Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

Diseño de piso radiante con energía solar térmica para mejorar el confort térmico de una habitación ubicada en el distrito de Tuti, Arequipa 2023

Edwin Cesar Castillo Calcina
Percy Edwin Cahuapaza Mamani

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital

Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Universidad Continental

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A	:	Decano de la Facultad de Ingeniería
DE	:	Mg Herbert Jesús del Carpio Beltrán Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO	:	Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA	:	16 de Julio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:
DISEÑO DE PISO RADIANTE CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO DE UNA HABITACIÓN UBICADA EN EL DISTRITO DE TUTI, AREQUIPA 2023

Autor (es):
Edwin Cesar Castillo Calcina – EAP. Ingeniería Industrial
Percy Edwin Cahuapaza Mamani – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía — SI [ ] NO [x]
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores — SI [ ] NO [x]
  N° de palabras excluidas **(en caso de elegir "SI"):**
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante — SI [ ] NO [x]

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original (no se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Mg. Herbert Jesus Del Carpio Beltran

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios, por darnos cada día la oportunidad de avanzar con mucha salud y mucha energía, brindándonos la fortaleza necesaria para no desfallecer en este camino trazado.

Nuestro profundo agradecimiento a nuestras familias, por su apoyo incondicional y su compresión, muchas veces hemos dejado de compartir momentos gratos por nuestra abnegación y sueño de llevar la carrera de Ingeniería Industrial, muchas gracias por su comprensión y su apoyo.

Deseamos hacer un reconocimiento especial a nuestro docente y asesor, Herbert Jesús Del Carpio Beltrán, quien nos brindó su apoyo de manera incondicional, absolviendo todas nuestras dudas, tomándose el tiempo para revisar de manera minuciosa cada avance y compartiendo sus conocimientos con nosotros para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres Florentino y Ortencia, a mis hermanos por el apoyo, compresión y mucho cariño.

A mis abuelos, Daniel y Eusebio, que seguramente deben estar muy orgullosos de mis logros.

Edwin Cesar Castillo Calcina

Dedico esta tesis a mi amada esposa, Elsa Sauñe Lacuta, que me brindó su apoyo incondicional a lo largo de este trayecto.

A mis adorados hijos, Alvaro Cahuapaza Sauñe y Keneth Cahuapaza Sauñe, mi mayor motor para seguir adelante, la razón por la que lucho por ser mejor día a día.

Esta tesis se las dedico con todo mi amor.

Percy Edwin Cahuapaza Mamani

ÍNDICE

ASESOR iv
AGRADECIMIENTOS v
DEDICATORIA vi
ÍNDICE vii
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS xiii
RESUMEN xv
ABSTRACT xvi
INTRODUCCIÓN xvii
CAPÍTULO I 1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO 1
1.1 Planteamiento y formulación del problema 1
1.1.1 Planteamiento del problema 1
1.1.2 Problema general 2
1.1.3 Problemas específicos 2
1.2 Objetivos 2
1.2.1 Objetivo general 2
1.2.2 Objetivos específicos 3
1.3 Justificación e importancia 3
1.3.1 Justificación teórica 3
1.3.2 Justificación práctica 3
1.3.3 Justificación económica 3
1.3.4 Justificación ambiental 3
1.4 Delimitación del proyecto 4
1.4.1 Delimitación espacial 4
1.4.2 Delimitación temporal 4
1.5 Hipótesis y variables 4

1.5.1 Variable independiente 4
1.5.2 Variable dependiente 4
1.5.3 Operacionalización 4
CAPÍTULO II 6
MARCO TEÓRICO 6
2.1 Antecedentes de la investigación 6
2.1.1 Antecedentes internacionales 6
2.1.2 Antecedentes nacionales 8
2.1.3 Antecedentes locales 10
2.2 Bases teóricas 11
2.2.1 Calefacción 11
2.2.2 Sistemas de calefacción 11
2.2.3 Clasificación de los sistemas de calefacción 12
2.2.4 Calefacción por piso radiante 14
2.2.5 Sistema de pisos radiantes con energía solar térmica 15
2.2.6 Confort térmico 16
2.2.7 Parámetros ambientales de confort térmico 17
2.3 Definición de términos básicos 17
2.3.1 Calefacción centralizada 17
2.3.2 Calefacción por radiadores 17
2.3.3 Confort 17
2.3.4 Disconfort 18
2.3.5 Eficiencia energética 18
2.3.6 Heladas 18
2.3.7 Hidrónicos 18
CAPÍTULO III 19
METODOLOGÍA 19
3.1 Método, tipo o alcance de la investigación 19
3.1.1 Método de investigación 19

3.1.2 Tipo de investigación 19
3.1.3 Alcance de investigación 19
3.2 Materiales y métodos 20
3.2.1 Diseño de la investigación 20
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 27
3.3.1 Técnicas 27
3.3.2 Instrumentos 27
3.3.3 Técnicas de procesamiento de datos 28
CAPÍTULO IV 30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 30
4.1 Condiciones climáticas actuales del distrito Tuti 30
4.1.1 Condiciones climáticas externas del distrito de Tuti 30
4.1.2 Condiciones de viviendas en Tuti 36
4.1.3 Condiciones climáticas internas de viviendas en Tuti 39
4.2 Cálculo de diseño de prototipo sistema de piso radiante en recinto de Tuti 39
4.2.1 Cálculo de coeficientes de transmisión de calor 39
4.3 Nivel de variación de confort térmico mediante la simulación de un modelo de piso radiante convencional frente a pisos radiantes con materiales propuestos 66
4.3.1 Simulación de un modelo de suelo radiante convencional 66
4.3.2 Simulación de un modelo de suelo radiante con los materiales propuestos 68
4.3.3 Contrastación de la mejora obtenida con la aplicación del suelo radiante 71
4.3.4 Simulación del sistema de Suelo Radiante con manguera de HDPE para un periodo de 48 horas 72
4.4 Análisis comparativo de ahorro generado en las propuestas de pisos radiantes frente a alternativas de calefacción convencionales e indicadores financieros 76
4.4.1 Costo de instalación de sistema de piso radiante con materiales originales 76
4.4.2 Costo de instalación de sistema de piso radiante con materiales propuestos 77
4.4.3 Comparativa de ahorro generado de propuestas de piso radiante frente a otros sistemas 78
4.4.4 Análisis económico financiero 80

4.5 Discusión de resultados 84
CAPÍTULO V 90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 90
5.1 Conclusiones 90
5.2 Recomendaciones 91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 92
ANEXOS 97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables. 5

Tabla 2. Registros climáticos 2022 de estación Chivay. 31

Tabla 3. Registros climáticos 2022 de estación Sibayo. 33

Tabla 4. Condiciones climáticas a considerar en vivienda prototipo de Tuti. 36

Tabla 5. Condiciones de vivienda a considerar en vivienda prototipo de Tuti. 37

Tabla 6. Temperatura promedio de recinto construido con materiales predominantes en viviendas del distrito de Tuti 39

Tabla 7. Coeficientes superficiales de transmisión de calor interior y exterior (hi y he) según la posición del cerramiento y el sentido del flujo térmico. 40

Tabla 8. Conductividad térmica de materiales de construcción y aislantes térmicos utilizados en la simulación 41

Tabla 9. Propiedades térmicas del muro de adobe utilizado en la simulación del sistema. 42

Tabla 10. Capas de materiales del sistema de suelo radiante y sus propiedades. 42

Tabla 11. Características térmicas del cerramiento translúcido (ventana de vidrio simple) considerado en la simulación. 43

Tabla 12. Composición de ventana con doble vidrio y cámara de aire como sistema de aislamiento térmico. 44

Tabla 13. Características térmicas de la puerta modelada en la simulación. 44

Tabla 14. Propiedades térmicas de materiales del techo considerados en la simulación. 45

Tabla 15. Coeficientes de transmisión térmica en cerramientos comparados con los límites normativos. 46

Tabla 16. Cálculo de la carga térmica total de la vivienda modelo considerando cerramientos y pérdidas por transmisión. 47

Tabla 17. Densidad de flujo térmico en el interior del recinto. 48

Tabla 18. Especificaciones del colector solar utilizado en el sistema de piso radiante. .. 50

Tabla 19. Cálculos de transmisión térmica en piso radiante con temperatura de impulsión constante (θV = 40 °C). 52

Tabla 20. Resumen del cálculo hidráulico de pérdidas de carga por circuito en el sistema de piso radiante. 57

Tabla 21. Comparación del gradiente térmico de recintos con y sin sistema de piso 71

Tabla 22. Comparación del gradiente térmico de recintos con sistema de piso radiante en material convencional vs. Propuesto..... 72

Tabla 23. Análisis estadístico de la variabilidad térmica del recinto con sistema de piso radiante en modelo propuesto (HDPE). 76

Tabla 24. Relación de materiales y equipos considerados para la implementación del sistema de piso radiante – Alternativa 1. 77

Tabla 25. Relación de materiales y equipos considerados para la implementación del sistema de piso radiante – Alternativa 2. 78

Tabla 26. Comparación técnico-económica del sistema de piso radiante frente a sistemas convencionales de calefacción doméstica. 79

Tabla 27. Flujo de caja proyectado. 81

Tabla 28. Análisis de indicadores del desempeño económico del sistema de piso. 83

Tabla 29. Análisis de indicadores del desempeño financiero del sistema de piso. 83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas de calefacción 12

Figura 2. Sistemas de calefacción de gas natural 12

Figura 3. Pisos radiantes. 15

Figura 4. Pisos radiantes con energía solar térmica 16

Figura 5. Ubicación de estaciones Sibayo y Chivay cercanas a Tuti. 30

Figura 6. Tendencia de temperatura máxima externa en estación de Chivay. 31

Figura 7. Tendencia de temperatura mínima externa en estación de Chivay. 32

Figura 8. Tendencia de temperatura máxima externa en estación de Sibayo. 33

Figura 9. Tendencia de temperatura mínima externa en estación de Sibayo 35

Figura 10. Estilo de vivienda predominante en Tuti. Tomada de Aedes (2012). 38

Figura 11. Esquema del Sistema Tipo A según la Normal UNE-EN 1264. 51

Figura 12. Distribución de mangueras de piso radiante en configuraciones espiral y doble serpentín. 53

Figura 13. Bomba Grundfos ALPHA1 L 25-40 180.. 58

Figura 14. Colector Inoxidable ORKLI de 4 vías. 59

Figura 15. Curvatubo de16 mm. 60

Figura 16. Plástico doble cara azul / negro 60

Figura 17. Lana de Vidrio AislanGlass rollo libre 50 mm. 61

Figura 18. Rollo de manguera Polytherm PEX-A 16x2 mm 120 m 62

Figura 19. . Distribución de temperatura en simulación lateral derecha del recinto con sistema de calefacción por suelo radiante PEX-A. 67

Figura 20. Distribución de temperatura en simulación frontal del recinto con sistema de calefacción por suelo radiante PEX-A. 67

Figura 21. Distribución del flujo térmico del agua en el sistema de calefacción con manguera de Polietileno Reticulado (PEX-A). 68

Figura 22. Distribución térmica lateral derecha del recinto con manguera de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) en simulación. 69

Figura 23. Distribución térmica frontal del recinto con manguera de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) en simulación. 69

Figura 24. Distribución del flujo térmico de agua en el sistema de piso radiante con manguera de Polietileno de Alta Densidad (HDPE). 70

Figura 25. Evolución de temperatura en recinto con suelo radiante y manguera HDPE durante 48 horas. 73

Figura 26. Ciclos de funcionamiento del sistema de piso radiante con manguera de HDPE durante 48 horas. 74

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo general determinar el diseño de un piso radiante con energía solar para mejorar el confort térmico de una habitación ubicada en el distrito de Tuti, Arequipa 2023. La metodología empleada fue de método deductivo, tipo básica, enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, mediante la técnica de la observación indirecta y análisis documental, considerando como instrumentos la ficha de registro de datos y el reporte de data obtenida. Los resultados mostraron que el sistema de piso radiante permitió elevar la temperatura ambiente de 9.6 °C a un rango de 18.6 °C - 21.2 °C, cumpliendo con los estándares de confort térmico. Además, se comprobó que el uso de tuberías PEX-A mejoró la eficiencia en 68.4 %, mientras que los materiales de cambio de fase aumentaron la retención de calor en 238.6 %. En términos económicos, el sistema con materiales locales permitió reducir la inversión inicial en un 27.01 % respecto al piso radiante con materiales originales y generó un ahorro operativo de hasta S/ 77,040.00 en diez años frente a sistemas eléctricos convencionales, cuyo análisis financiero evidenció una rentabilidad elevada, con una TIRF de 71.50 %. Se concluye que la implementación de un piso radiante con energía solar térmica es técnica y económicamente viable, proporcionando una solución sostenible y eficiente para mejorar la calidad de vida en zonas altoandinas.

Palabras clave: confort térmico, piso radiante, energía solar, simulación térmica.

ABSTRACT

The general objective of this study was to determine the design of a solar-powered radiant floor to improve the thermal comfort of a room located in the district of Tuti, Arequipa 2023. The methodology used was deductive, basic type, quantitative approach and descriptive scope, through the technique of indirect observation and documentary analysis, considering as instruments the data registration form and the report of data obtained. The results showed that the radiant floor system allowed to raise the ambient temperature from 9.6 ° C to a range of 18.6 ° C - 21.2 ° C, complying with thermal comfort standards. In addition, it was found that the use of PEX-A pipes improved efficiency by 68.4%, while phase change materials increased heat retention by 238.6%. In economic terms, the system using local materials reduced the initial investment by 27.01% compared to radiant floor heating using original materials and generated operational savings of up to S/ 77,040.00 over ten years compared to conventional electric systems. Financial analysis showed a high profitability, with a 71.50% interest rate (IRFR). The conclusion is that implementing radiant floor heating using solar thermal energy is technically and economically viable, providing a sustainable and efficient solution to improve the quality of life in high Andean regions.

Keywords: thermal comfort, radiant floor, solar energy, thermal simulation.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas extremas, como las heladas, afectan considerablemente la calidad de vida en las zonas altoandinas del Perú. Estas regiones enfrentan descensos drásticos de temperatura durante el otoño e invierno, situación que se agrava por la deficiente infraestructura térmica de las viviendas rurales. La exposición prolongada al frío incrementa la incidencia de enfermedades respiratorias, especialmente en grupos vulnerables como niños y adultos mayores, según reportes del Ministerio de Salud. Esta problemática se intensifica en distritos como Tuti, en Arequipa, donde las temperaturas interiores en las viviendas pueden descender por debajo de los -4 °C, muy por debajo del umbral de confort térmico recomendado por la Norma UNE-EN ISO 7730.

Frente a esta realidad, surge la necesidad de implementar soluciones de calefacción sostenibles que sean viables tanto técnica como económicamente. En este contexto, el presente estudio pretende determinar el diseño de un piso radiante con energía solar para mejorar el confort térmico de una habitación ubicada en el distrito de Tuti, Arequipa 2023. Esta propuesta se plantea como una alternativa ecológica, accesible y de bajo consumo energético que permita mejorar el confort térmico de manera eficiente.

La investigación no solo aborda el diseño técnico del sistema, sino que evalúa su efectividad térmica mediante simulaciones, compara su desempeño frente a materiales convencionales, y analiza su rentabilidad en comparación con otros sistemas de calefacción. De este modo, se busca demostrar que la implementación de pisos radiantes con energía solar térmica constituye una estrategia eficaz para mitigar los efectos de las heladas y elevar la calidad de vida en contextos de alta vulnerabilidad climática.

El desarrollo de este trabajo de investigación está estructurado en cinco capítulos:

Capítulo I: Planteamiento del estudio, donde se describe el problema de investigación, los objetivos generales y específicos, la justificación del estudio, así como la delimitación y las hipótesis que guían la investigación.

Capítulo II: Marco teórico, que recopila antecedentes relevantes y bases teóricas sobre confort térmico, sistemas de calefacción y tecnologías de piso radiante, además de definir conceptos clave para el estudio.

Capítulo III: Metodología, donde se detallan el método de investigación, el tipo y alcance del estudio, así como los materiales y procedimientos empleados en el diseño y análisis del sistema de piso radiante.

