que se le agregan otras personas que no están ligadas por lazos de parentesco alguno (excluyendo a trabajadores del servicio doméstico).

De acuerdo a los resultados de Censo de 2017, el país tiene 204 mil 418 hogares compuestos, que representa el 2,5% del total de hogares de este tipo. Con relación al Censo de 2007, se observa una disminución de 79 mil 206 hogares (27,9%).

ANEXO 32

CUADRO N° 6.19
 PERÚ: HOGARES EN VIVIENDAS PARTICULARES CON OCUPANTES PRESENTES, POR NÚMERO
 DE PERSONAS EN EL HOGAR, SEGÚN DEPARTAMENTO, 2017
 (Absoluto)

Departamento	Total	Número de personas por hogar				
		1	2	3 a 4	5 a 6	7 y más
Total	8 252 284	1 384 143	1 472 190	3 267 983	1 659 192	468 776
Amazonas	107 364	17 237	19 725	44 071	20 683	5 648
Ancash	313 661	56 620	60 523	120 868	59 011	16 639
Apurímac	126 048	28 150	26 920	45 610	20 811	4 557
Arequipa	425 522	94 458	79 605	165 852	69 416	16 191
Ayacucho	185 681	42 485	36 544	65 789	32 417	8 446
Cajamarca	395 608	62 074	79 144	166 628	70 879	16 883
Prov. Const. del Callao	266 228	36 337	43 438	109 958	58 550	17 945
Cusco	354 869	70 812	69 829	134 878	63 825	15 525
Huancavelica	106 018	25 676	21 316	34 975	18 574	5 477
Huánuco	203 451	37 157	36 879	77 914	40 213	11 288
Ica	238 038	38 490	41 480	97 591	47 102	13 375
Junín	349 713	59 642	62 407	136 298	72 968	18 398
La Libertad	474 027	62 647	78 892	194 117	105 224	33 147
Lambayeque	308 987	37 279	49 093	123 562	73 674	25 379
Lima	2 611 122	384 062	454 082	1 072 673	544 518	155 787
Loreto	196 685	19 699	25 942	68 168	57 858	25 018
Madre de Dios	41 412	9 302	7 183	15 588	7 398	1 941
Moquegua	59 002	15 599	12 951	22 057	7 144	1 251
Pasco	69 197	13 163	12 084	26 457	13 928	3 565
Piura	492 686	63 417	79 657	202 482	115 853	31 277
Puno	414 969	128 617	89 201	135 225	52 017	9 909
San Martín	222 664	30 119	36 801	95 125	48 024	12 595
Tacna	104 478	25 754	20 941	39 736	14 812	3 235
Tumbes	62 598	9 235	10 149	27 337	12 835	3 042
Ucayali	122 256	16 112	17 404	45 024	31 458	12 258
Provincia de Lima 1/	2 353 950	336 756	409 262	971 454	495 707	140 771
Región Lima 2/	257 172	47 306	44 820	101 219	48 811	15 016

1/ Comprende los 43 distritos de la provincia de Lima.

2/ Comprende las provincias: Barranca, Cajatambo, Canta, Cañete, Huaral, Huarochiri, Huaura, Oyón y Yauyos.

Fuente: INEI - Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda.

El Censo de 2017 revela que los hogares tienen en promedio 3,5 miembros, en tanto en el 2007 eran 4 miembros en promedio por hogar. Según área de residencia en la zona rural el promedio es de 3,2 miembros y en la urbana 3,5. Según departamento Loreto (4,3) y Ucayali (4,0) presentan mayor cantidad de miembros por hogar.

ANEXO 33

CUADRO N° 6.20
 PERÚ: PROMEDIO DE MIEMBROS DEL HOGAR, POR ÁREA DE RESIDENCIA,
 SEGÚN DEPARTAMENTO, 2007 Y 2017
 (Personas)

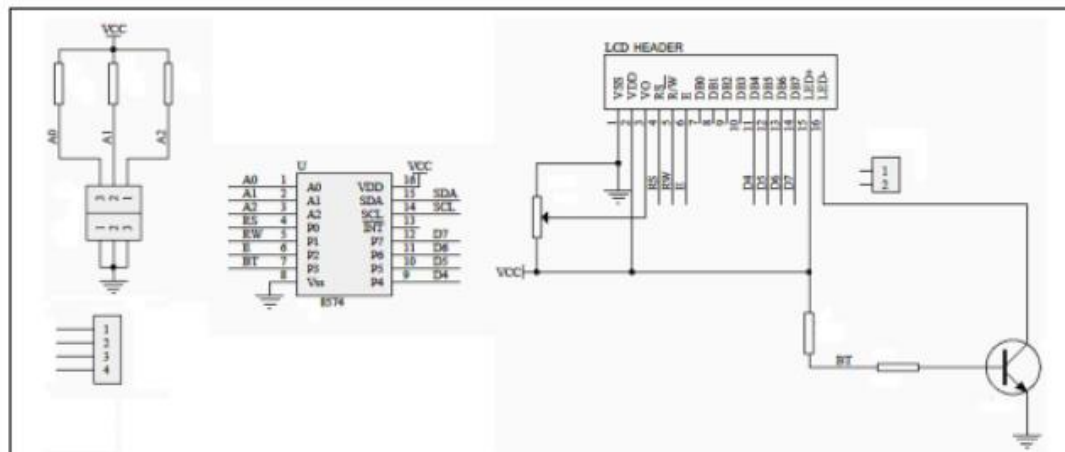
Departamento	Censo 2007			Censo 2017		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
Total	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,2
Amazonas	4,1	3,8	4,3	3,4	3,3	3,5
Ancash	4,0	4,0	4,0	3,3	3,4	3,2
Apurímac	3,8	3,8	3,7	3,1	3,2	3,0
Arequipa	3,6	3,7	3,2	3,1	3,2	2,6
Ayacucho	3,7	3,9	3,5	3,2	3,4	2,9
Cajamarca	4,1	3,9	4,2	3,3	3,4	3,3
Prov. Const. del Callao	4,0	4,0	-	3,7	3,7	-
Cusco	3,8	3,7	3,8	3,2	3,3	3,1
Huancavelica	4,0	4,0	4,0	3,1	3,3	3,1
Huánuco	4,2	4,0	4,2	3,4	3,5	3,3
Ica	3,9	3,9	3,6	3,5	3,5	3,0
Junín	4,0	4,0	4,0	3,4	3,5	3,3
La Libertad	4,1	4,1	4,2	3,7	3,7	3,5
Lambayeque	4,3	4,2	4,7	3,8	3,8	4,0
Lima	4,0	4,0	3,5	3,6	3,6	2,9
Loreto	5,0	4,8	5,2	4,3	4,2	4,4
Madre de Dios	3,7	3,7	3,7	3,2	3,2	3,1
Moquegua	3,2	3,2	3,0	2,8	2,9	2,1
Pasco	4,1	4,0	4,2	3,4	3,3	3,5
Piura	4,3	4,2	4,4	3,7	3,7	3,6
Puno	3,4	3,6	3,3	2,7	3,1	2,4
San Martín	4,1	4,0	4,2	3,6	3,5	3,7
Tacna	3,3	3,4	2,9	3,7	3,7	2,3
Tumbes	3,9	3,9	3,8	3,5	3,5	3,3
Ucayali	4,3	4,3	4,3	4,0	4,0	3,9
Provincia de Lima 1/	4,0	4,0	3,5	3,6	3,6	3,4
Región Lima 2/	3,8	4,0	3,5	3,4	3,5	2,9

1/ Comprende los 43 distritos de la provincia de Lima.

2/ Comprende las provincias: Barranca, Cajatambo, Canta, Cañete, Hualal, Huarochiri, Huaura, Oyón y Yauyos.

Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda 2007 y 2017.

ANEXO 34



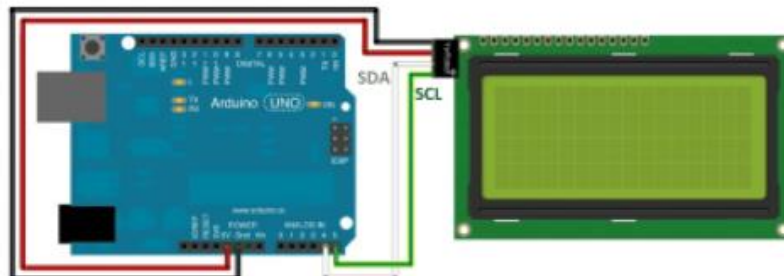
Reference circuit diagram of the I2C-to-LCD piggy-back board.

I2C LCD Display.

At first you need to solder the I2C-to-LCD piggy-back board to the 16-pins LCD module. Ensure that the I2C-to-LCD piggy-back board pins are straight and fit in the LCD module, then solder in the first pin while keeping the I2C-to-LCD piggy-back board in the same plane with the LCD module. Once you have finished the soldering work, get four jumper wires and connect the LCD module to your Arduino as per the instruction given below.



LCD display to Arduino wiring.



ANEXO 35

	REV	DESCRIPTION	Section	Engineer	Checked	Date
A2	Revised drawings, delete the part size		A4 - B3	Leo	Zhouqh	2016.03.03

1. Clip Force : 65±10 LBF
 2.It's natural round in all corners and edges. that not marked with texts
 3.RoHS-PRODUCT SHOULD Be RoHS COMPLIANT

Item	Part No.	Part Name	Material	Qty	Remark
7		Fan LABEL	PBT	1	
6	59001290-QP3	InterFace	TC-5650	017g	T=0.15-0.22mm
5	30002012-QP	P-Ring	SK7	4	Plating-Ni
4	49002490-QP3	Sprihg	SWP-B	4	Plating-Ni
3	15003000-QP3	Screw	AISI1018	4	Plating-Ni
2	PA10025M12P-A01	Fan		1	
1	60002730-QP3	HS	AL-CU	1	

DESIGN Leo Peng DATE: 2016/03/03 ENGINEER	TOL ± General tolerance: Don't use the crossed lines
RANGE Leo Peng DATE: 2016/03/03 CHECKED Zhouqh DATE: 2016/03/03 APPROVED Zhouqh DATE: 2016/03/03	COOLER MASTER CD, LTD.

Scale: 1:1, 2:1, 3:1

Sheet: 1/8

File Name: 10301R042-ASM-A2

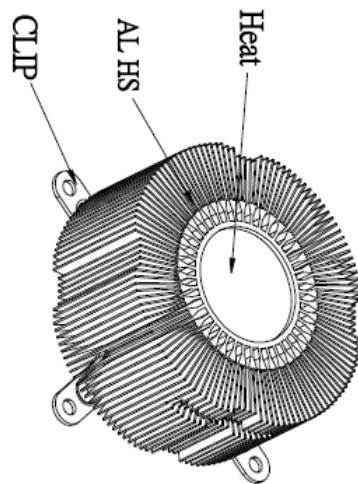
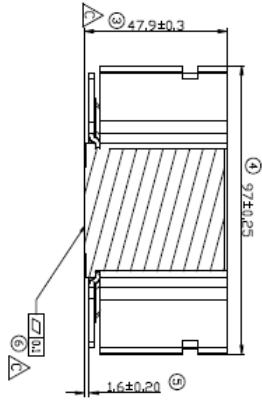
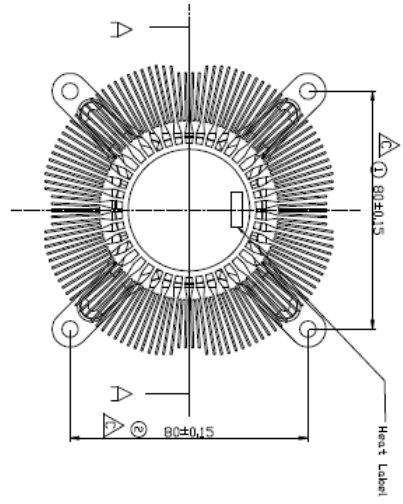
Part Name: HS

Material: AL-CU

Qty: 1

Remark:

ANEXO 36



1.It's natural round in all corners and edges that not marked with texts
 3.RoHS-PRODUCT SHOULD Be RoHS COMPLIANT

Item	Part No.	Part Name	Material	Qty	Remark
4	4800290-QP3	Heat label	PBT	1	
3	266000920-QP3	CLIP	AlSi10M5	1	Plating-NI
2	266000920-QP3	Heat	CU20	1	Cleaning
1	260087801-QP3	AL HS	AL 6063 T5	1	