Capítulo IV: Resultados y discusión, en el que se presentan los hallazgos obtenidos en relación con las condiciones térmicas actuales de Tuti, el diseño y simulación del prototipo de piso radiante, y el análisis comparativo de su eficiencia y rentabilidad frente a sistemas tradicionales.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones: donde se sintetizan los principales hallazgos del estudio y se sugieren futuras líneas de investigación para la optimización del sistema de calefacción propuesto.

El presente trabajo tiene como finalidad proponer una alternativa eficiente y sostenible para mitigar los problemas de confort térmico en viviendas de zonas frías, mediante la implementación de un sistema que aproveche fuentes de energía renovable y minimice los costos operativos a largo plazo. Además, se espera que este estudio sirva de base para futuras investigaciones que busquen optimizar el diseño y la eficiencia de los sistemas de calefacción en comunidades de clima extremo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

En las últimas décadas, el cambio climático ha generado una variabilidad térmica más pronunciada en distintas regiones del mundo, acentuando la frecuencia e intensidad de eventos extremos como olas de calor y de frío. Según la Organización Meteorológica Mundial (2023), los fenómenos climáticos extremos se han incrementado en un 35 % desde el año 2000, y su impacto es más severo en comunidades vulnerables situadas en zonas de altura, donde las temperaturas mínimas alcanzan niveles críticos para la salud humana.

En el Perú, esta situación se manifiesta con particular severidad en las regiones altoandinas, durante las estaciones de otoño e invierno, donde las condiciones atmosféricas propician descensos significativos en la temperatura del aire que son intensificados por fenómenos meteorológicos globales como El Niño y La Niña, que afectan la calidad de vida de la población. Este fenómeno se intensifica en la zona sur altoandina, abarcando regiones como Arequipa, Cusco y Puno, en donde se observa una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos como las heladas. Bajo dicho contexto, considerando que en el año 2021 más de 547 distritos fueron clasificados en riesgo alto o muy alto frente a heladas, más de 1.6 millones de personas son potencialmente afectadas. Estos eventos generan efectos negativos en la población año tras año, con serias implicaciones para la salud pública y un aumento en las tasas de mortalidad en estas áreas; por lo que la principal problemática radica en la falta de confort térmico en las viviendas. Las bajas temperaturas provocadas por las heladas pueden hacer que las habitaciones alcancen niveles de frío por debajo del punto de congelación del agua, lo que incrementa la vulnerabilidad, especialmente entre adultos mayores y niños (Centro Nacional de Estimación 2022).

A nivel local, el distrito de Tuti, ubicado en la provincia de Caylloma, Arequipa, representa un caso crítico, puesto que, al estar situado a más de 3,900 m.s.n.m., este distrito experimenta temperaturas que pueden descender hasta los -3.8 °C (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú 2023), con viviendas construidas predominantemente en adobe, tierra y calamina, materiales de baja capacidad aislante. Por lo tanto, teniendo en cuenta que el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017) identificó que más del 85 % de viviendas del distrito presentan pisos de tierra y techos precarios, lo que contribuye a una sensación térmica

inadecuada. Además, solo el 31.9% de las viviendas han recibido algún tipo de intervención frente a las heladas, que demuestra un bajo nivel de atención efectiva ante este problema, por lo que, se requiere hallar una alternativa apta para el nivel económico y que salvaguarde la salud de la población, para afrontar el problema de las bajas temperaturas en esta localidad.

En esa línea, bien se ha documentado que materiales como el adobe pueden mejorar la temperatura interior hasta en 1.46 °C y reducir el consumo eléctrico en 42.71 % (Zhang et al. 2016), estas mejoras no alcanzan los estándares internacionales de confort térmico; motivo por el cual se requiere una alternativa que no solo mejore la eficiencia térmica, sino que además sea sostenible, accesible económicamente y adaptable al contexto rural. Bajo esta premisa, el presente estudio propone analizar la viabilidad de diseñar un sistema de piso radiante con energía solar térmica, como solución renovable y de bajo impacto ambiental para mitigar el problema de las heladas en viviendas de Tuti.

1.1.2 Problema general

¿Cuál es el nivel de mejora en el confort térmico de una habitación ubicada en el distrito de Tuti mediante el diseño de un piso radiante con energía solar, Arequipa 2023?

1.1.3 Problemas específicos

a) ¿Cuál es el nivel actual de confort térmico en una habitación ubicada en el distrito de Tuti?
b) ¿Cómo diseñar un prototipo de piso radiante de material convencional con energía solar térmica que mejore el confort térmico en una habitación ubicada en el distrito de Tuti?
c) ¿Cuál es el nivel de variación de confort térmico mediante la simulación de un modelo de piso radiante convencional frente a pisos radiantes con materiales propuestos?
d) ¿Cuál es el ahorro e indicadores económico-financieros que genera la implementación de un sistema de piso radiante con energía solar térmica?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar el diseño de un piso radiante con energía solar para mejorar el confort térmico de una habitación ubicada en el distrito de Tuti, Arequipa 2023.

1.2.2 Objetivos específicos

a) Identificar el nivel actual de confort térmico en una habitación ubicada en el distrito de Tuti.
b) Diseñar un prototipo de piso radiante de material convencional con energía solar térmica que mejore el confort térmico en una habitación ubicada en el distrito de Tuti.
c) Evaluar el nivel de variación de confort térmico mediante la simulación de un modelo de piso radiante convencional frente a pisos radiantes con materiales propuestos.
d) Realizar un análisis de ahorro e indicadores económico-financieros que genera la implementación de un sistema de piso radiante con energía solar térmica.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación teórica

La presente investigación, posee justificación teórica por el aporte de conocimientos referente a la viabilidad de la implementación de pisos radiantes en una zona altoandina como lo es el distrito Tuti, en Caylloma, para la mejora de las condiciones de vida de la población, mediante la mejora del confort térmico en las viviendas de la localidad.

1.3.2 Justificación práctica

El presente estudio posee justificación práctica, por el aporte de una alternativa de solución referente al problema de las bajas temperaturas latentes en las viviendas de Tuti, por lo que, se pretende aprovechar las bondades de la energía termo solar mediante el desarrollo de un prototipo de pisos radiantes con un sistema de control digital que mejore el confort térmico de los habitantes de la localidad.

1.3.3 Justificación económica

La investigación tiene justificación económica, al otorgar una alternativa de confort térmico que permita reducir el consumo energético al 70% en las viviendas, a través del aprovechamiento de la energía solar térmica para la creación de pisos radiantes en el distrito de Tuti, para que se pueda reducir el gasto excesivo que implican los sistemas eléctricos.

1.3.4 Justificación ambiental

El presente estudio tiene justificación ambiental, por el enfoque en el aprovechamiento de energías renovables como la solar térmica, considerando principalmente la viabilidad de su

manejo en Arequipa por los elevados niveles de radiación solar, además de las bondades de sostenibilidad que otorga al reducir el consumo de energía eléctrica, el cual comprende costos elevados en la actualidad, conlleva a emisiones de cantidades significativas de gases de efecto invernadero por el consumo de combustibles fósiles como petróleo, gas y carbón que alteran el cambio climático; por lo que se pretende minimizar dicho impacto con el aprovechamiento de un recurso renovable que genere menores emisiones nocivas para el medio ambiente.

1.4 Delimitación del proyecto

1.4.1 Delimitación espacial

El presente estudio de investigación se llevará a cabo en el distrito de Tuti, provincia de Caylloma, del departamento de Arequipa.

1.4.2 Delimitación temporal

La presente investigación se enmarcará en el análisis de variación climática en el distrito de Tuti en el 2023, además de los cambios económicos en dicho lapso temporal.

1.5 Hipótesis y variables

1.5.1 Variable independiente

Piso radiante con energía solar térmica

1.5.2 Variable dependiente

Confort térmico

1.5.3 Operacionalización

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Variable Independiente Pisos radiantes con energía solar térmica	Los sistemas de calefacción por pisos radiantes son una tecnología versátil, de nulo impacto visual que pretende mejorar la calidad de vida de los usuarios, siendo la energía solar térmica un método donde no se genera combustión para su funcionamiento (FEGECA, 2017)	Eficiencia energética	Nivel de consumo de energía (kWh/m de tubería)	Reporte de ORKLI
		Transferencia de calor	Calor específico (Cal/Kg°C)	Reporte de SOLIDWORKS
		Calor almacenado	Cantidad de calor (Joule)	Reporte de SOLIDWORKS
		Parámetros ambientales	Temperatura del ambiente (°C)	Ficha de registro de datos SENAMHI
			Radiación Solar (W/m^2)	Ficha de registro de datos
Variable Dependiente Confort térmico	Acorde la Norma ISO 7730 el confort térmico se concibe como una condición de carácter físico y mental, en la cual, se expresa la satisfacción con el ambiente térmico.	Parámetros ambientales	Temperatura interna del recinto (°C)	Ficha de registro de data bibliográfica Reporte de SOLIDWORKS
			Humedad relativa interna del aire (%)	Ficha de registro de data bibliográfica Reporte de SOLIDWORKS
		Parámetros físicos	Rangos de operación del sistema (°C)	Ficha de registro de data bibliográfica Reporte de SOLIDWORKS
			Conducción de calor de la pared (Cal/Kg°C)	Ficha de registro de data bibliográfica Reporte de SOLIDWORKS

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Jin et al. (2022) en su estudio denominado “Experimental and numerical study on the termal energy storage performance of a novel phase-change material for radiant floor heating systems”, propusieron la medición del potencial del almacenamiento de energía térmica para hallar un mejor sistema de calefacción de edificios. Para ello, desarrollaron pisos radiantes utilizando materiales como acetato de sodio trihidrato-acetamida con grafito expandido, modificado como medio termoestable. Se emplearon pruebas de fuga que demostraron la compatibilidad del material con sales hidratadas, obteniendo una conductividad térmica del sistema de 1.87 W/mK, 4.5 veces superior al grafito sin modificar y con un sobre enfriamiento de solo 2.2 °C. Concluye que el sistema planteado de pisos radiantes es competitivo por su capacidad de almacenamiento y liberación de calor prolongada, reduciendo la fluctuación térmica interior. Por lo tanto, este estudio es relevante porque demuestra que la integración de materiales de cambio de fase mejora significativamente la eficiencia térmica de los pisos radiantes, ofreciendo una solución viable para sistemas de calefacción sostenibles en regiones de clima extremo.

Peñafiel (2022) en el estudio “Evaluación de suelos radiantes con uso de energías renovables para climatización de viviendas en la provincia del Cañar”, propuso la flexibilización energética de viviendas unifamiliares con la adecuación de suelos radiantes como aportación meteorológica en el ámbito de la construcción, a través de energías renovables. Para ello, la definición del comportamiento de la vivienda empleó la metodología BIM para representar la eficiencia energética, mediante una indagación experimental relacional, en los puntos específicos de la provincia de Cañar, Ecuador, con una tipología de vivienda social del MIDUVI, con 7 circuitos de sistemas de piso radiante simulados. Concluyendo que el diseño óptimo se centra en una bomba de calor reversible, aire-agua, cuya mayor potencia será generada por módulos fotovoltaicos situados en la cubierta de la vivienda. Este estudio es relevante porque demuestra la viabilidad de integrar sistemas radiantes con fuentes de energía renovable en viviendas de interés social, validando su eficiencia térmica y energética mediante simulaciones que permiten optimizar el diseño antes de su implementación real.

González y Prieto (2021) en la investigación "Radiant heating floors with PCM bands for termal energy storage: A numerical análisis", implementaron suelos radiantes hidrónicos con bandas de materiales de cambio de fase embebidos en un núcleo de hormigón, mortero conductor y tuberías de calefacción, teniendo en cuenta una comparativa entre un suelo convencional y un piso radiante hidrónico, considerando los efectos de resistencia térmica de suelos, temperatura del aire interior y temperatura de la superficie del tubo de calefacción. Por consiguiente, al analizar materiales de cambio de fase como el hormigón y mortero conductor para lograr el almacenamiento de energía térmica, otorgaron como aporte que los suelos radiantes a base de estos materiales de cambio de fase, incrementaron el almacenamiento de energía térmica hasta un 243 %, disminuyendo el flujo de máximo de calor entre un 10 y 18 %, liberando calor lentamente con la calefacción apagada, generando con ello flujos de calor entre 31.4 a 44.6 W/m2, cuyo proceso de solidificación posee una duración mayor a 24 horas. Concluyendo que, el aprovechamiento de los pisos radiantes con hormigón y mortero conductor, son una potencial alternativa para garantizar la eficiencia energética de un edificio, ya que elevan el almacenamiento de energía térmica 2.43 veces más que los pisos convencionales. Por ello, el estudio es relevante porque demuestra que los pisos radiantes con materiales de cambio de fase no solo mejoran significativamente la eficiencia energética, sino que también extienden la duración del confort térmico sin consumo energético activo, representando una alternativa eficaz y sostenible frente a los sistemas convencionales.

Echarri-Iribarren et al. (2021) en el estudio "Radiant floors versus radiant walls using ceramic termal panels in Mediterranean Dwellings: Annual Energy Demand and cost-effective análisis", trabajaron con paneles de acondicionamiento térmico cerámico con mallas tubulares de polipropileno en el sistema de suelos radiantes, para conocer el comportamiento energético y térmico del suelo radiante en comparación de la aplicación de una pared alternativa trabajaron dichos prototipos en la herramienta Design Builder, donde simularon un monitoreo de 1 recinto durante 1 año, cuantificando la demanda energética del manejo de estos materiales. Encontraron como un aporte relevante para la investigación que, mediante la aplicación de suelos radiantes, se logró una reducción en la demanda energética en un 5.15 %, a comparación de la pared; logrando con ello, reducciones significativas en la generación de dióxido de carbono y una reducción de 57.46 % en la demanda energética, principalmente por la incorporación de paneles solares térmicos combinados con sistemas de refrigeración solar basados en ruedas desecantes que emplean como material desecante al cloruro de litio para la deshumidificación del aire y generación de calefacción con una mayor eficiencia energética. Concluye que los suelos radiantes son la alternativa más viable para viviendas unifamiliares, siendo un sistema de acondicionamiento más amigable con el medio ambiente, que fomenta una optimización paramétrica en los sistemas de calefacción. Este estudio es relevante porque valida la

efectividad de los suelos radiantes como una alternativa sostenible y eficientes en viviendas unifamiliares, destacando su potencial para reducir significativamente, tanto el consumo energético como las emisiones contaminantes, lo que contribuye directamente a la mitigación del cambio climático desde el sector construcción.

Yang et al. (2019) en el estudio "Simulation análisis of household solar assistant radiant floor heating system in cold área", otorgan como aporte la alternativa de manejo de MATLAB Simulink como simulador de análisis del rendimiento del sistema de calefacción por suelo radiante con asistente solar doméstico en áreas frías como Jinan, abordando en ello un modelo de colector, de depósito térmico y calefacción por radiación de serpentín subterráneo, donde fue posible hallar el ángulo óptimo de instalación de los colectores solares en diversas estaciones y el rendimiento operativo del sistema bajo diversos parámetros. Explica que el manejo del software es una alternativa viable para otorgar parámetros adecuados de confort térmico, que pueden emplearse como referencia para el diseño de sistemas de calefacción por suelo radiante con asistente solar en habitaciones ubicadas en zonas frías como Jinan, siendo un sistema prometedor para el futuro por los valores referencia que otorga con cercanía a la realidad. Este estudio es relevante porque demuestra que el uso de simulaciones con herramientas tecnológicas como MATLAB Simulink permite predecir el rendimiento térmico de sistemas de calefacción solar, ofreciendo datos confiables que optimizan el diseño y aumentan la viabilidad de implementación en zonas con climas extremos.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Qquelcca y Aguilar (2022) en la investigación "Construcción e implementación de una vivienda rústica de la región puno para pruebas de calefacción solar por piso radiante", analizaron el comportamiento de temperatura interior de una vivienda con dos tipos de tubería instalados para el funcionamiento de pisos radiantes. Para el sistema de calefacción empleado un colector solar de tubos al vacío de 20 tubos, considerando para el fluido caloportador una tubería de cobre y PEX de ½" a una temperatura promedio de 73 °C, a través de un sistema de control PLC y un variador de frecuencia, que controla la velocidad de una bomba de 0.5 HP a 900 rpm, en un área calefactada de 12 m2. Cada piso radiante instalado se evaluó durante un mes, obteniendo una temperatura promedio del interior de la vivienda para la tubería de cobre de 16.10 °C y para la tubería PEX de 15.91 °C, denotando que es factible la instalación de un sistema de calefacción solar en viviendas rústica de la región. Este estudio es relevante porque valida experimentalmente la factibilidad de implementar sistemas de calefacción solar por piso radiante en zonas altoandinas, empleando materiales accesibles y configuraciones adaptadas a

viviendas rurales, lo que representa una alternativa sostenible frente a las condiciones térmicas extremas de la región.