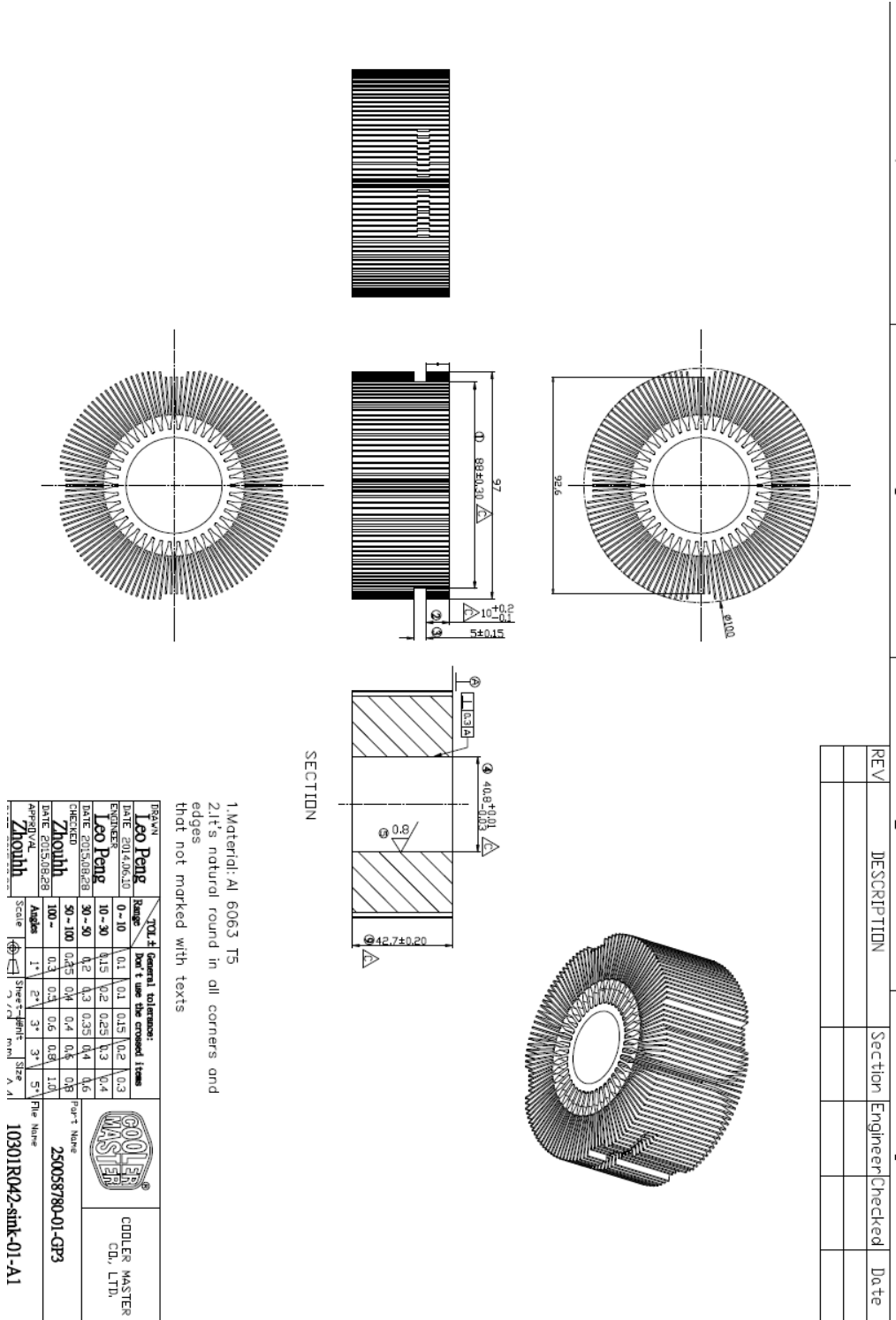
DESIGN	Leo Peng	DATE	2016/03/03
ENGINEER <td>Leo Peng <td>DATE <td>2016/03/03</td> </td></td>	Leo Peng <td>DATE <td>2016/03/03</td> </td>	DATE <td>2016/03/03</td>	2016/03/03
CHECKED <td>Zhouhh <td>DATE <td>2016/03/03</td> </td></td>	Zhouhh <td>DATE <td>2016/03/03</td> </td>	DATE <td>2016/03/03</td>	2016/03/03
APPROVAL <td>Zhouhh <td>DATE <td>2016/03/03</td> </td></td>	Zhouhh <td>DATE <td>2016/03/03</td> </td>	DATE <td>2016/03/03</td>	2016/03/03

TOL.±		General tolerances:	
Range	Part	Part	Part
0-10	0.1	0.1	0.2
10-30	0.15	0.2	0.3
30-50	0.2	0.25	0.4
50-100	0.25	0.3	0.4
100-	0.3	0.4	0.5

Scale	Sheet-Print	Size	File Name
2/8	m/m	A4	10301R042-HS-A2

COOLER MASTER	
COOLER MASTER	CD, LTD.

ANEXO 37



REV	DESCRIPTION	Section	Engineer	Checked	Date

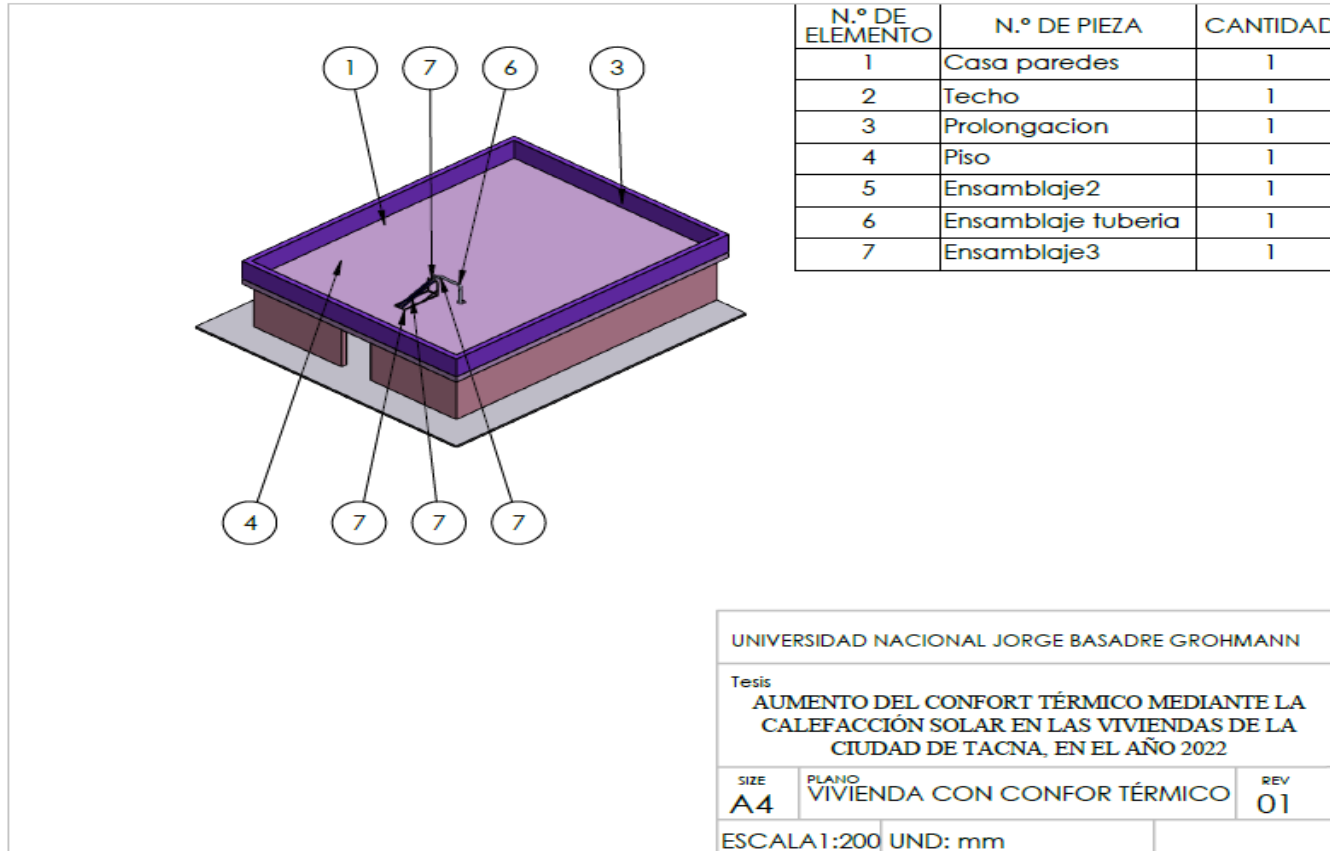
1. Material: Al 6063 T5
 2. It's natural round in all corners and edges
 that not marked with texts

DRAWN		TOLERANCES		GOLDEN MASTER		PART NAME	
NAME	RANGE	ISO	ASME	FILE	SIZE	CD, LTD.	250058780-01-GP3
Leo Peng	0-10	0.1	0.1	0.15	0.2	0.3	
Leo Peng	10-30	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	
Zhouhh	30-100	0.2	0.3	0.35	0.4	0.5	
Zhouhh	100-	0.3	0.4	0.5	0.6	1.0	
DATE	2015.08.28						
APPROVAL	Zhouhh	Scale	1"	2"	3"	5"	File Name
		Sheet	1/1	2/1	3/1	4/1	10301RM2-sink-01-A1

ANEXO 38



ANEXO 39



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Casa paredes	1
2	Techo	1
3	Prolongacion	1
4	Piso	1
5	Ensamblaje2	1
6	Ensamblaje tuberia	1
7	Ensamblaje3	1