Pari, Ribeiro y Frederico (2021) en el estudio "Confort térmico en viviendas sociales en la zona Mesoandina de Perú – soluciones para mejorar la calefacción pasiva usando materiales autóctonos", se enfocaron en el aprovechamiento de materiales autóctonos como la totora para el acondicionamiento térmico de viviendas, mediante estrategias pasivas de calentamiento, con el uso de simulaciones termo energéticas con la herramienta Desing Builder Versión 6.1.0, por su efectividad en simulaciones de desempeño termo energético en base al estándar ASHRAE 55-2017, pese a no poder ser empleada en localidades de temperatura menor a 10 °C y mayor a 33.5 °C. Sin embargo, destacaron que fue un material no tan efectivo, por fugas generadas en techo, paredes y piso en los diseños de tipo A con la ventana cenital, B con el muro de inercia y C con aislamiento en muros y ventanas; por lo que al corroborar en la simulación sus bajos estándares de confort porque genera fugas, fomentando la pérdida de calor, se requiere combinar más intervenciones y estrategias. Rescatan que, si bien es viable el aprovechamiento de la calefacción pasiva solar, existe un potencial en el uso de lana de oveja como material de acondicionamiento térmico. Este estudio es relevante porque promueve el uso de materiales autóctonos sostenibles en soluciones de calefacción pasiva, y demuestra que la combinación de estrategias constructivas locales puede mejorar significativamente el confort térmico en viviendas sociales de zonas altoandinas, con bajo impacto ambiental y alto potencial de adaptabilidad.

Correa (2021) en el estudio "Diseño de un sistema de climatización por piso radiante para asegurar el confort de la Institución Educativa N°14616 de Chulucanas – Piura", diseñó un sistema de climatización por suelo radiante para tener una temperatura de confort en aulas de una institución educativa de Chulicanas. La indagación empleó una ficha climatológica durante el año 2020, hallando una temperatura promedio anual de 31 °C, con una humedad relativa del 60 % y una sensación térmica de 34 °C. Para el estudio se consideró una carga térmica por aula de 9.8 kW, prevista como una base para el dimensionamiento de los componentes del sistema por piso radiante. Concluye que es un sistema que requiere una inversión de S/. 29,747.24, el cual resulta siendo un momento similar al sistema de aire acondicionado, pero con la diferencia de que el suelo radiante resulta siendo más efectivo. Este estudio es relevante porque demuestra que el suelo radiante puede ser una solución más eficiente y económica que el aire acondicionado tradicional en contextos de altas temperaturas, y que su aplicación puede extenderse a infraestructuras educativas, garantizando condiciones de confort térmico sostenibles en zonas cálidas.

Molina, Horn y Gómez (2020) en la indagación “Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda alto andina para lograr el confort térmico con energía solar”, evaluaron el desempeño térmico de un módulo de vivienda en una región alto andina a 3700 msnm elaborada a base de adobe con techo a dos aguas de chapa metálica, con piso de poliuretano expandido, en base a 2 sistemas de calefacción solar activos; para ello, consideraron una comparativa de un sistema de calefacción de tubo radiante en el ambiente norte y una pared radiante en el ambiente sur, donde se empleó agua como un fluido caloportador y acumulador de energía por calor sensible, destacando como principales características que el tubo radiante operó manualmente con válvulas de paso y un colector solar tipo caja, mientras que el sistema de pared radiante fue automático con un colector solar tipo piscina que fluyó hacia un serpentín adosado. En dicha comparativa, se empleó el programa EnergyPlus para la simulación experimental, en complemento con SketchUp y Legacy OpenStudio, hallando como aporte principal que hubo un incremento de temperatura con la pared radiante de 9.5 °C, siendo superior con tubos radiantes el incremento de temperatura a 12 °C y 9.2 °C, lo cual generó un confort de 16.8 °C en el interior de la vivienda. Destaca que, para obtener un mayor rendimiento de confort, es viable emplear fibra de vidrio de 0.05 m y un recubrimiento tanto interior como exterior con yeso, para generar un incremento de 3 °C. Este estudio es relevante porque valida la efectividad de los sistemas solares activos en viviendas altoandinas extremas, y aporta evidencia técnica sobre el rendimiento diferencial entre tubos y paredes radiantes, demostrando que el diseño constructivo combinado con estrategias de aislamiento optimiza el confort térmico de forma sustentable.

2.1.3 Antecedentes locales

Ttito (2023) en el estudio “Diseño de un sistema solar radiante para evaluar su desempeño en aplicación de confort térmico al personal en la escuela 1428096 Uzuña – Polobaya”, diseñaron un sistema solar radiante para brindar confort térmico a un aula alto andina ubicada en Uzuña; para ello, se realizó un análisis comparativo de costo – beneficio entre los diferentes sistemas de calentamiento y el sistema solar radiante, siendo esta última opción seleccionada por la viabilidad y beneficios que proporciona. Hallando en el aula una eficiencia baja de 4.13 %, por lo que gran parte de la energía obtenida por el sistema radiante es perdida por los alrededores y la energía que emite por radiación es muy pequeña. Por ende, con la finalidad de llegar al confort térmico se requirió incrementar su temperatura interior en 4.91 °C. Este estudio es relevante porque, a pesar de las limitaciones en eficiencia térmica inicial, demuestra que los sistemas solares radiantes mejoran su desempeño con una mayor superficie de captación, validando su aplicabilidad en zonas altoandinas mediante un enfoque económico-energético realista y adaptable.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Calefacción

La calefacción se define como el proceso mediante el cual se aumentan los niveles de temperatura en un espacio determinado, utilizando la transmisión de calor a través de dispositivos y equipos específicos. Este método emplea una variedad de dispositivos diseñados para proporcionar calor en un entorno dado (Ratache et al. 2021).

Por otra parte, para Manrique (2022) la calefacción se considera un conjunto de capas y elementos que llegan a interactuar entre sí, en el cual se distribuye la radiación de calor en un determinado entorno para otorgar condiciones térmicamente confortables.

Bajo esta perspectiva, según Cerron (2022) la calefacción se define como un proceso dirigido a regular la pérdida de calor del cuerpo humano, para adaptarla a condiciones ambientales estables, alcanzando así un equilibrio térmico tanto con el entorno como dentro del cuerpo, con el fin de promover un descanso adecuado. En consecuencia, el propósito fundamental de desarrollar sistemas de calefacción en espacios cerrados es aumentar la temperatura del ambiente interno para crear condiciones confortables y saludables para las personas.

2.2.2 Sistemas de calefacción

Los sistemas de calefacción se conciben como un elemento esencial en la economía y control interno de temperaturas, ya que estos fomentan la disminución del consumo de energía, representando un modelo de emisión de calor, cuyo medio de alimentación depende de la propia geografía, siendo así un medio que cubre las necesidades de una sola vivienda (Manrique, 2022).

Por lo tanto, bajo el enfoque de Cerron (2022), un sistema calefacción al ser sensible, se caracteriza por lo siguiente:

- Regulación térmica, en torno a una temperatura sensible que debe oscilar entre los parámetros establecidos, atendiendo en ello que debe calentarse en el menos tiempo posible.
- Aire circundante, es aquel que no se ve afectado por los efectos del calentamiento generado.
- Prevenir las mínimas pérdidas de calor en el medio ambiente.
- Ajustar de forma mínima la superficie con el rendimiento y durabilidad excepcionalmente.

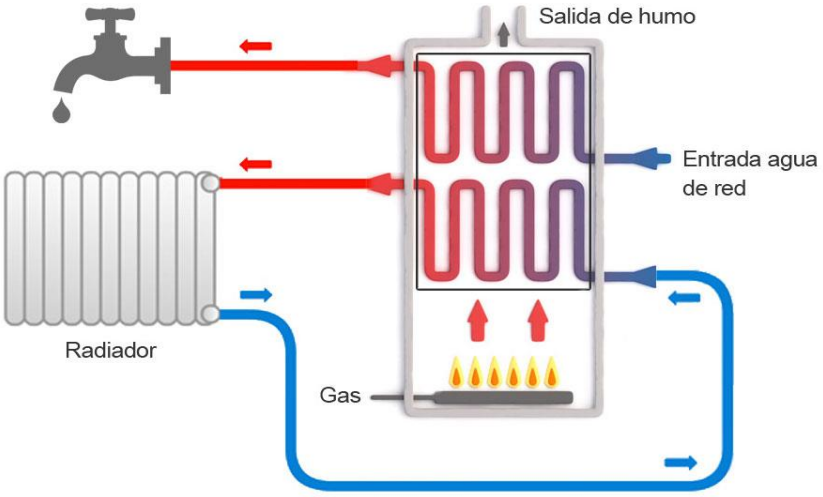


Figura 1. *Sistemas de calefacción. Tomada de: Manrique (2022).*

2.2.3 Clasificación de los sistemas de calefacción

El funcionamiento de un sistema de calefacción se basa en la transmisión de energía a través de un flujo de calor, que puede generarse de diversas formas. Entre los métodos de generación de calor se encuentran los siguientes (Cardiel, Paleo y Roque 2023):

- Calefacción de gas natural: este sistema se fundamenta en la combustión del gas natural dentro de una caldera específica. La caldera calienta los tubos por los que circula el agua. A medida que la temperatura de los tubos aumenta, también lo hace la temperatura del agua (Cardiel, Paleo y Roque 2023).

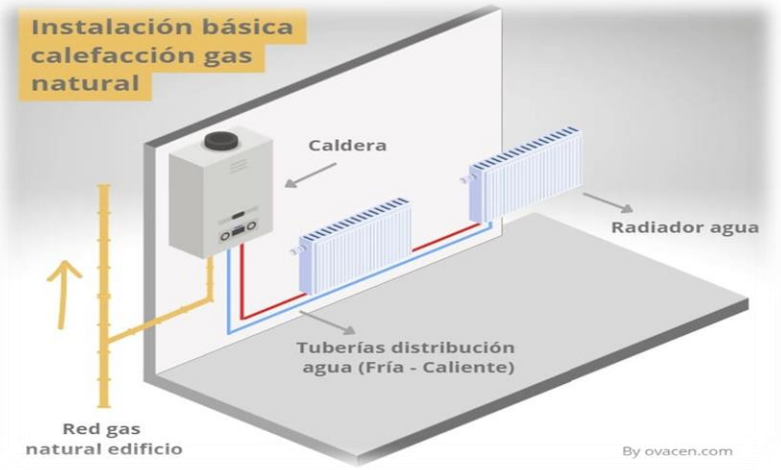


Figura 2. *Sistemas de calefacción de gas natural. Tomada de: Jutglar, Miranda y Villarrubia (2017)*

- Calefacción eléctrica: este tipo de sistema de calefacción se fundamenta en circuitos eléctricos que hacen uso de resistencias. Estas resistencias se calientan al pasar la corriente eléctrica a través de ellas, convirtiendo la energía eléctrica en calor. Este proceso se realiza mediante dispositivos como convectores eléctricos, acumuladores eléctricos y suelo radiante eléctrico (Cardiel, Paleo y Roque 2023).
- Calefacción de gas propano: este sistema de calefacción opera como una alternativa ante la limitada disponibilidad de una red de distribución de gas natural en determinadas zonas geográficas. En lugar de utilizar gas natural, se recurre al propano, que puede ser suministrado de varias formas, incluyendo canalizado, a granel o envasado. Aunque puede resultar más costoso que el gas natural, el propano ofrece una solución viable para aquellos lugares donde el acceso a la red de gas es limitado (Cardiel, Paleo y Roque 2023).
- Calefacción de gas butano: se trata de un sistema de calefacción que se abastece mediante bombonas de 12 kg de propano, las cuales pueden adquirirse en gasolineras o ser entregadas a domicilio. Este método de suministro es comúnmente utilizado en estufas, calderas estancas y chimeneas estancas (Cardiel, Paleo y Roque 2023).
- Calefacción de gasoil: este sistema de calefacción se basa en el uso de gasóleo como combustible, que puede ser de tipo B o C. El gasóleo de tipo C contiene una mayor cantidad de cetano y azufre en comparación con el tipo B. Aunque el precio del gasóleo es mayor que el del gas natural, suele ser más económico que el butano y el propano (Cardiel, Paleo y Roque 2023).
- Calefacción de biomasa: este sistema de calefacción opera utilizando pellets, un producto natural elaborado a partir de aserrín comprimido. Se considera una alternativa más segura y menos perjudicial para el medio ambiente en comparación con otros combustibles. Sin embargo, suelen ser más costosos y necesitan un mantenimiento más frecuente en comparación con los sistemas de calefacción a gas (Cardiel, Paleo y Roque 2023).
- Calefacción por aerotermia: este sistema, equipado con una bomba de calor inverter, tiene como objetivo principal proporcionar un ahorro energético de hasta un 40%. El inverter regula el funcionamiento del compresor de los equipos de aire acondicionado y bomba de calor, manteniendo un trabajo a velocidad constante y una rotación continua. La aerotermia, en este caso, es un sistema de calefacción que aprovecha la energía ambiental contenida en la temperatura del aire. Esta energía se extrae y se transfiere a una habitación o al agua corriente, circulando como un circuito de calefacción en una vivienda (Cardiel, Paleo y Roque 2023).

Por consiguiente, un sistema de calefacción acorde a Cardiel, Paleo y Roque (2023) incluye:

- Distribuidor superior.
- Distribuidor inferior.
- Distribuidor mono tubular.

2.2.4 Calefacción por piso radiante

Considerando el sistema de calefacción de piso radiante, se resalta su utilidad como un sistema de ductos que se encuentran enterrados en el piso, con el objeto de que un fluido caliente el material del piso, para ceder el calor ganado hacia el exterior (FEGECA, 2017).

Por lo tanto, se concibe a los pisos radiantes como un sistema de suelo elevado encima de los pilotes cerámicos en los que en un extremo se ubica un horno y en otro se proporciona calor al espacio subterráneo, elevándose mediante muros que son construidos a base de ladrillos perforados (Souza, 2021).

Por ello, se enuncia que la calefacción por suelo radiante funciona mediante la conducción de aire, la radiación y la convección. Existiendo dos formas principales de ensamblar el sistema, a través, de resistencias eléctricas o mangueras delgadas con un fluido que se mueve a través del espacio. Dichos sistemas se incorporan al piso durante la construcción o renovación, permaneciendo ocultos y, generalmente, inaccesibles; ya que se han hormigonado a la estructura, pues por medio de agua caliente o resistencia eléctrica, el material del piso se calienta por contacto, irradiando calor al aire interior (Li et al. 2021)

Por consiguiente, se destaca que los suelos radiantes son un proceso basado en la ley de la termodinámica, al mostrar que el aire tanto cálido como ligero fluye de arriba hacia abajo, por ello el ambiente llega a calentarse completamente, evitando el desperdicio de calor, dando cabida a los espacios fríos en el ambiente o islas de calor, como se suscita en los calefactores convencionales (Souza, 2021).