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis

AUMENTO DEL CONFORT TÉRMICO MEDIANTE LA
CALEFACCIÓN SOLAR EN LAS VIVIENDAS DE LA
CIUDAD DE TACNA, EN EL AÑO 2022

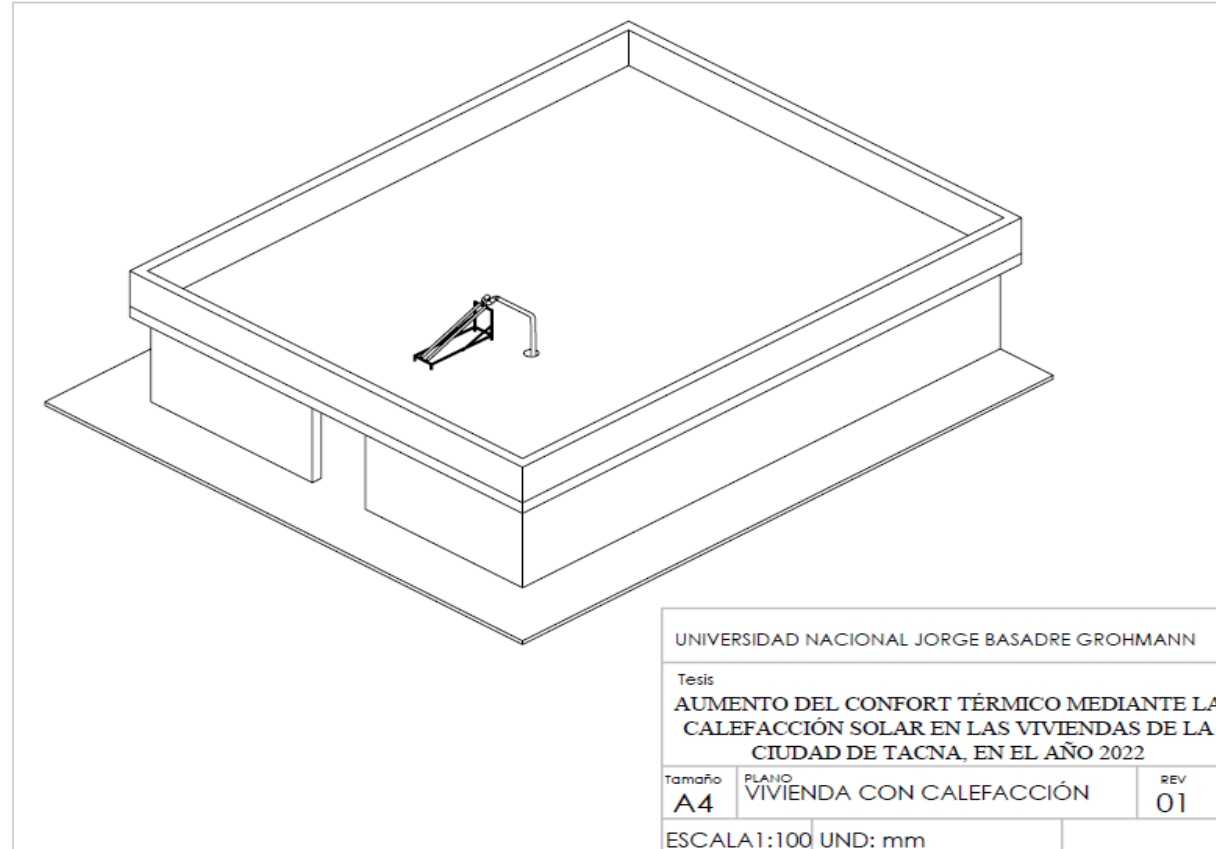
SIZE
A4

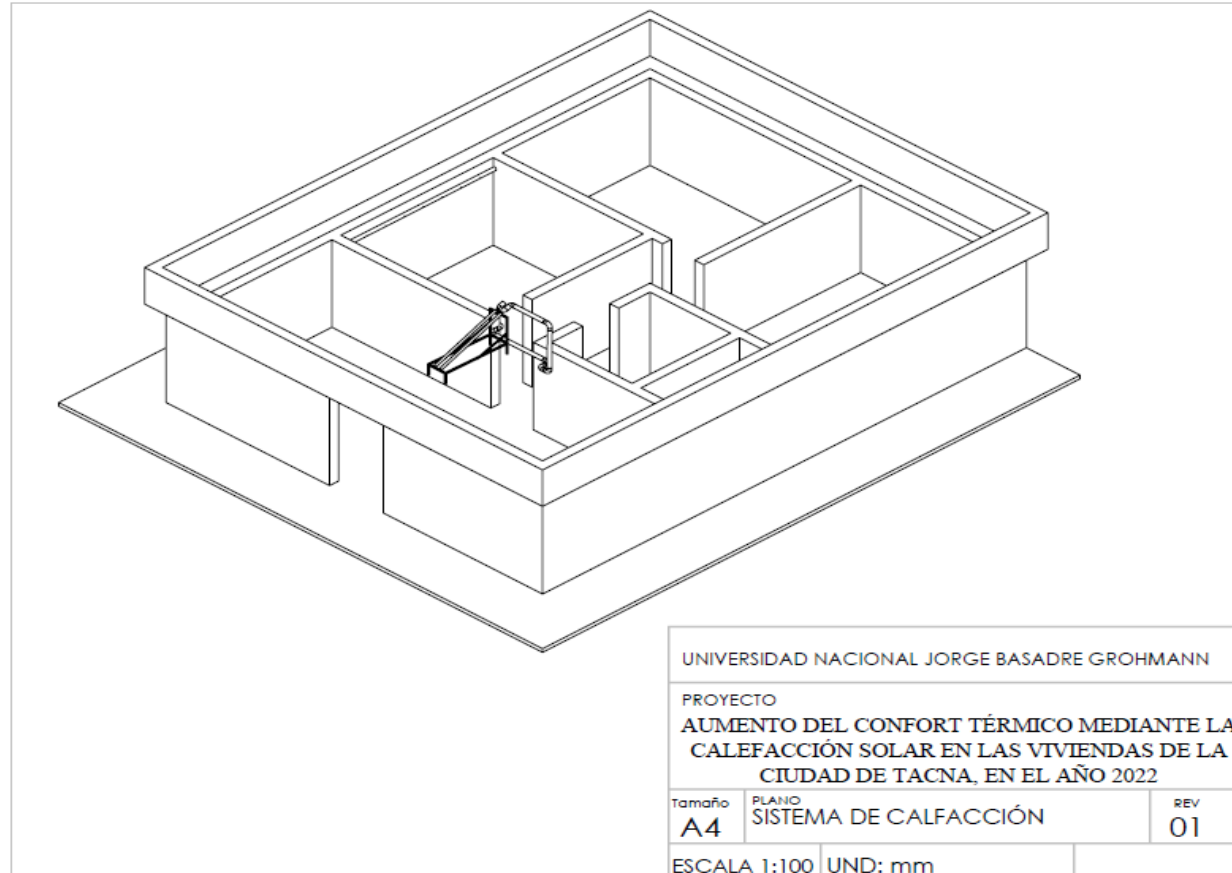
PLANO
VIVIENDA CON CONFOR TÉRMICO

REV
01

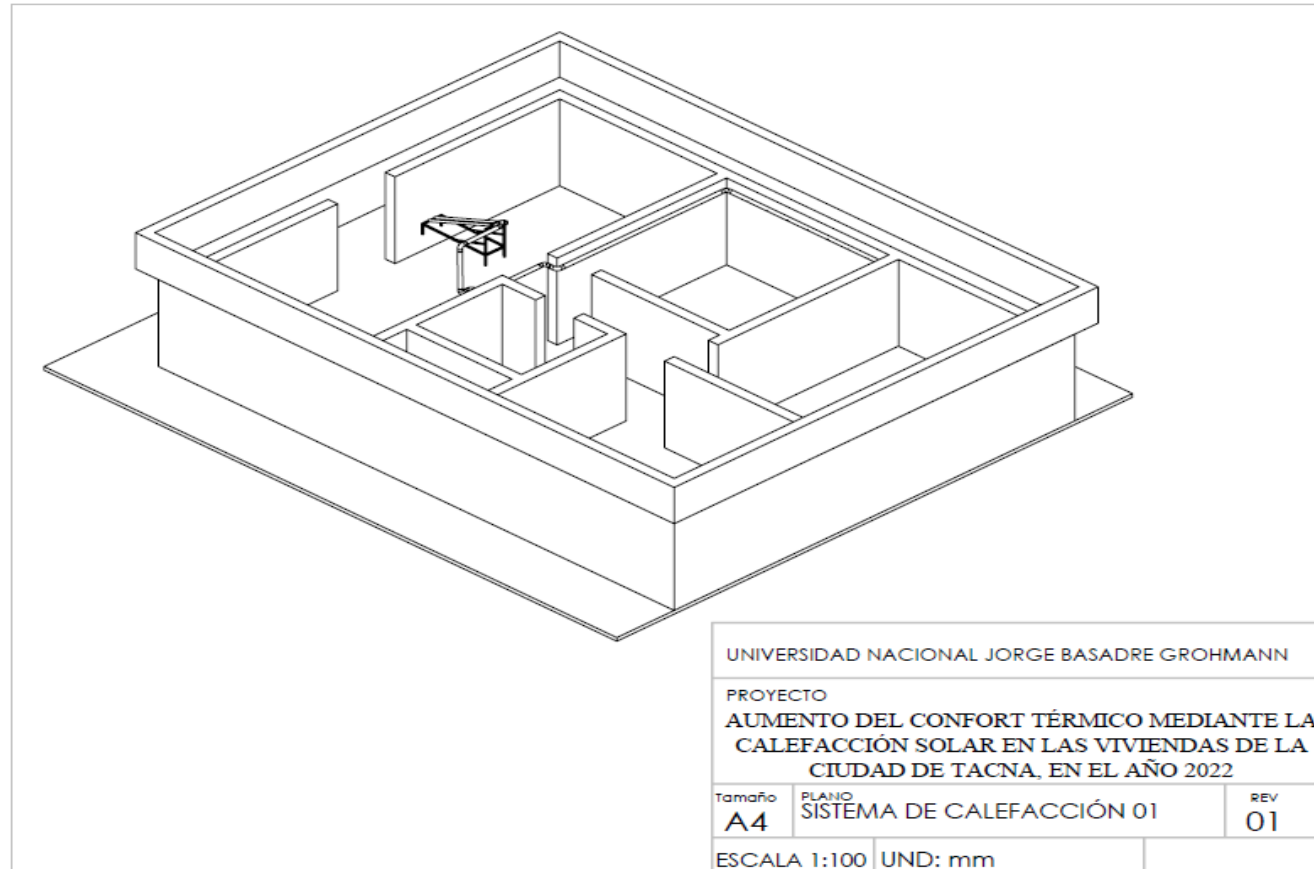
ESCALA 1:200 UND: mm

ANEXO 40

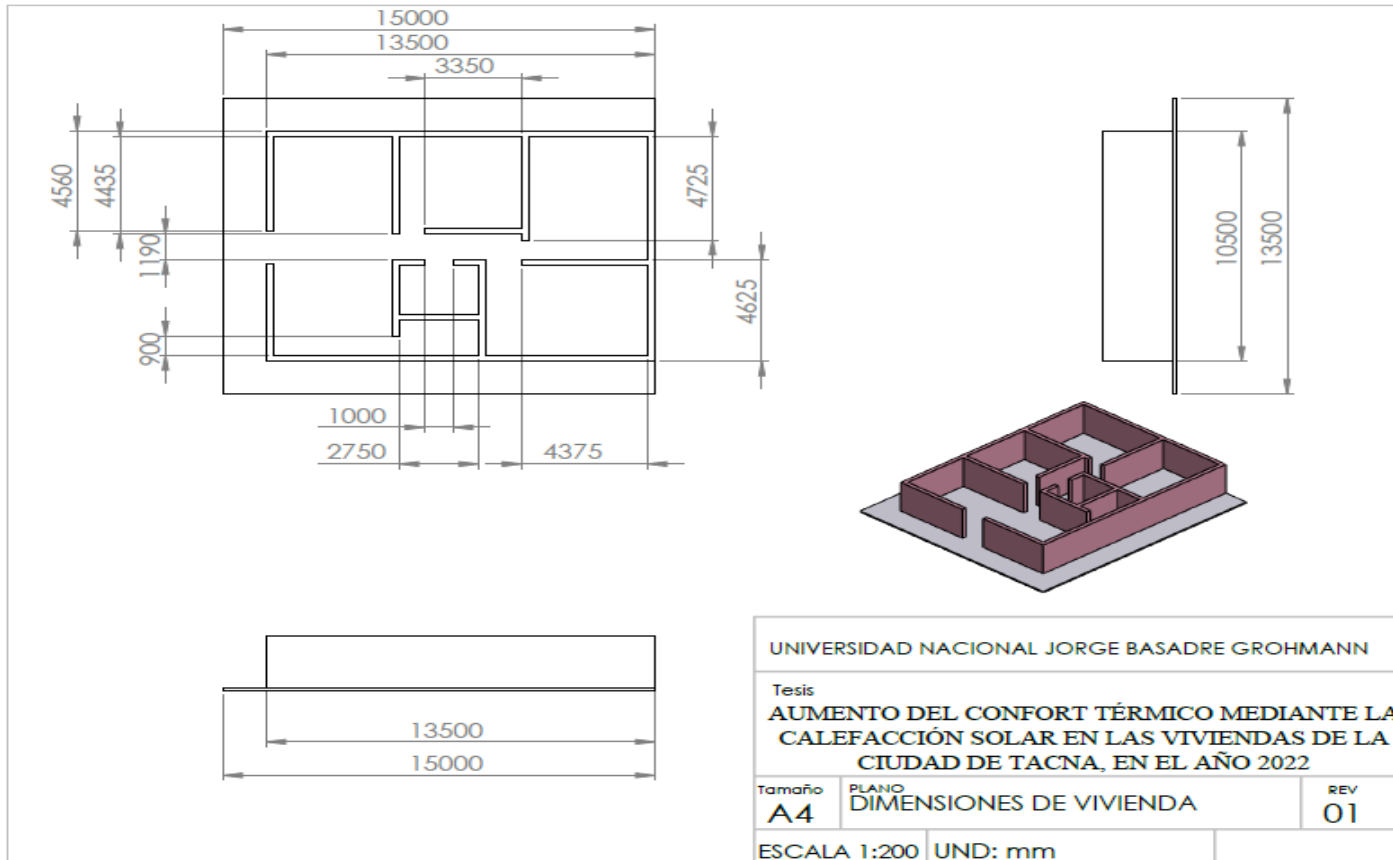


ANEXO 41