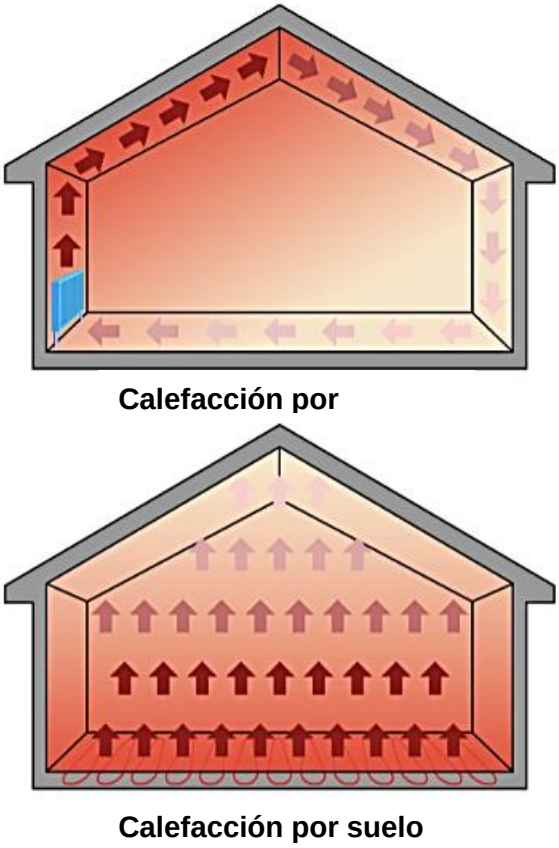


Figura 3. *Pisos radiantes. Tomada de: Souza (2021).*

2.2.5 Sistema de pisos radiantes con energía solar térmica

El sistema de pisos radiantes con energía solar térmica, es aquel que se suscita por el aprovechamiento de una energía renovable como lo es el sol, dándose una alimentación que no genera combustión, para lo cual se tiene en consideración diversos puntos (FEGECA, 2017):

- Es un medio que aprovecha una energía renovable, en donde solo se produce calor cuando se dispone de sol, por lo que suele ser complementado por otra fuente de calor.
- La temperatura en la que se genera calor es codependiente de las condiciones de radiación solar, por lo que, en época de invierno, debe tener un respaldo que resguarde energía obtenida por esta fuente.
- La energía solar se trabaja con acumulación.

Por consiguiente, el suelo radiante, al ser un sistema que trabaja a baja temperatura, se torna en un sistema óptimo para el aprovechamiento de la energía solar por medio de la calefacción. En la actualidad existe una tendencia de depósitos combinados, tratándose de depósitos de inercia para introducir en ellos la energía solar generada, siendo así que de este depósito se extrae de

forma directa la energía para generar calefacción y la producción de agua caliente sanitaria (ACS) (FEGECA, 2017).

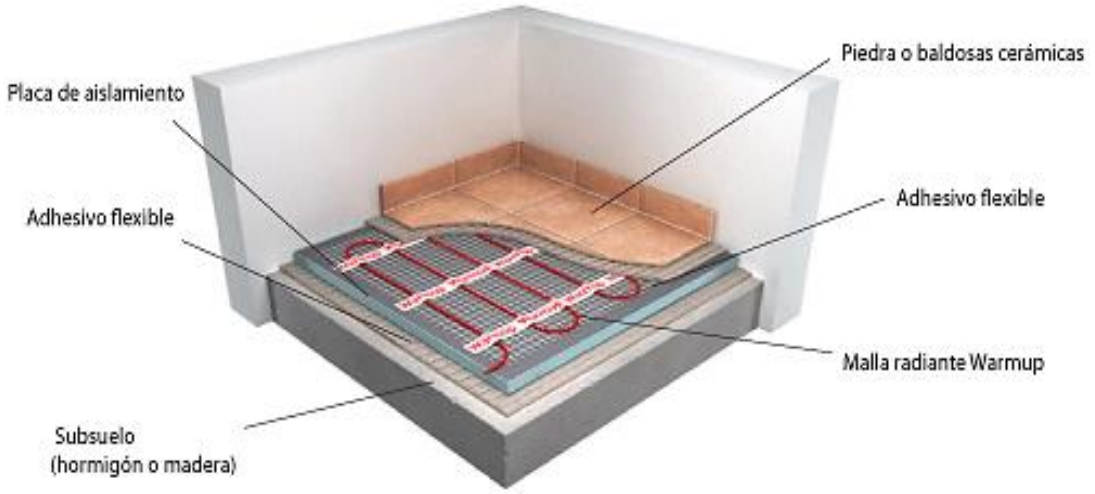


Figura 4. *Pisos radiantes con energía solar térmica. Tomada de: FEGECA (2017).*

2.2.6 Confort térmico

El confort térmico se concibe como una condición tanto mental como física en la cual se llega a expresar la satisfacción de un cuerpo con el ambiente térmico, siendo en términos generales una sensación de conformidad con la temperatura tanto del ambiente como corporal que rodea a un ser vivo (Calderon, 2019).

Por consiguiente, el confort térmico acorde a la Norma ISO 7730 se considera como una neutralidad de carácter térmico, que se define como una condición que se denota afectada por diversos factores externos, que depende de la percepción de calor y frío que pueda percibir del entorno en donde se encuentran (Robledo-Fava et al., 2019).

Por otro lado, se realza que el confort térmico es diferente en la percepción de cada persona, en ello influyen los factores emocionales y psicológicos en un momento dado, siendo un conjunto de elementos, que deben determinar la temperatura de una vivienda en torno a la adecuación de diversas circunstancias (FEGECA, 2017).

Bajo dicho contexto, se resalta la relevancia de considerar las condiciones climatológicas latitudinales de Perú, siendo el bienestar térmico en dicho espacio geográfico el que se encuentra en el rango de 21 °C a 26 °C, considerando a la par el superar las temperaturas específicas de Tuti que oscilan entre los 10 °C hasta los 6 °C, con una época de vientos entre agosto a septiembre (AEDES, 2012).

2.2.7 Parámetros ambientales de confort térmico

Dentro de los parámetros ambientales medibles a involucrar en la presente investigación respecto a las condiciones del confort térmico interno según FEGECA (2017) se encuentran:

- Temperatura del aire: es un indicador en el que se controla el nivel de calentamiento o enfriamiento del aire, el cual se da como resultado del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra; su instrumento principal es el termómetro, tomando en cuenta que acorde la ISO 7730 en invierno debe mantenerse entre 19 a 21 grados y en verano entre 20 a 24 grados.
- Humedad relativa del aire: es un indicador que se mide en razón del contenido efectivo de vapor en la atmósfera y la cantidad de vapor que satura al aire en la misma temperatura, de acuerdo con la norma ISO 7730, en invierno debe mantenerse entre 30 a 60 % y en verano entre 40 a 70 %.
- Radiación solar: es un indicador de la radiación emitida por un cuerpo acorde a su temperatura.
- Velocidad media del aire: la velocidad del aire es un indicador que implica el efecto de la sensación de frío, por lo que en el interior de una habitación debe oscilar entre 0,1 a 0,3 m/s, siendo a su vez un indicador dependiente de la época del año. Según la norma ISO 7730, en invierno debe ser menor a 0.15 m/s y en verano debe ser menor a 0.25 m/s.

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Calefacción centralizada

Es un sistema de climatización que consiste en la proporción de calor en distintos ambientes en una misma vivienda de un solo punto de generación de calor (Souza, 2021).

2.3.2 Calefacción por radiadores

Es un equipo que se centra en la elación de aluminio para fomentar la circulación de agua caliente, en la cual el aire se calienta el ingresar en contacto con él (Souza, 2021).

2.3.3 Confort

El confort se concibe como una sensación en estado neutro que una persona siente en torno a un ambiente térmico dado (FEGECA, 2017).

2.3.4 Disconfort

El disconfort se concibe como una de las condiciones locales específicas, en la cual la diferencia de temperatura vertical entre la cabeza y los pies se da por asimetría radiante, enfriamiento convectivo local o contacto en un piso caliente o frío (FEGECA, 2017).

2.3.5 Eficiencia energética

La eficiencia energética es un indicador de la capacidad para hallar mejores resultados con respecto a cualquier actividad que emplee la menor cantidad de recursos energéticos (Alpaca, 2022).

2.3.6 Heladas

Las épocas de helada se le conoce a la disminución de temperatura en un determinado lugar llegando a 0ºC o valores menores los cuales pueden provocar daños en la vida humana (Centro Nacional de Estimación, 2022).

2.3.7 Hidrónicos

Es un sistema centrado en la distribución de energía térmica o frigorífica para calefacción o acondicionamiento de espacios, a través de tubos hídricos, en los cuales circula agua fría o caliente (FEGECA, 2017).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método, tipo o alcance de la investigación

3.1.1 Método de investigación

El presente estudio fue de método deductivo, ya que se partió de teorías generales sobre confort térmico y sistemas de calefacción, para luego aplicarlas al diseño y simulación de un sistema específico de piso radiante con energía solar. Este razonamiento permitió estructurar un marco lógico basado en leyes físicas y principios de ingeniería térmica, a fin de predecir el comportamiento del sistema modelado (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.1.2 Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo básica, ya que tuvo como finalidad generar conocimiento teórico y técnico sobre la viabilidad del uso de pisos radiantes con energía solar térmica en contexto altoandinos, sin intervenir en una situación real ni manipular variable de campo. Además, se desarrolló bajo el enfoque cuantitativo, dado que los datos fueron recolectados y procesados de forma objetiva, medible y numérica, con base en simulaciones computacionales que siguieron parámetros físicos validados. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), este enfoque se caracteriza por "analizar relaciones entre variables mediante procedimientos estadísticos o de modelado que garanticen la precisión de las mediciones" (p.168).

3.1.3 Alcance de investigación

El alcance de la investigación fue descriptivo, dado que se orientó a caracterizar el comportamiento térmico de un sistema de piso radiante con energía solar térmica, sin manipular deliberadamente ninguna variable, ni intervenir en un entorno real. En palabras de Ñaupas et al. (2018) "los estudios descriptivos se utilizan para observar, registrar, analizar y presentar la naturaleza de un fenómeno sin alterarlo; su finalidad es especificar propiedades y características de una situación tal como se manifiesta en la realidad o es proyectada teóricamente".

Este alcance es pertinente, ya que el estudio se basa en la recolección de datos técnicos mediante simulaciones computacionales, que permiten representar el fenómeno de análisis sin introducir variaciones experimentales. Se describen así los niveles térmicos alcanzados bajo distintas condiciones de diseño, permitiendo identificar comportamientos relevantes para su aplicación práctica en viviendas altoandinas.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Diseño de la investigación

La presente investigación fue de diseño no experimental, debido a que no se manipuló directamente la variable independiente en un entorno físico real ni se administraron tratamientos sobre unidades observables en campo. En lugar de ello, se recurrió a una simulación computacional mediante el software SolidWorks, que permitió modelar el comportamiento térmico de diferentes configuraciones de piso radiante bajo condiciones. Esta simulación constituye una representación artificial del fenómeno, pero no implica un experimento en sentido estricto, puesto que no existe una intervención directa ni control real en las variables en un entorno físico observable.

Según Ñaupas et al. (2018), en los diseños no experimentales, "el investigador no manipula intencionalmente las variables independientes, sino que observa los fenómenos tal como se presentan, o bien los proyecta teóricamente, sin alterar su dinámica" (p. 97). Esto justifica plenamente el uso de simulaciones computacionales como técnica de observación indirecta dentro del enfoque no experimental.

Asimismo, se adopta un corte temporal transversal, dado que los datos fueron recolectados y procesados en un único momento del tiempo, sin seguimiento longitudinal. Esta decisión metodológica está alineada con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), quienes señalan que en los estudios transversales "las variables se observan en un solo tiempo y se analizan sus relaciones sin manipulaciones experimentales" (p. 176).

Por consiguiente, se llevó a cabo las siguientes acciones acorde a los objetivos, cuyo detalle en diagrama de flujo se encuentra en el Anexo 2.

En la primera fase, se tomó en consideración las condiciones climáticas de Tuti, para lo cual, se empleó los registros de Senamhi, en base a ello se recopiló información existente de los parámetros ambientales referentes de una habitación ubicada en el distrito Tuti, considerando registros referenciales de la temperatura interna del recinto y humedad relativa del aire en la localidad; posteriormente, se consideraron los parámetros físicos de las viviendas de dicha zona altoandina, para tener un referente inicial de contraste con la realidad para la simulación a realizar, destacando que se emplearon fuentes secundarias provenientes de Senamhi y el Ministerio del Ambiente, además de Scielo, Google Académico, Redalyc, ScienceDirect, Dialnet, ERIC, Web of Science, PubMED y Scopus, a fin de tener registros de referencia de estudios ya existentes de la localidad en los últimos 6 años, teniendo como palabras clave

“Clima + Tuti” “Parámetros físicos + viviendas + zonas altoandinas +Tuti” y “Características + viviendas altoandinas + Tuti”.

En la segunda fase se desarrolló el diseño por computadora de una habitación tradicional de Tuti, según las características físicas obtenidas en la primera fase, las cuales se plasmaron en el programa SOLIDWORKS. Para ello, se tomó en cuenta los coeficientes de transmisión de calor de acuerdo a los materiales obtenidos de las características físicas de los recintos y se consideró las condiciones climáticas externas de Tuti, en dicho diseño por computadora, se procedió a realizar los siguientes pasos:

- Cálculo de coeficientes de transmisión de calor

Se plantearon los materiales a emplear en el diseño del recinto y con ello se calculó el coeficiente térmico tanto de los muros, como del suelo y ventanas, mediante la siguiente fórmula:

$$K_m = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_n}{\lambda_n}} \qquad (1)$$

Donde:

Km = Coeficiente de transmisión de calor del material (W/m2°C)

e = Espesor del material (m)

λ = Conductividad térmica específica de cada material (W/m°C)

he, hi = Coeficiente superficial de transmisión de calor, exterior e interior

Destacando que el valor de la conductividad térmica (λ) que posee cada material, se extraerá de bibliografía revisada.

- Corroboración de límites de transmisión térmica

Al obtener los coeficientes de transmisión térmica de cada material del recinto, se contrastó la data obtenida con los coeficientes máximos establecidos por la Norma UNE-EN 1264, la cual es aplicable a los sistemas de calefacción y refrigeración.

- Cálculo de potencia que requiere el sistema

Como cálculo base del sistema del suelo radiante se inició con el establecimiento de la potencia requerida en el sistema, a través de la densidad del flujo térmico en torno al área que pretende ser calefactada para conocer los kilovatios requeridos, mediante la siguiente fórmula proveniente de la curva característica básica para los suelos radiantes:

$$q_G = 8.92\left(\theta_{f,m} - \theta_i\right)^{1,1} \qquad (2)$$

Donde:

qG = Densidad de flujo térmico límite (W/m2)

Θf,m = Temperatura de la superficie del suelo (°C)

Θi = Temperatura del recinto (°C)

Por consiguiente, para el cálculo de la temperatura de la superficie del suelo, se destaca que, esta depende del flujo calorífico (W/m2) que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q = h * A(T_{ms} - T_i) \quad o \quad q_A = \frac{Q}{A} = h(T_{ms} - T_i) \qquad (3)$$

Donde:

Q = Flujo calorífico

h = Coeficiente de transmisión de calor del suelo

Θf,m = Temperatura de la superficie del suelo

Ti = Temperatura del aire interior

Considerando para la temperatura de la superficie del suelo el siguiente cálculo:

$$\theta_{f,m} = \frac{q_A}{h} + T_i = \frac{\frac{Q}{A}}{h} + T_i \qquad (4)$$

- Cálculo de longitudes de tubería de los circuitos

Para la longitud de las tuberías de cada circuito se empleó la siguiente fórmula:

$$L = \frac{A}{e} + 2L_c \qquad (5)$$

Donde:

L = Longitud de tubería del circuito (m)

A = Área a calefactar cubierta por el circuito (m2)

e = Distancia entre tubos (m)

Lc = Distancia entre el colector y el área a calefactar (m)

- Cálculo de temperatura del agua de impulsión

Teniendo en cuenta que la temperatura de impulsión es una sola en toda la instalación y circuitos, se consideró el cálculo de esta acorde al flujo calorífico (qA), la temperatura interior de diseño (Ti) y el coeficiente de transmisión térmica (U). Para ello, se inició con el cálculo de la desviación media de temperatura aire-agua, mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta\theta_H = \frac{q}{K_H} \qquad (6)$$

Donde:

q = Densidad de flujo térmico (W/m2)

KH = Constante de la instalación

ΔϴH = Desviación media de la temperatura aire-agua (K)

Destacando en ello que para la constante de la instalación se maneja la siguiente fórmula:

$$K_H = B * a_B * a_T^{m_T} * a_u^{m_u} * a_D^{m_D} \qquad (7)$$

Siendo aB el factor de revestimiento del suelo, que posee la siguiente expresión:

$$a_B = \frac{\frac{1}{\propto} + \frac{e_m}{\lambda_{rm}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{e_m}{\lambda_m} + R_{sup}} \qquad (8)$$

Donde:

α = Coeficiente de la capa para suelo radiante (W/m2K)

λrm = Conductividad de referencia del mortero (W/mK)

em = Espesor de la capa del mortero (m)

λm = Conductividad térmica del mortero (W/mK)

Rsup = Resistencia térmica del revestimiento superficial (madera de piso flotante)

Teniendo en cuenta para el cálculo de la resistencia térmica, la siguiente expresión:

$$R_{sup} = \frac{e_{cf}}{\lambda_{cf}} \qquad (9)$$

Determinando así el factor de paso de tubería en función de la resistencia térmica del revestimiento.

Considerando para el cálculo respectivo de la temperatura de impulsión desde la central de agua caliente la siguiente fórmula:

$$T_{Imp} = T_{amb} + \frac{\Delta_{Ti-Tr}}{1 - e^{-\frac{\Delta_{Ti-Tr}}{\Delta\theta_H}}} \qquad (10)$$

Donde:

Tamb = Temperatura ambiente en la vivienda (K)

Timp = Temperatura de impulsión (K)

ΔTi-Tr = Diferencia entre la temperatura de impulsión y de retorno en el circuito (K)

- Cálculo del caudal del agua

Considerando que el caudal depende de la potencia térmica emitida y el salto térmico entre la impulsión y el retorno del circuito, se empleó la siguiente fórmula:

$$m = \frac{Q}{c_{pw}(T_{imp} - T_{ret})} \qquad (11)$$

Donde:

m = Caudal de agua (kg/s >> L/s)

Q = Potencia térmica emitida (W)

Cpw = Calor específico del agua (4.180 J/kg*k)

Timp – Tret = Salto térmico del agua (entre 5°C y 10°C)

- Diseño de los circuitos

Se consideró la forma de la habitación, que, al no ser de una forma geométrica compleja, ni de gran dimensionamiento, se considera recomendable la forma de distribución más sencilla que es la de serpentín simple. Por lo tanto, el salto térmico, Te – Ts, será acusado entre los extremos de la habitación, por lo que, se tuvo en consideración que este debe ser menor de 5 ºC (Te – Ts £ 5 ºC).

- Cálculo de pérdidas en los circuitos

En el diseño se calculó las pérdidas de fricción en la longitud de las tuberías de los circuitos con la fórmula de Darcy-Weisbach que se muestra a continuación:

$$h_f = f * \frac{L * v^2}{D * 2g} \qquad (12)$$

Donde:

hf = Pérdida de carga (m)

f = Coeficiente de fricción de la tubería

L = Longitud del circuito (m)

v = Velocidad del agua en la tubería (m/s)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

g = Gravedad (9.81 m/s2)

Siendo así la fórmula acorde al caudal:

$$v^2 = \frac{16Q^2}{\pi^2 * D^4} \quad (13)$$

- Alimentación solar directa

Para dimensionar el requerimiento de termas solares, se debe considerar el caudal de agua determinado; por lo tanto, se inició con el cálculo de energía necesaria:

$$Q = M * C_p * (T_1 - T_2) \quad (14)$$

Donde:

Q = Energía requerida

Cp = Calor específico (J/kg/°C)

M = Flujo de agua caliente requerida (L/s)

T1 = Temperatura del agua caliente requerida (°C)

T2 = Temperatura del agua fría (°C)

Con ello, se calculó el área de la superficie del colector requerida:

$$Área\ del\ colector\ requerida = \frac{Q}{I * Eef} \quad (15)$$

Donde:

Q = Energía requerida

I = Radiación solar (KWh/m2)

Eef =Eficiencia de la terma solar

Teniendo con ello, la data necesaria para trabajar acorde a la ficha técnica de las termas solares para determinar el dimensionamiento necesario de terma solar requerida para el recinto.

Siendo así los cálculos con los que se procedió a realizar un diseño por computadora de una habitación con sistema de suelos radiantes por energía solar directa.

En la tercera fase, se llevó a cabo el registro de data obtenida en la simulación del recinto con adición del sistema de calefacción con piso radiante, alimentado con energía solar térmica en el software SOLIDWORKS, considerando tanto los parámetros ambientales y de temperatura interna del recinto, para determinar si se encuentra dentro del confort térmico, tomando en cuenta, la humedad relativa del aire generada, además de los parámetros físicos como rango de operación del sistema y conducción de calor de la pared; en base a ello, los datos resultantes de la simulación se compararon con la data referencial de la primera fase para determinar si el confort térmico logró mejorar con el sistema.

En la cuarta fase, se estableció el análisis del ahorro estimado generado por la implementación del sistema de piso radiante con energía solar térmica, en comparación con los sistemas de calefacción convencionales, además de hallar los indicadores económicos financieros de la inversión en el sistema. Para ello, se tomaron en cuenta los costos de inversión inicial, costos operativos mensuales y el ahorro acumulado a lo largo del tiempo.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1 Técnicas

Para el presente estudio, se consideró las siguientes técnicas de recolección de datos:

a) Observación indirecta

Es una técnica que se empleó para apreciar, seleccionar y registrar de forma sistemática el comportamiento de las variables en la simulación; para ello, se tomó en consideración el modo estructural y confort actual de una habitación en el distrito Tuti.

b) Análisis documental

Es una técnica que se empleó para el análisis de data referencial de las condiciones climáticas del distrito de Tuti y de sus viviendas.

3.3.2 Instrumentos

Los instrumentos a emplear en el presente estudio para la recolección de datos, fueron la ficha de registro de data bibliográfica para el análisis documental referencial de condiciones climáticas de Tuti y sus viviendas. Además, el reporte de data obtenida mediante el programa de SOLIDWORKS para la técnica de observación.

a) Validez

La validez se concibe como una evaluación cualitativa que poseen los instrumentos para la medición respectiva de las variables (Posso y Bertheau, 2020). Sin embargo, no se requiere de la validez de juicio de expertos, debido a que se trabajó con registros de data de entidades como SENAMHI, Ministerio del Ambiente y el reporte otorgado por SOLIDWORKS.

b) Confiabilidad

La confiabilidad es una evaluación cuantitativa de los instrumentos en torno a que tan adecuados son para medir las variables (Posso y Bertheau, 2020). Por ello, la confiabilidad de los instrumentos se garantizó al apegarse al seguimiento de entidades como SENAMHI, Ministerio del Ambiente y el programa SOLIDWORKS para la recopilación data válida.

3.3.3 Técnicas de procesamiento de datos

El análisis de data se desarrolló mediante el registro y procesamiento de parámetros meteorológicos, físicos y ambientales que fueron introducidos en el programa de simulación SolidWorks Flow Simulation, el cual permitió evaluar la transferencia de calor en el sistema de suelo radiante, modelando la interacción entre los componentes internos del recinto y el comportamiento del fluido caloportador en función del tiempo. Esta herramienta, reconocida por su precisión en simulaciones de dinámica térmica y de fluidos, fue seleccionada por su capacidad para modelar condiciones de frontera personalizadas, visualizar flujos de temperatura en 3D y establecer ciclos térmicos realistas con base en datos climatológicos reales.

Como complemento, se utilizó el software Open BIM ORKLI Suelos Radiantes, el cual permitió verificar el diseño y la correcta distribución de los circuitos de calefacción del piso radiante, además de proporcionar recomendaciones técnicas para la selección de colectores, mangueras y válvulas. Este software destaca por su integración directa con los equipos de climatización ORKLI y por automatizar cálculos térmicos de dimensionamiento conforme a normativas europeas.

La elección de ambos programas fue fundamentada en su especialización; es decir, SOLIDWORKS como herramienta de análisis y simulación térmica detallada bajo parámetros físicos, y ORKLI como herramienta de validación del diseño de ingeniería aplicada a sistemas de climatización por piso radiante. Frente a otras herramientas como EnergyPlus, OpenStudio o DesignBuilder, se optó por estas dos debido a su accesibilidad, compatibilidad con equipos locales y su capacidad para generar reportes visuales que permiten comparar de manera precisa

las variables térmicas internas del recinto frente a la temperatura externa, cumpliendo así con los objetivos de evaluar la eficiencia térmica y la viabilidad del sistema propuesto.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Condiciones climáticas actuales del distrito Tuti

4.1.1 Condiciones climáticas externas del distrito de Tuti

Para determinar las condiciones climáticas actuales del distrito Tuti, se ha tomado en consideración las estaciones cercanas a Tuti, dentro de ellas en la página web de Senamhi se encontró la estación de Chivay y la estación de Sibayo, las cuales, se visualizan a continuación en la Figura 5.

Figura 5. *Ubicación de estaciones Sibayo y Chivay cercanas a Tuti.*

Nota. La figura muestra la localización de las estaciones climatológicas de Sibayo (noreste) y San Andrés – Chivay (suroeste), en relación directa con el distrito de Tuti, provincia de Caylloma, región Arequipa. Estas estaciones proporcionaron los datos meteorológicos empleados en la simulación térmica del sistema de piso radiante, incluyendo temperatura mínima, radiación solar y humedad relativa. Los radios de influencia se seleccionaron en función de la altitud y la distancia geográfica, para garantizar condiciones representativas del microclima local.

Por lo tanto, en base a los registros de Senamhi en el mes de octubre del 2023, de la estación de Chivay (Anexo 2), se halló la información que encuentra en la Tabla 2.

Tabla 2. Registros climáticos 2022 de estación Chivay.

	Temperatura (°C)	Precipitación (mm/hora)	Humedad (%)
Valor máximo	23.9	S/D	56
Valor mínimo	-2.1	S/D	5
Valor promedio	10.03	S/D	22.94
Desviación estándar	7.19	S/D	11.67

Nota. Se presentan los valores extremos, promedio y dispersión estadística de las variables de temperatura y humedad relativa, registrados en la estación Chivay durante el año 2022. La columna de precipitación no dispone de datos registrados (S/D) debido a la ausencia de reportes continuos en dicho parámetro durante el periodo de análisis. Estos datos fueron utilizados como insumos para el modelado térmico en la simulación computacional del sistema de piso radiante.

En tal sentido, a los datos que se mencionan en la Tabla 2, se extrajo un promedio simple del registro mensual obtenido, siendo el valor promedio de temperatura de 10.03°C, con un valor máximo de temperatura de 23.9°C y con un valor mínimo de temperatura de -2.1°C con una tendencia a variar de 7.19, siendo el porcentaje de humedad promedio del ambiente externo de 22.9%, con un valor máximo de 56%, cuyo valor mínimo resulta siendo de 4%.

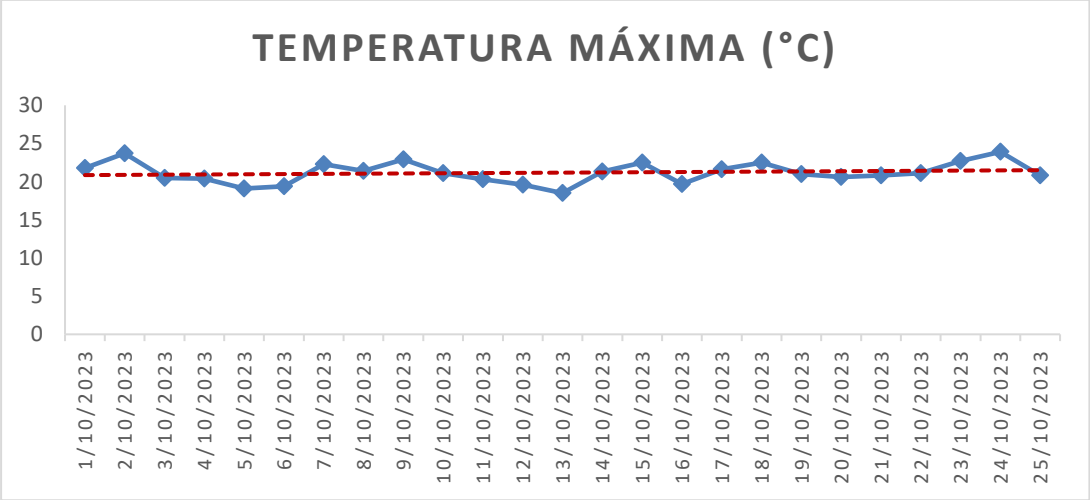


Figura 6. *Tendencia de temperatura máxima externa en estación de Chivay.*

Nota. Se observa una fluctuación diaria en la temperatura máxima con valores que oscilan entre 18.0 °C y 25.1 °C. La línea discontinua roja representa la media del periodo, estimada en 21.75 °C, lo que permite identificar días atípicos por encima del promedio térmico. Esta información fue utilizada como insumo para definir las condiciones límite de la simulación térmica en la configuración del sistema de piso radiante.

En tal sentido, acorde a los resultados de la Figura 6, se ha detectado que, según los registros de la estación de Chivay, la temperatura máxima surgió el 2 de octubre en 23.7°C y el 24 de octubre con 23.9°C, oscilando la temperatura máxima entre 18.5°C y 23.9°C.

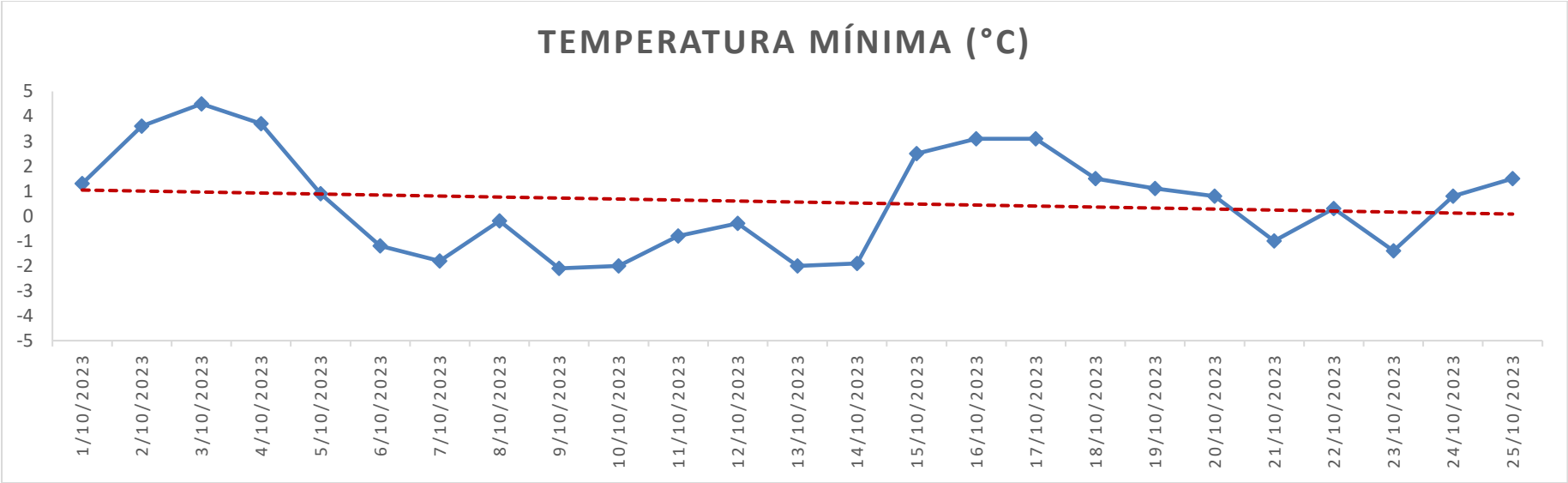


Figura 7. *Tendencia de temperatura mínima externa en estación de Chivay.*

Nota. La gráfica presenta la evolución de las temperaturas mínimas en el distrito de Chivay durante el mes de octubre de 2023. Se observan valores que varían entre -3.5 °C y 4.5 °C, con predominancia de registros por debajo de los 0 °C entre los días 6 y 13. La línea discontinua roja representa el promedio del periodo (0.56 °C). Esta información fue fundamental para definir escenarios críticos en la simulación térmica del piso radiante, principalmente en el cálculo de la carga térmica nocturna.

Por otra parte, acorde a los resultados de la Figura 7, se ha detectado que, según los registros de la estación de Chivay, la temperatura mínima en octubre surgió el 9 de octubre de -2.1°C y el 13 de octubre con -2°C, oscilando la temperatura mínima entre -2°C y 4.5°C.