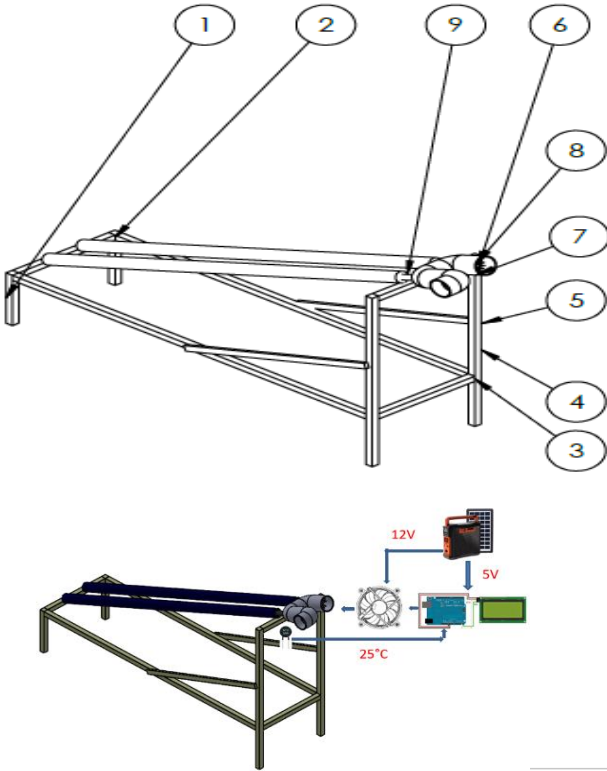
ANEXO 42



ANEXO 43



ANEXO 44

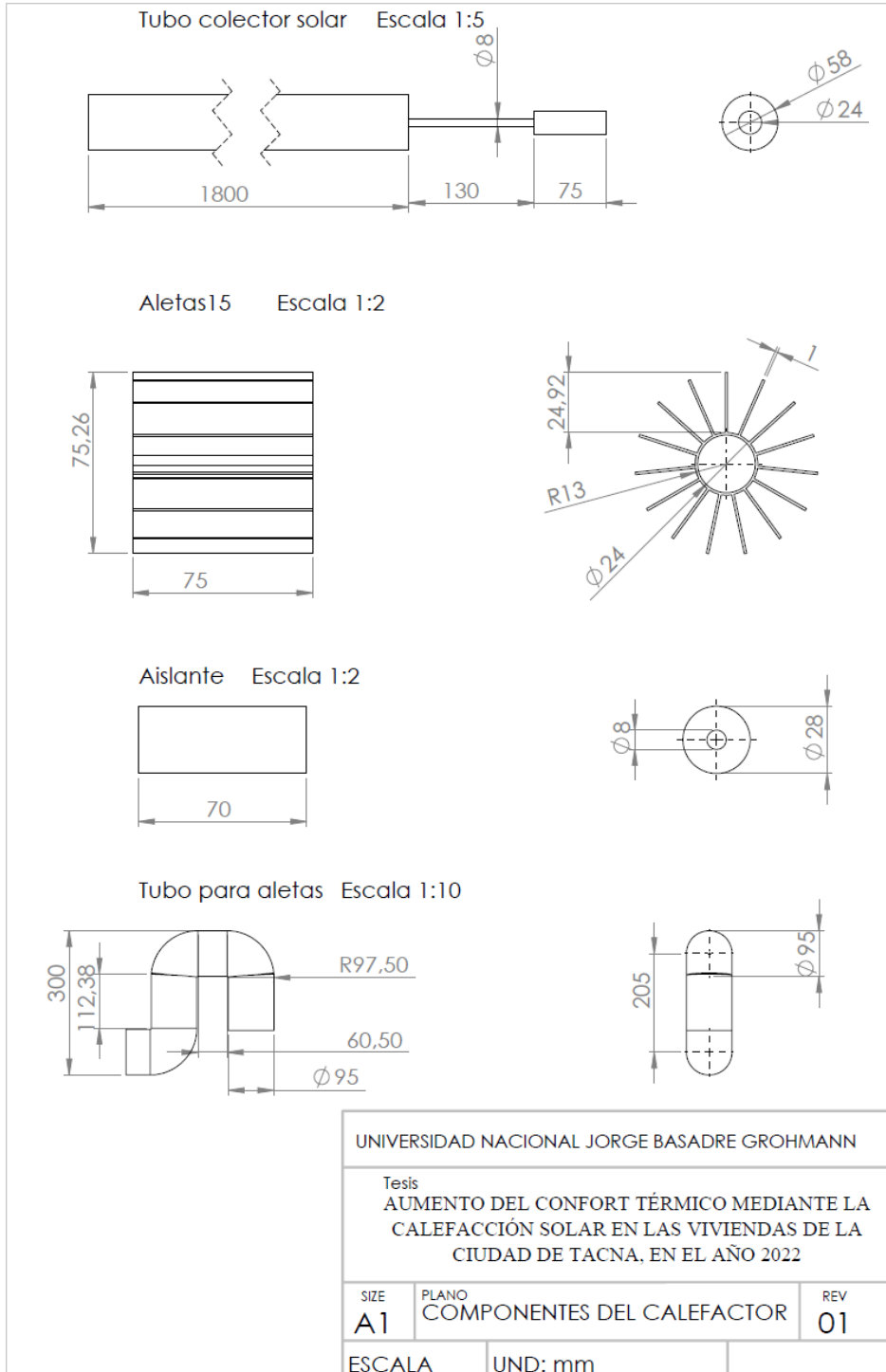


The technical drawing shows a perspective view of a solar collector assembly. It consists of a metal frame with two long legs (4) and two short legs (1). A horizontal tube (6) is mounted on the frame, supported by brackets (2) and (3). A fan (5) is attached to the frame, and a tube (7) is connected to it. A fan speed controller (8) is used to adjust the fan's speed. A temperature sensor (9) is placed near the collector tube. A schematic diagram below the main drawing shows the electrical control system: a 12V power source is connected to a fan speed controller, which is connected to a fan. A 5V power source is connected to a microcontroller, which is connected to the fan speed controller. A temperature sensor is connected to the microcontroller, and a display shows a temperature of 25°C.

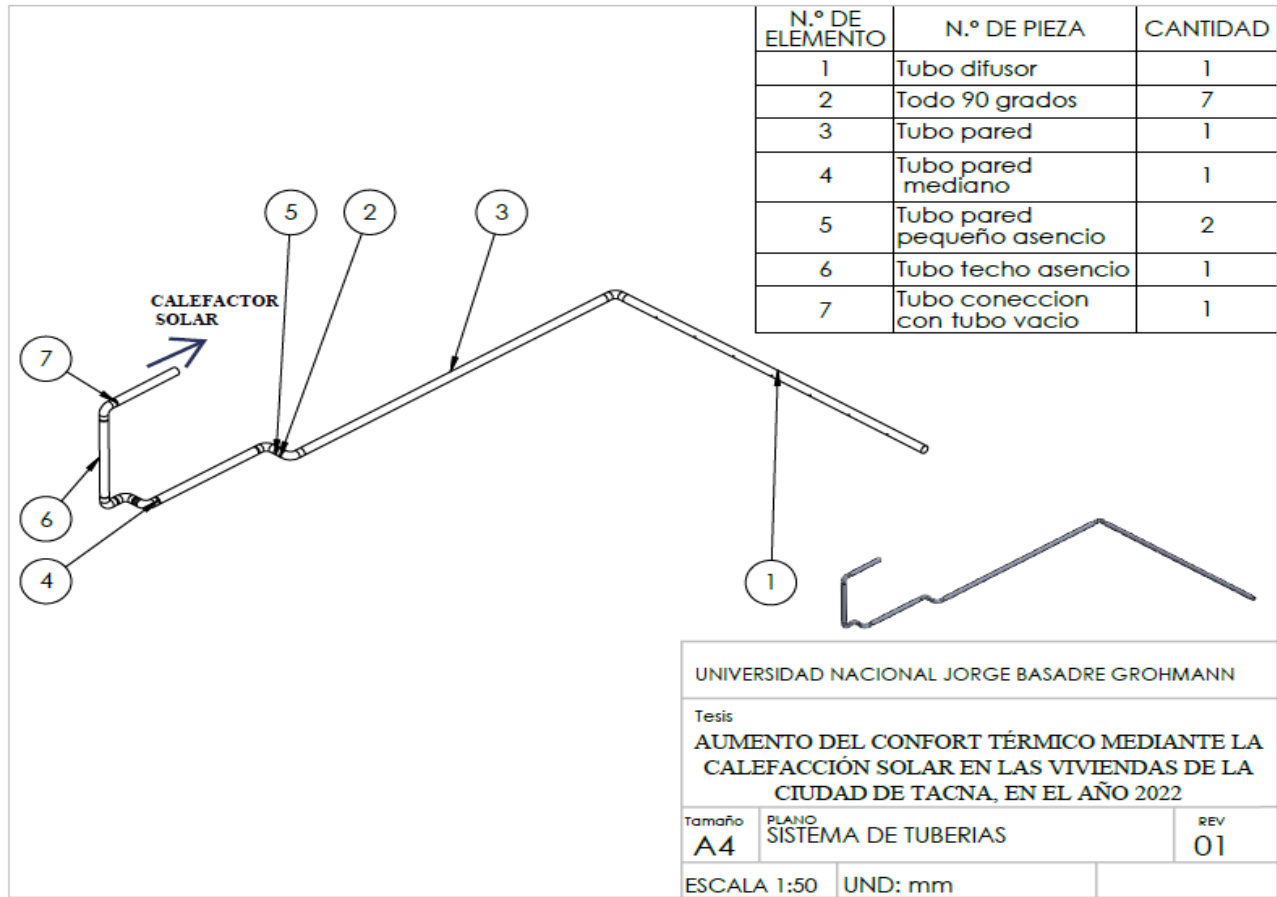
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Patas cortas colector	2
2	Sujetador tubo colector inferior	2
3	Sujetador tubo colector	3
4	Patas largas colector	2
5	Sujetador	2
6	Tubo colector solar	2
7	Tubo para aletas	1
8	Aleta 15	2
9	Aislante	2

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN		
Tesis		
AUMENTO DEL CONFORT TÉRMICO MEDIANTE LA CALEFACCIÓN SOLAR EN LAS VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE TACNA, EN EL AÑO 2022		
Tamaño A4	PLANO CALEFACTOR SOLAR	REV 01
ESCALA 1:20	UND: mm	

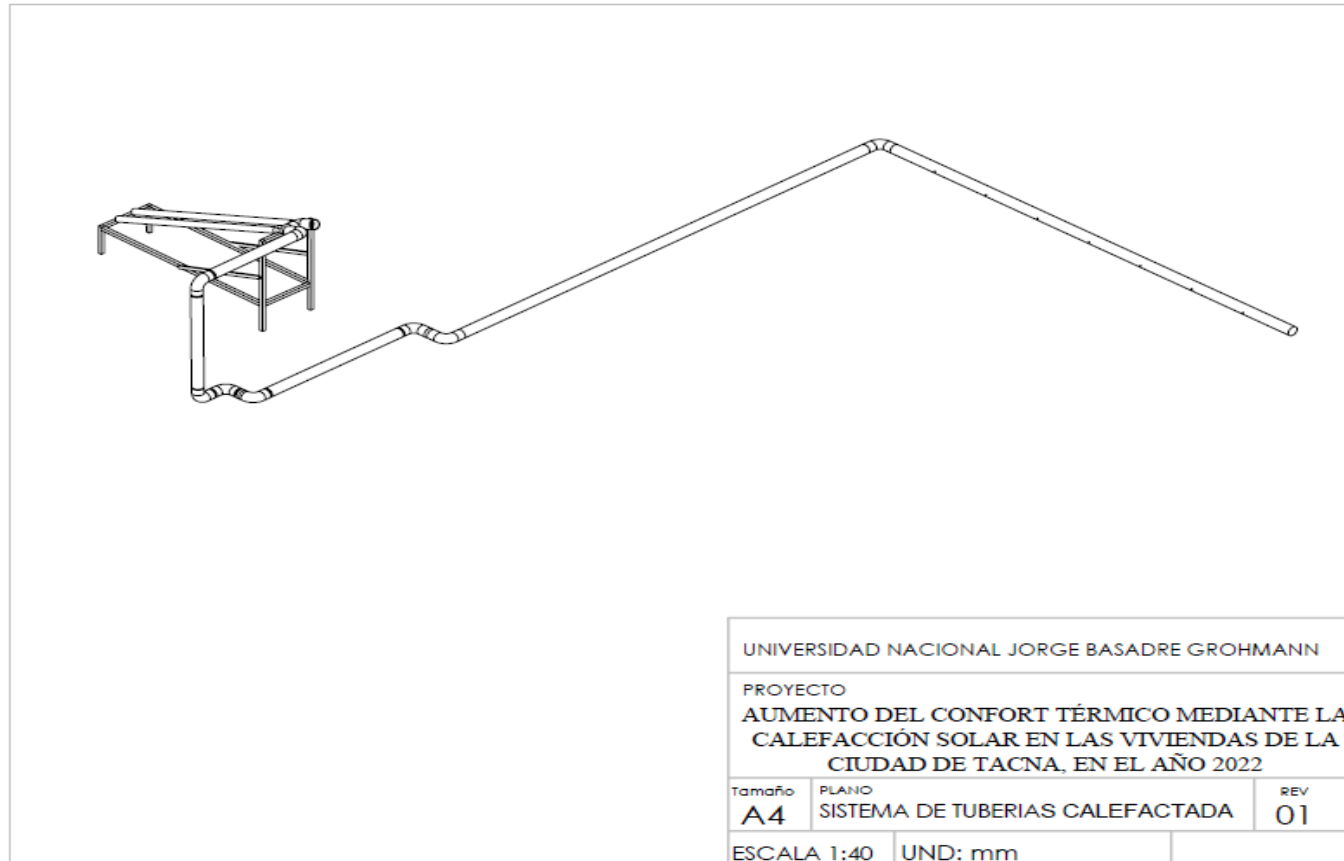
ANEXO 45



ANEXO 46



ANEXO 47



ANEXO 48