Por otro lado, en la segunda estación cercana a Tuti, se consideró a la del distrito de Sibayo, cuyo resumen se refleja en la Tabla 3 (Anexo 3):

Tabla 3. Registros climáticos 2022 de estación Sibayo.

	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)
	Máxima	**Mínima**	
Valor máximo	22.9	0.5	69.9
Valor mínimo	18.3	-9.8	26
Valor promedio	20.73	-5.72	43.70
Desviación estándar	1.50	2.96	10.35

Nota. Se presentan los valores extremos, promedio y desviación estándar de temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa, con base en los datos históricos provistos por SENAMHI. Esta información se utilizó para modelar las condiciones de frontera en las simulaciones térmicas del sistema de piso radiante, considerando el comportamiento climático del distrito de Sibayo, geográficamente próximo a Tuti.

En base a los resultados obtenidos en la Tabla 3, en la estación de Sibayo se halló como temperatura máxima 22.9°C, teniendo como temperatura mínima -9.8°C, denotando una humedad relativa en ambiente un valor promedio de 43.70%, con un valor máximo de 69.9% y un valor mínimo de 69.9%.

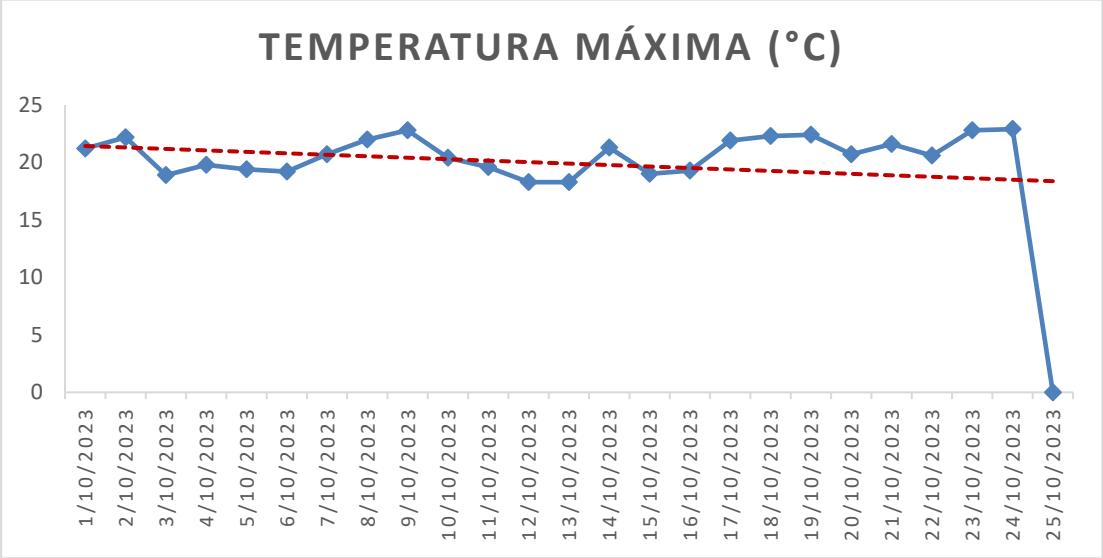


Figura 8. *Tendencia de temperatura máxima externa en estación de Sibayo.*

Nota. La gráfica presenta la evolución de las temperaturas máximas en Sibayo. Se aprecia una tendencia estable con valores entre 19.1 °C y 23.9 °C hasta el 24 de octubre, con una caída atípica abrupta el 25 de octubre (por debajo de 5 °C), probablemente debida a una anomalía de medición o falta de registro. La línea discontinua roja representa el promedio del periodo, estimado en 21.07 °C. Esta información fue empleada como base para definir condiciones climáticas medias en la simulación térmica.

En tal sentido, acorde a los resultados de la Figura 8, se ha detectado que, según los registros de la estación de Sibayo, la temperatura máxima según registros de octubre surgió el 24 de octubre en 22.9°C y el 25 de octubre se dio una menor temperatura con 0°C, oscilando la temperatura máxima entre 0°C y 22.9°C. Cabe resaltar que la caída abrupta en la temperatura máxima registrada en la estación de Sibayo podría explicarse mediante varios factores relacionados con el clima local y las características geográficas de la región, puesto que, es probable que el cambio estacional tenga un impacto significativo, debido a que en esta región las transiciones hacia el otoño o el invierno suelen estar marcadas por descensos pronunciados en la temperatura, lo cual es común en zonas de alta montaña. Asimismo, considerando que la ubicación geográfica de Sibayo, situada a más de 3,800 metros sobre el nivel del mar, la convierte en una localidad especialmente vulnerable a variaciones climáticas extremas, la gran altitud permite que las temperaturas durante el día sean elevadas debido a la intensa radiación solar; sin embargo, este mismo factor provoca que el calor se disipe rápidamente durante la noche y en días de baja insolación, lo que ocasiona fluctuaciones bruscas en la temperatura como se refleja entre el 24 de octubre al 25 de octubre del 2023.

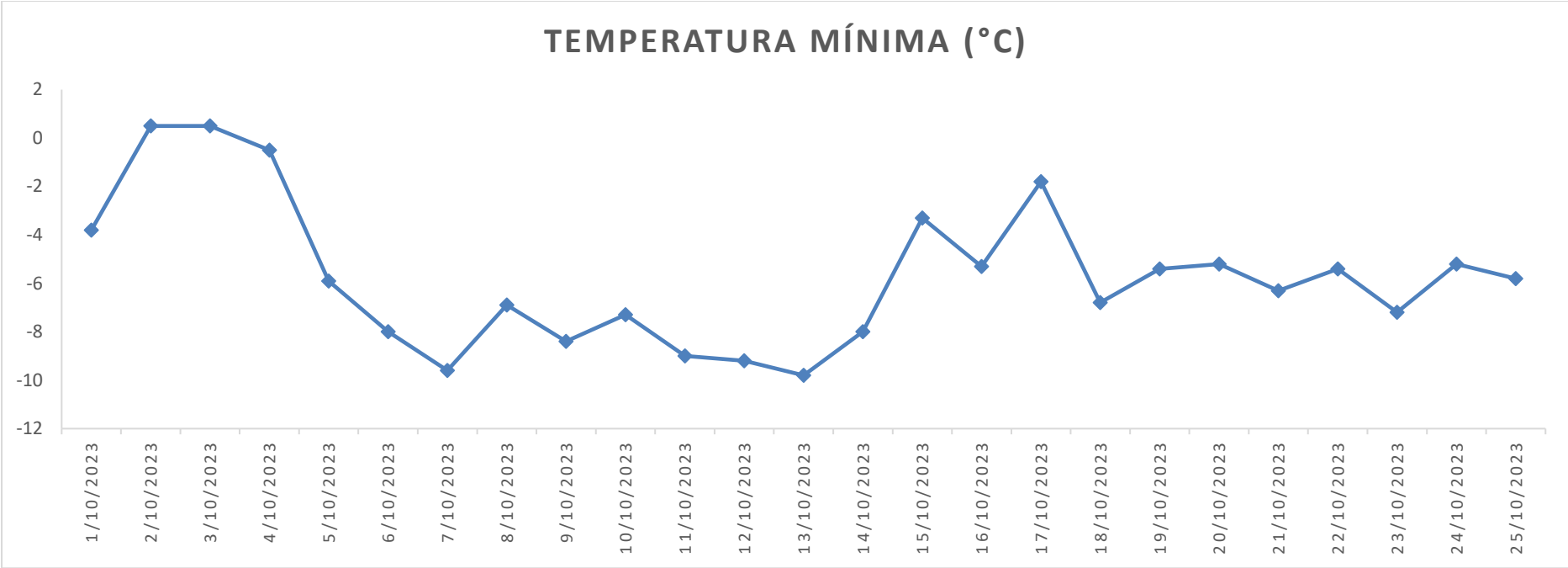


Figura 9. *Tendencia de temperatura mínima externa en estación de Sibayo.*

Nota. La gráfica muestra una alta variabilidad térmica nocturna con temperaturas que fluctúan entre 1.2 °C y -10.8 °C. Los registros evidencian condiciones de helada persistente desde el 5 hasta el 25 de octubre, siendo los días 7, 12 y 14 los de menor temperatura. Esta información fue utilizada para modelar el peor escenario de pérdida térmica en la simulación computacional del sistema de piso radiante, particularmente para validar el comportamiento del sistema ante mínimos térmicos sostenidos.

Por otra parte, acorde a los resultados de la Figura 9, se ha detectado que, según los registros de la estación de Sibayo, la temperatura mínima en octubre surgió el 13 de octubre de -9.8°C y registrando una mayor temperatura el 2 de octubre con 0.5°C, oscilando la temperatura mínima entre 0.5°C y -9.8°C.

Siendo así, que, en base a los valores obtenidos, debido a la cercanía que poseen al distrito Tuti, se realizó un cálculo de promedios de los datos otorgados por ambas estaciones de Chivay y Sibayo, de acuerdo a los promedios de data de ambas estaciones se halló la proyección de la siguiente información reflejada en la Tabla 4, que será una base a considerar en las condiciones climáticas para la simulación:

Tabla 4. Condiciones climáticas a considerar en vivienda prototipo de Tuti.

	Temperatura (°C)	**Humedad (%)**
Valor máximo	21.7	62.95
Valor mínimo	-3.8	15.5
Valor promedio	8.35	33.32
Desviación estándar	3.88	11.01

Nota. Se presentan los valores extremos, promedio y desviación estándar de temperatura ambiente y humedad relativa, registrados por SENAMHI para el distrito de Tuti durante el año 2022. Estos valores fueron utilizados como parámetros de entrada en la simulación del sistema de piso radiante, representando el comportamiento climático real de la zona altoandina, caracterizado por bajas temperaturas nocturnas y niveles de humedad moderadamente bajos.

En tal sentido, dentro de la Tabla 4, se ha obtenido un valor mínimo de temperatura de -3.8°C, que resulta siendo menor a la temperatura mínima de Chivay de -2.1°C y mayor a la temperatura mínima de Sibayo de -9.8°C, hallando como valor máximo de temperatura 21.7°C, que es menor a la temperatura máxima de Chivay de 23.9°C y menor a la temperatura máxima de Sibayo de 22.9°C.

4.1.2 Condiciones de viviendas en Tuti

a) Material convencional de viviendas en Tuti

Para tomar en consideración el material a emplear en el diseño del recinto, se tomó en cuenta los registros del último censo realizado por el INEI en el año 2017, obteniendo en base a los resultados, el siguiente resumen que se visualiza en la Tabla 5:

Tabla 5. Condiciones de vivienda a considerar en vivienda prototipo de Tuti.

Censos del INEI (Último registro 2017)											
Departamento	**Provincia**	**Distrito**	**Total de viviendas particulares**	**Tipo de material predominante en las paredes exteriores**							
				Material noble		**Material de adobe o tapia**		**Material precario**			
				Cifras absolutas	**%**	**Cifras absolutas**	**%**	**Cifras absolutas**	**%**		
Arequipa	Caylloma	Tuti	253	19	7.5	128	50.6	106	41.9		
				Tipo de material predominante en los pisos							
				Cemento		**Tierra de chacra**		**Parquet, losetas o similares**			
				Cifras absolutas	**%**	**Cifras absolutas**	**%**	**Cifras absolutas**	**%**		
				35	13.8	217	85.8	1	0.4		
				Tipo de material predominante en los techos							
				Concreto armado		**Calamina o teja**		**Material precario**			
				Cifras absolutas	**%**	**Cifras absolutas**	**%**	**Cifras absolutas**	**%**		
				15	5.9	198	78.3	40	15.8		

Nota. Se presentan los datos censales correspondientes a 253 viviendas particulares, especificando los materiales predominantes en paredes, pisos y techos. Estos datos fueron utilizados para caracterizar el tipo de vivienda típico de la zona altoandina, sirviendo de base para definir los parámetros físicos y térmicos en la simulación del sistema de piso radiante. Se observa una alta prevalencia de materiales de baja inercia térmica como el adobe, la calamina y la tierra de chacra, lo cual favorece la pérdida de calor interior y limita el confort térmico.

En base al análisis del último censo realizado en Arequipa durante el año 2017, se detectó que de un registro de 253 viviendas particulares de Tuti, el material predominante en las paredes exteriores es el adobe o tapia, el cual representa el 50.6% de los recintos; además, se tiene como material predominante en los pisos la tierra de chacra en el 85.8% de hogares, siendo el material preponderante en los techos calamina o tejas en el 78.3% de viviendas. Cabe resaltar que, como se refleja en la Figura 10, el estilo tradicional de las viviendas en Tuti es un techo a 2 aguas.

Figura 10. *Estilo de vivienda predominante en Tuti. Tomada de Aedes (2012).*

Nota. La imagen superior muestra la vista panorámica del área urbana de Tuti, mientras que la imagen inferior ilustra el modelo habitacional más frecuente: viviendas unifamiliares construidas con muros de adobe, techos de calamina y pisos de tierra compactada. Estas edificaciones presentan una baja capacidad de aislamiento térmico, lo que contribuye a la pérdida rápida de calor interior durante las noches de helada. Esta tipología fue tomada como referencia para la simulación del comportamiento térmico del sistema propuesto de piso radiante solar.

En tal sentido, a ello se complementó los estudios de línea base de viviendas en Tuti, realizado por Aedes en el año 2012, que aún hasta el censo del 2017 sigue perdurando en el tiempo, donde se destacó que el 72% de pobladores poseen una vivienda particular, siendo así que las construcciones de dichas viviendas se concentran en el poblado de Tuti, las cuales, en su mayoría son rústicas, conservando es estilo tradicional de vivienda a base de barro, piedra, adobe, con techos de paja, calaminas o tejas en soporte de viguetas de madera rolliza, caracterizándose en ello el manejo de un área promedio de vivienda de 116.39 m2.

4.1.3 Condiciones climáticas internas de viviendas en Tuti

En base a registros del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, una vivienda elaborada a base de los materiales predominantes detectados se caracteriza por poseer la siguiente temperatura que se muestra a continuación en la Tabla 6:

Tabla 6. Temperatura promedio de recinto construido con materiales predominantes en viviendas del distrito de Tuti.

Condiciones de temperatura de vivienda		
Características de vivienda		
Área promedio	116.39 m^2 con 30 m^2 ocupados por la vivienda	
Techo	Viguetas de madera rolliza y teja artesanal	
Piso	De tierra	
Muro	Adobe (15 cm)	
Temperatura exterior	**Temperatura interior**	**Δ Temperatura Interna/exterior**
8.35°C	9.6°C	1.25°C

Nota. Se detallan las características constructivas típicas de las viviendas del distrito de Tuti, incluyendo área promedio ocupada, tipo de techado, material del piso y espesor del muro de adobe. El diferencial de temperatura registrado entre el ambiente exterior e interior es de apenas 1.25 °C, lo cual evidencia una baja capacidad aislante de la edificación, agravando el riesgo de disconfort térmico nocturno. Estos datos fueron utilizados como línea base para evaluar el impacto del sistema de piso radiante en condiciones reales. Tomada de: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013).

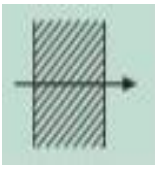
Por lo tanto, acorde a los resultados obtenidos, considerando una temperatura exterior de 8.35°C, se estipula teóricamente que existe una variación de temperatura entre el exterior e interior de los recintos en Tuti de 1.25°C, lo cual genera una temperatura interior promedio de 9.6°C, en un área de recinto de 30 m2 siendo el área restante zonas de siembra y crianza de animales.

4.2 Cálculo de diseño de prototipo sistema de piso radiante en recinto de Tuti

4.2.1 Cálculo de coeficientes de transmisión de calor

Para el presente caso, se tomó en consideración el valor del coeficiente superficial de transmisión de calor la data sustraída de la Norma NBE CT-79, que se encuentra en la Tabla 7:

Tabla 7. Coeficientes superficiales de transmisión de calor interior y exterior (hi y he) según la posición del cerramiento y el sentido del flujo térmico.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		**Situación del cerramiento**					
		De separación con espacio exterior o local abierto			**De separación con otro local, desván o cámara de aire**		
		$1/h_i$	**$1/h_e$**	**$1/h_i+1/h_e$**	**$1/h_i$**	**$1/h_e$**	**$1/h_i+1/h_e$**
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal > 60° y flujo horizontal		0.13 (0.11)	0.07 (0.06)	0.20 (0.17)	0.13 (0.11)	0.13 (0.11)	0.26 (0.22)
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤ 60° y flujo ascendente		0.11 (0.09)	0.06 (0.05)	0.17 (0.14)	0.11 (0.09)	0.11 (0.09)	0.22 (0.18)
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0.20 (0.17)	0.06 (0.05)	0.26 (0.22)	0.20 (0.17)	0.20 (0.17)	0.40 (0.34)

Nota. Los valores expresan la resistencia térmica superficial (1/hi, 1/he) en m²·h·°C/kcal (equivalente a m²·°C/W), para diferentes orientaciones de cerramiento (verticales, horizontales ascendentes o descendentes) y condiciones del entorno (espacio abierto, desván o cámara de aire). Esta información fue utilizada para modelar con precisión las condiciones de frontera térmica en las simulaciones computacionales del sistema de piso radiante. Los valores entre paréntesis corresponden a la conversión directa en unidades internacionales. Tomada de: Norma NBE CT-79.

En base a los materiales determinados para el diseño de la habitación, los coeficientes superficiales son:

- Para muros:

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.17 \frac{m^2 °C}{W} \qquad (16)$$

- Para suelo:

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.18 \frac{m^2 °C}{W} \quad (17)$$

- Para ventana:

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.17 \frac{m^2 °C}{W} \quad (18)$$

- Para puerta:

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.17 \frac{m^2 °C}{W} \quad (19)$$

- Para techo

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.14 \frac{m^2 °C}{W} \quad (20)$$

Posterior a ello, se estableció la conductividad térmica de cada material en la Tabla 8.

Tabla 8. Conductividad térmica de materiales de construcción y aislantes térmicos utilizados en la simulación

Material	Conductividad Térmica (W/m°C)
Adobe	0.46
Plástico (Polietileno de baja densidad)	0.33
Lana de vidrio	0.041
Concreto (Hormigón con áridos ligeros)	0.55
Suelo de Madera	0.21
Vidrio	0.95
Cámara de aire	0.024
Madera	0.21
Teja de arcilla cocida	1.00
Poliestireno expandido (20kg/m^3)	0.036

Nota. Se listan los valores de conductividad térmica (λ) en W/m·°C para distintos materiales estructurales y aislantes empleados en viviendas altoandinas o en simulaciones térmicas. Estos coeficientes fueron tomados como base para calcular la capacidad de transmisión de calor a través de paredes, pisos, techos y elementos aislantes en SolidWorks Flow Simulation. Un

menor valor de λ indica mayor capacidad aislante, lo cual es clave en el diseño del sistema de piso radiante con eficiencia térmica optimizada.

Por consiguiente, en base a los datos obtenidos se realizó el cálculo de la ecuación (1):

- Para muros

Tabla 9. Propiedades térmicas del muro de adobe utilizado en la simulación del sistema.

Material	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m°C)
Adobe	0.30	0.46

Nota. Se detalla el espesor estándar del muro de adobe (30 cm) y su correspondiente coeficiente de conductividad térmica (0.46 W/m·°C), según valores técnicos establecidos en literatura especializada. Este material, por su alta disponibilidad y bajo costo, es predominante en viviendas rurales altoandinas, aunque presenta una limitada capacidad aislante. Estos datos fueron empleados como entrada directa en el módulo de transferencia térmica del software SolidWorks para simular el comportamiento del flujo de calor hacia el interior de la vivienda.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{he} + \frac{1}{hi} + \sum \frac{en}{\lambda n}} \quad (1)$$

$$K_m = \frac{1}{\left(\frac{0.30m}{0.46\ \frac{W}{m°C}}\right) + 0.17\ \frac{m^2°C}{W}}$$

$$K_m = 1.216\ \frac{W}{m^2°C}$$

- Para suelo o losa

Se realizará un mayor aislamiento en el suelo en donde se colocará el sistema de calefacción, debido a que la parte inferior a este no será calefactada, para evitar así pérdidas de calor.

Tabla 10. Capas de materiales del sistema de suelo radiante y sus propiedades térmicas.

Material	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m°C)
Plástico (Polietileno de baja densidad)	0.000006	0.33
Lana de vidrio	0.05	0.041
Concreto (Hormigón con áridos ligeros)	0.045	0.55
Suelo de Madera	0.01	0.21

Nota. Se detallan los materiales utilizados en la simulación del sistema de piso radiante, indicando su espesor en metros y su respectiva conductividad térmica (λ) en W/m·°C. Estos

materiales fueron dispuestos en capas sucesivas, de acuerdo con una configuración optimizada de aislamiento y distribución de calor. La combinación de concreto con áridos ligeros, lana de vidrio y suelo de madera fue utilizada para evaluar la eficiencia térmica de las propuestas simuladas en SolidWorks.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{he} + \frac{1}{hi} + \sum \frac{en}{\lambda n}} \quad (1)$$

$$K_s = \frac{1}{\left(\frac{0.000006m}{0.33 \frac{W}{m°C}} + \frac{0.05m}{0.041 \frac{W}{m°C}} + \frac{0.045m}{0.55 \frac{W}{m°C}} + \frac{0.01m}{0.21 \frac{W}{m°C}} \right) + 0.18 \frac{m^2°C}{W}}$$

$$K_s = 0.654 \frac{W}{m^2°C}$$

- Para ventana con cámara de aire

Con vidrio simple

Tabla 11. Características térmicas del cerramiento translúcido (ventana de vidrio simple) considerado en la simulación.

Composición	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m°C)
Vidrio	0.005	0.95

Nota. Se presenta el espesor y coeficiente de conductividad térmica del vidrio simple utilizado en las ventanas de la vivienda modelo. Este tipo de cerramiento, común en viviendas rurales altoandinas, permite la entrada de luz, pero también representa una vía significativa de pérdida térmica. Los datos fueron empleados como condición de frontera para evaluar el comportamiento térmico del recinto en simulaciones con SolidWorks.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{he} + \frac{1}{hi} + \sum \frac{en}{\lambda n}} \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{(\frac{0.005m}{0.95W/m°C}) + 0.17 \frac{m2°C}{W}}$$

$$K = 5.71 W/m2°C$$

Según lo establecido por la norma NBE-CT-79 para una ventana con vidrio simple se considera un Kmax de 5.0W/m2°C. Evidenciándose que en base a los cálculos realizados para el presente caso dió un resultado de K igual a 5.71W/m2°C, el cual, sobrepasó al Kmax establecido por la

norma. Es por ello que se propone utilizar un sistema de ventana con vidrio doble y cámara de aire, para así establecer en el diseño una ventana que posea un valor de K por debajo al Kmax estipulado por la norma NBE-CT-79, a fin de evitar fugas de calor excesivas por la ventana.

Con vidrio doble y cámara de aire

Se consideró la página 41 de la Norma Europea NBE-CT-79, por lo tanto:

Tabla 12. Composición de ventana con doble vidrio y cámara de aire como sistema de aislamiento térmico.

Material	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m°C)
Vidrio	0.005	0.95
Cámara de aire	0.006	0.024
Vidrio	0.005	0.95

Nota. Se detallan los espesores y coeficientes de conductividad térmica de los materiales que componen una ventana de doble acristalamiento. Este tipo de cerramiento mejora significativamente la resistencia térmica frente al vidrio simple, gracias a la inclusión de una cámara de aire intermedia que actúa como barrera aislante. Los valores fueron utilizados en la simulación térmica como alternativa optimizada para reducir pérdidas de calor en ambientes de baja temperatura como Tuti.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{he} + \frac{1}{hi} + \sum \frac{en}{\lambda n}} \quad (1)$$

$$Kv = \frac{1}{\left(\frac{0.005}{0.95\,\frac{W}{m°C}} + \frac{0.006}{0.024\,\frac{W}{m°C}} + \frac{0.005}{0.95\,\frac{W}{m°C}}\right) + 0.17\,\frac{m^2°C}{W}}$$

$$Kv = 2.323\,\frac{W}{m^2°C}$$

Para el caso de una ventana de vidrio doble con cámara de aire de 6mm, la norma NBE-CT-79 establece un Kmax de 3.3W/m2°C, por lo que en base a los cálculos realizados se obtuvo un K igual a 2.323W/m2°C, cuyo valor se encontró por debajo del límite máximo establecido por la norma; por ello se optó por este tipo de ventana para el diseño del recinto.

- Para puerta

Tabla 13. Características térmicas de la puerta modelada en la simulación.

Material	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m°C)
Madera	0.0254	0.21

Nota. Se presentan los valores de espesor y conductividad térmica de una puerta de madera maciza de 25.4 mm, típicamente empleada en viviendas rurales altoandinas. Esta configuración fue integrada como cerramiento vertical en el modelo de simulación térmica para evaluar su influencia en la transferencia de calor entre el ambiente interior y el exterior.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{he} + \frac{1}{hi} + \sum \frac{en}{\lambda n}} \quad (1)$$

$$K_p = \frac{1}{\left(\frac{0.0254}{0.21\ \frac{W}{m°C}}\right) + 0.17 \frac{m^2°C}{W}}$$

$$K_p = 3.437\ \frac{W}{m^2°C}$$

- Para techo

Tabla 14. Propiedades térmicas de los materiales del techo considerados en la simulación.

Material	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m°C)
Teja de arcilla cocida	0.02	1.00
Poliestireno expandido (20kg/m^3)	0.0508	0.036

Nota. Se especifican los espesores y coeficientes de conductividad térmica (λ) de la teja de arcilla cocida y el poliestireno expandido, componentes clave en la cobertura del sistema de vivienda simulado. El uso combinado de ambos materiales busca evaluar la eficiencia del aislamiento térmico en cubiertas expuestas a condiciones extremas de temperatura en zonas altoandinas como Tuti.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{he} + \frac{1}{hi} + \sum \frac{en}{\lambda n}} \quad (1)$$

$$Kt = \frac{1}{(\frac{0.02}{1.00\ \frac{W}{m°C}} + \frac{0.0508}{0.036\ \frac{W}{m°C}}) + 0.14 \frac{m^2°C}{W}}$$

$$K_t = 0.636 \frac{W}{m^2°C}$$

- Corroboración de límites de transmisión térmica

Al obtener los coeficientes de transmisión térmica de cada material del recinto, los valores resultantes de transmisión térmica (K) hallados para cada uno de los componentes del recinto

(casa), son comparados con los valores de transmisión térmica máximos (Kmax) establecidos por la Norma UNE-EN 1264, lo cual, se verifica en la Tabla 15:

Tabla 15. Coeficientes de transmisión térmica en cerramientos comparados con los límites normativos.

Transmisión máxima en Cerramientos		
Cerramiento	**K (W/m²°C)**	**K_{max} (W/m²°C)**
Muros	1.216	1.40
Suelo	0.654	1.20
Ventana con cámara de aire	2.323	3.30
Puerta	3.437	3.50
Techo	0.636	0.70

Nota. Se muestran los coeficientes de transmisión térmica (K) calculados para cada tipo de cerramiento (muros, suelo, ventanas, puertas y techos) según la configuración de materiales simulada. Estos valores son contrastados con los valores máximos permitidos (Kmax) establecidos en normativas técnicas como la NBE-CT-79 o equivalentes, que definen los límites para lograr condiciones adecuadas de confort térmico en viviendas.

Cabe resaltar, que como se pudo apreciar en la Tabla 15, los coeficientes de transmisión térmica (K) de cada uno de los componentes del recinto, se encuentran por debajo de los parámetros del límite máximo de transmisión térmica (Kmax) establecidos por la norma europea.

- Carga térmica total

Esta dada por la siguiente fórmula:

$$Q_T = K * A(T_i - T_e) \qquad (21)$$

Donde:

K = Coeficiente de transmisión térmica

A = Área del recinto

Ti = Temperatura interior

Te = Temperatura exterior

Acorde a la Tabla 16, se recopiló información de los cerramientos del recinto para determinar la carga térmica de transmisión de calor, para una temperatura exterior de -3.8°C y una temperatura interior de confort de 20°C.

Tabla 16. Cálculo de la carga térmica total de la vivienda modelo considerando cerramientos y pérdidas por transmisión.

Cargas Térmicas	K (W/m²°C)	Forma	Largo (m)	Altura (m)	Área (m²)	Área a descontar (m²)	Área Total (m²)	ΔT	Q (W)	Q_T (W)
Muro delantero	1.216	Rectangular	6	2.4	14.4	Puerta (1.80) Ventana (0.64)	11.96	23.8	346.13	
Muro posterior	1.216	Rectangular	6	2.4	14.4	Puerta (1.80)	12.60	23.8	364.65	
Muro izquierdo	1.216	Rectangular Triangular	5 5	2.4 0.45	12 1.13	-	13.13	23.8	379.99	
Muro derecho	1.216	Rectangular Triangular	5 5	2.4 0.45	12 1.13	-	13.13	23.8	379.99	
Suelo	0.654	Rectangular	6	5	30	-	30.00	23.8	466.96	2734.40
Ventana	2.323	Cuadrado	0.8	0.8	0.64	-	0.64	23.8	35.38	
Puerta delantera	3.437	Rectangular	2	0.9	1.80	-	1.80	23.8	147.24	
Puerta posterior	3.437	Rectangular	2	0.9	1.80	-	1.80	23.8	147.24	
Techo dos aguas	0.636	Rectangular Rectangular	6 6	2.57 2.57	15.42 15.42	- -	30.84	23.8	466.82	

Nota. Se muestra el detalle del cálculo de cargas térmicas (Q) por transmisión para cada componente del envolvente térmico de la vivienda: muros, techo, suelo, puertas y ventanas. El valor final de carga térmica total (QT) representa la cantidad de calor que se pierde en un intervalo de temperatura ΔT de 23.8 °C. Los datos se calcularon en base a los coeficientes de transmisión térmica (K), las áreas útiles y la diferencia de temperatura entre el interior y exterior, conforme a la fórmula $Q = K \cdot A \cdot \Delta T$.

$$Q_{transmisión} = 2734.40W$$

Por consiguiente, este será el valor de carga térmica de calefacción que el sistema de suelo radiante debe suministrar al ambiente interno del recinto, cuyo valor se empleará para el cálculo y dimensionamiento del sistema de suelo radiante.

- Cálculo de densidad de flujo térmico límite

Se procedió a iniciar con el establecimiento de la potencia requerida en el sistema de suelo radiante mediante la fórmula (2), considerando acorde a la norma que para suelos radiantes la K es 8.92.

Por lo tanto, esta se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$q_G = K\left(\theta_{f,m} - \theta_i\right)^{1.1} \quad (2)$$

Para ello, se destaca en la presente investigación que se consideró en base a los estipulado por la norma europea UNE EN 1264 y la guía de suelo radiante de FEGECA, en torno al establecimiento de una temperatura ambiente estándar para el recinto de 20°C, considerando una temperatura máxima para la superficie del suelo radiante de 29°C, por lo que la diferencia entre la superficie del suelo radiante y la temperatura del recinto sería de 9°C, cuyo valor es llevado a la curva característica básica planteada por la norma UNE EN 1264 en el Anexo 05, la cual da un valor de 100 W/m2; a fin de corroborar dicho valor se aplica la siguiente fórmula:

$$q_G = 8.92\left(\theta_{f,m} - \theta_i\right)^{1.1} \quad (2)$$

$$q_G = 8.92\ (29 - 20)^{1.1}$$

$$q_G = 100\ \frac{W}{m^2}$$

Con los datos obtenidos en los cálculos anteriores, se procede a realizar la siguiente tabla:

Tabla 17. Densidad de flujo térmico en el interior del recinto.

Zona	$\theta_{f,m}$ (°C)	θ_i (°C)	q_G (W/m^2)
Interior del recinto	29	20	100

Nota. Se muestra la densidad de flujo térmico (q_G) alcanzada en el interior del recinto según los datos simulados, considerando la diferencia de temperatura entre la superficie del piso radiante (θ_(f_,m)) y la temperatura ambiente del aire interior (θ_i). Este valor representa la capacidad del sistema de calefacción para emitir calor por unidad de superficie.

Por lo tanto, gráficamente y matemáticamente se denota que se obtienen los mismos resultados para qG. En tal sentido, el valor obtenido de 100W/m2 establece la densidad de flujo térmico máximo para una temperatura interior de 20°C que el sistema de suelo radiante deberá entregar para evitar problemas de diseño y confort acorde a la norma europea, cuyos valores no deberán ser superados, siendo así data que se tomará en consideración para el cálculo de la potencia.

- Cálculo de la densidad de flujo térmico específico

La carga térmica total hallada (QT) se divide por la cantidad de m2 de la que constará el área del recinto, que en este caso es de 30m2, a fin de, determinar la densidad de flujo térmico específico (q), que deberá aportar el sistema de suelo radiante por metro cuadrado, tal como se muestra a continuación:

$$q = \frac{Q_T}{\acute{A}rea} \qquad (22)$$

$$q = \frac{2734.40W}{30m^2}$$

$$q = 91.15\ \frac{W}{m^2}$$

Según lo establecido por la norma UNE-EN 1264 el valor de q debe ser menor al valor de qG, por lo que, en el presente caso se estaría cumpliendo, ya que el valor de q hallado es igual a 91.15W/m2 y este es menor que qG, ya que este es igual a 100W/m2.

- Ubicación de los colectores

Los colectores en conjunto con la terma y paneles solares tienen la función de impulsar y retornar el agua caliente que va a circular por los circuitos de mangueras del suelo radiante. Debido a que el circuito de mangueras va conectado a los colectores, se debe asegurar que la ubicación de estos se encuentre lo menos distante y más centrada respecto a cada circuito de tuberías; de esa forma, se evite el uso de tramos demasiados largos de tubería. Con ello se puede evitar pérdidas de calor, así como pérdidas de presión por fricción dentro de las tuberías, lo cual, además, significa un ahorro en los costos de instalación. Se debe tener en cuenta que, para cada tipo de arquitectura, variará la ubicación de los colectores, así como el número de circuitos de tuberías utilizados, también se debe tomar en cuenta que actualmente existen colectores que pueden abastecer hasta 12 circuitos de tuberías.

Por lo tanto, según lo establecido por la norma UNE-EN 1264, la longitud de las mangueras que componen cada circuito debe ser de hasta un máximo de 120 metros, dicha longitud considera también la distancia desde el colector hasta el circuito de mangueras del suelo radiante; por ello, se debe establecer en primer lugar la ubicación de los colectores, para que de esta manera se logre realizar el esquema de la distribución de las mangueras que servirán para conectar los circuitos de tuberías hacia el colector, el cual se detalla en el esquema del Anexo 06, en donde se puede apreciar la distancia al colector (DAC) es de 0.35m, ya que este se ubicará en la parte externa del muro posterior de la vivienda, tomando en cuenta que el espesor del muro es de 0.30m y que además la distancia mínima desde las paredes hasta el circuito de tuberías del suelo radiante es de 0.05m, según lo recomendado por la norma UNE-EN 1264.

En base a las ilustraciones mostradas se obtiene la Tabla 18, donde se detalla el área de instalación del suelo radiante, así como la distancia al colector (DAC) desde los circuitos de tuberías:

Tabla 18. Especificaciones del colector solar utilizado en el sistema de piso radiante.

Detalle de Colectores			
Colector	**Ambiente**	**Área**	**Distancia al colector (DAC)**
Colector 1	Recinto	$30m^2$	0.35m

Nota. Se presenta el detalle físico y dimensional del colector solar empleado para alimentar térmicamente el sistema de piso radiante. Se incluye su área de captación solar (A) y la distancia al colector (DAC), que representa el trayecto térmico desde el punto de captación hasta la zona de transferencia dentro del recinto.

- Elección del paso T entre las mangueras del suelo radiante

Dado que la norma UNE-EN 1264 establece que la temperatura superficial del suelo radiante no puede ser superior a los 29°C, además que, la emisión térmica (qG) no puede ser mayor a 100W/m2 para una temperatura ambiente del recinto de 20°C. Para un sistema de suelo radiante del Tipo A, según lo establecido en la norma UNE-EN 1264, ya que las mangueras quedarán dentro de la capa de pavimento, tal como se muestra en la Figura 11:

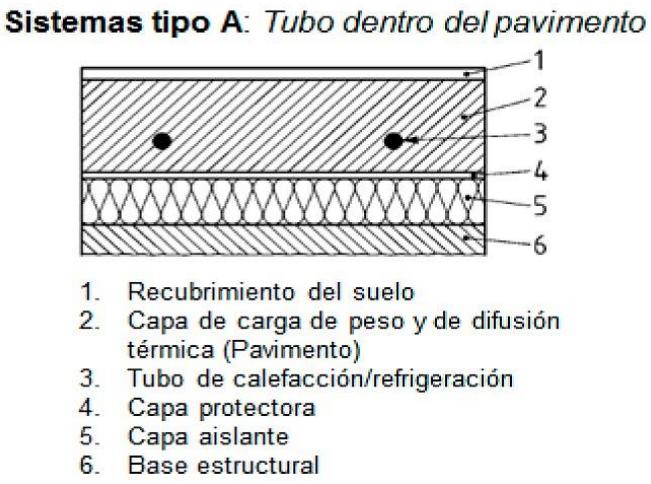


Figura 11. *Esquema del Sistema Tipo A según la Normal UNE-EN 1264. Tomada de: Norma UNE-EN 1264.*

Según norma, se toma en cuenta el uso de una tubería de 16 x 2mm, con una conductividad térmica mínima de 0.350 W/m°C, una capa de mortero por encima de las tuberías de 0.045m con una conductividad térmica de 1,2W/m°C y con revestimiento del suelo con una resistencia térmica (Rλ,B) de 0.01m2°C/W.

Es así que se empela la tabla del Anexo 07 proporcionada por la norma UNE-EN 1264, para la determinación del paso entre tuberías (T), la cual proporcionará la temperatura de impulsión (θV), salto térmico (Ϭ) y la diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente del recinto y la temperatura promedio del agua en el interior de las tuberías (ΔθH).

En la tabla del Anexo 07, se busca el valor máximo de temperatura de la superficie del suelo radiante, que según norma es de 29°C; determinando así que se encuentra en la columna de paso de tuberías (T) de 0.150m, por lo que se resaltó los valores de la fila correspondiente, tal como se observa en la tabla del Anexo 07. Posterior a ello, se realizó la interpolación correspondiente para la determinación de los valores de la temperatura de impulsión (θV), salto térmico (Ϭ) y la diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente del recinto y la temperatura promedio del agua en el interior de las tuberías (ΔθH), para un valor de densidad de flujo térmico específico (q) de 91.15W/m2, tal como se detalla en la siguiente Tabla 19:

Tabla 19. Cálculos de transmisión térmica en piso radiante con temperatura de impulsión constante (θV = 40 °C).

θV (°C)	Ϭ (K)	ΔθH (K)	q (W/m2)	$\Theta_{f,m}$ (°C)
40	3	18.5	99.4	29.0
	5	17.4	93.6	28.5
	5	**17.0**	**91.15**	**28.3**
	8	15.7	84.3	27.7

Nota. Se presenta el análisis del flujo térmico (q) y la temperatura media del piso (θ_m) en función de variaciones en la resistencia térmica total (δ) y el salto térmico (ΔθH). Se resalta en color la combinación más eficiente en términos de flujo térmico y confort superficial.

Obteniéndose así, una temperatura de impulsión (θV) de 40°C, un salto térmico (Ϭ) de 5K y una diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente del recinto y la temperatura promedio del agua en el interior de las tuberías (ΔθH) de 17.0K. Además, con el salto térmico (Ϭ) de 5K hallado, se pudo calcular la temperatura de retorno (θR) del agua al colector, la cual estuvo dada por la siguiente expresión:

$$\theta R = \theta V - 6 \qquad (23)$$

$$\theta R = 40°C - 5°C$$

$$\theta R = 35°C$$

Teniéndose así una temperatura de retorno (θR) de 35°C.

- Cálculo de la longitud de las tuberías de los circuitos del suelo radiante

El cálculo para la determinación de la longitud total de manguera que será empleada en el sistema, se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$L = \frac{A}{T} + 2 * l \qquad (24)$$

Donde:

L = Longitud de manguera del circuito (m)

A = Área que ocupará el suelo radiante (m2)

T = Paso entre tuberías (m)

l = Distancia al colector DAC (m)

Con los datos hallados anteriormente, se procedió a reemplazar los valores en la fórmula, quedando de la siguiente manera:

$$L = \frac{30m^2}{0.15m} + 2 * 0.35m$$

$$L = 200.70m$$

Debido a que la norma UNE-EN 1264 establece que la longitud máxima de manguera que compondrá cada circuito será de 120m y en este caso la longitud hallada fue de 200.70m, se procede a dividir en dos dichas longitudes, además de sumarle a cada parte un total de 0.23m que corresponde a la distancia del circuito al colector, ya que con la fórmula anterior solo se realizó el cálculo, agregando la distancia al colector de la manguera de ida y retorno para un solo circuito. Quedando así dos circuitos de tubería de 100.70m cada uno, los cuales se encuentran por debajo del máximo de longitud establecido por la norma.

Cabe resaltar que las mangueras a utilizar son de polietileno reticulado (PE-X), ya que este es el mejor termoplástico resistente a la temperatura.

- Distribución del circuito de tuberías

Existen diferentes formas para la distribución de las tuberías del sistema de suelo radiante, a fin de tener temperaturas homogéneas en los ambientes a climatizar, para lograr así una optimización del aporte de calor al sistema de suelo radiante. Actualmente existen dos tipos de distribución, las cuales se muestran a continuación en la Figura 12:

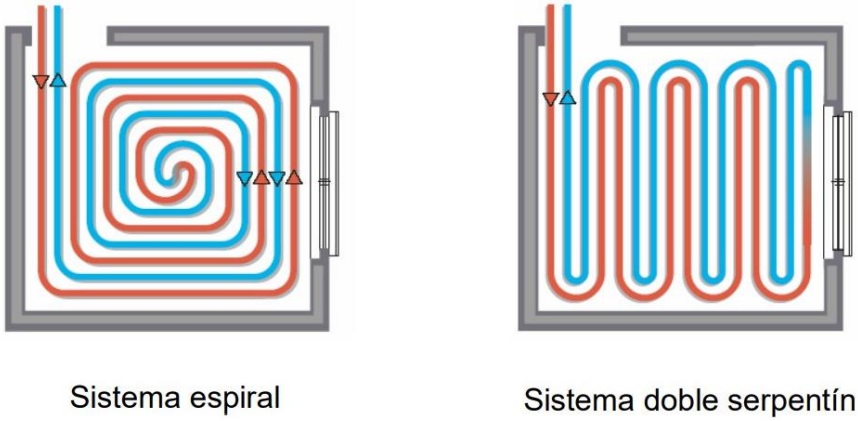


Figura 12. *Distribución de mangueras de piso radiante en configuraciones espiral y doble serpentín. Tomada de: ORKLI S.A. (2022)*

Siendo la distribución en espiral la más habitual, ya que permite una distribución con mayor homogeneidad de la temperatura en el ambiente a climatizar, lográndose así una temperatura

promedio en cualquier punto del recinto, además que favorece a su instalación al tener grandes radios de curvatura del circuito de mangueras. Por otro lado, se tiene la distribución en sistema de doble serpentín, la cual es generalmente utilizada en ambientes pequeños como baños o pasadizos, brinda una temperatura promedio en cualquier punto del recinto, su inconveniente es que posee pequeños radios de curvatura, lo cual dificulta en cierta medida su instalación.

Es por ello que, para el presente caso, se eligió el sistema en espiral para la distribución del circuito de mangueras que formarán parte del suelo radiante.

- Cálculo del caudal de agua para los circuitos de mangueras

Como en el presente caso se hizo circular agua dulce por el circuito de mangueras como medio para el transporte de calor, el cálculo del caudal va a depender de las propiedades físicas del agua dulce, de la carga térmica que se pretende transferir y del salto de temperatura, teniéndose así la siguiente fórmula:

$$m_H = \frac{Q_T}{C_e * \rho * \sigma} \qquad (25)$$

Donde:

mH = Caudal del circuito (m3/s)

QT = Carga témica (W)

Ce = Calor específico del fluido (J/kg°C)

ρ = Densidad del fluido (kg/m3)

σ = Salto de temperatura (°C)

Reemplazando lo datos correspondientes:

$$m_H = \frac{2734.40W}{4186J/kg°C * 1000kg/m^3 * 5°C}$$

$$m_H = 1.31x10^{-4}m^3/s$$

Convirtiendo este valor a l/s, se tiene:

$$m_H = 0.132l/s$$

El valor del caudal calculado de 0.132l/s, es el que se empleará para los dos circuitos de mangueras que forman parte del área total del suelo radiante, la cual es de 30m2.

- Cálculo de las pérdidas de carga en los circuitos de mangueras

Las pérdidas de carga debido a la fricción a lo largo de las tuberías de cada uno de los circuitos, se calcularán mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, la cual se detalla a continuación:

$$h_f = f * \frac{L * v^2}{D * 2g} \quad (26)$$

Donde:

hf = Pérdida de carga (m)

f = Coeficiente de fricción de la manguera

L = Longitud del circuito (m)

v = Velocidad del agua en la manguera (m/s)

D = Diámetro interno de la manguera (m)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s2)

Para la determinación del coeficiente de fricción (f) para un régimen de flujo turbulento, se hará uso del diagrama de Moody, el cual emplea al número de Reynolds y a la rugosidad relativa del material de la manguera que se empleará en este caso para el diseño del suelo radiante.

Según el número de Reynolds, se presentan tres regiones características:

- Región de flujo laminar (Re < 2100)
- Región de flujo de transición (2100 ≤ Re ≤ 4000)
- Región de flujo turbulento (Re > 4000)

Para hallar el número de Reynolds se hará uso de la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} \quad (27)$$

Donde:

ρ = Densidad del agua (1000 kg/m3)

v = Velocidad del fluido (m/s)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

μ = Viscosidad dinámica del agua (0.001 kg/m.s)

Según lo establecido por la norma UNE-EN 1264, la velocidad ideal del agua dentro del circuito de tuberías que componen el sistema de suelo radiante es de 0.35 m/s. Por ello, se utilizará este valor para la determinación del número de Reynolds, el cual se halla a continuación:

$$Re = \frac{1000\,\frac{kg}{m^3} * 0.35\,\frac{m}{s} * 0.016\,m}{0.001\,kg/m.s}$$

$$Re = 5600$$

El número de Reynolds (Re) resultante indica la presencia en la región de flujo turbulento, ya que su valor es mayor a 4000.

Para la determinación de la rugosidad relativa (Ɛ/D), se tomará el coeficiente de rugosidad (Ɛ) de la tubería que se empleará para el suelo radiante, que este caso es una tubería de polietileno reticulado (PE-Xa) de 16mm de diámetro interno (D) y de 2mm de espesor, el cual posee un coeficiente de rugosidad (Ɛ) de 0.008mm, reemplazando estos valores en la siguiente expresión se tiene:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.008\,mm}{16\,mm} = 0.0005$$

Con los valores calculados, se procedió a hallar el coeficiente de fricción (f) en el diagrama de Moody del Anexo 08, para una rugosidad relativa (Ɛ/D) y un número de Reynolds (Re) de 5600, se obtiene un coeficiente de fricción (f) de 0.038.

Se reemplaza los valores obtenidos anteriormente en la fórmula para la determinación de la pérdida de carga (h_f), que se muestra a continuación:

$$h_f = f * \frac{L * v^2}{D * 2g} \qquad (28)$$

$$h_f = 0.038 * \frac{100.70\ m * \ (0.35\ m/s)^2}{0.016\ m * 2 * 9.81\ m/s^2}$$

$$h_f = 1.493\ m$$

Debido a que, los circuitos de mangueras están compuestos de una sola pieza de manguera de polietileno reticulado (PE-Xa) y no requieren de ningún otro accesorio como uniones universales, codos o tees, para su conexión al colector que pudieran generar un incrementar la pérdida de carga, sólo se tomará en cuenta la pérdida de carga (h_f) calculada anteriormente para cada uno de los circuitos de mangueras que compondrán el sistema de suelo radiante, tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 20. Resumen del cálculo hidráulico de pérdidas de carga por circuito en el sistema de piso radiante.

Resumen de pérdidas de carga						
Circuito	**Longitud (m)**	**Diámetro (mm)**	**Caudal (m^3/h)**	**Caudal (l/h)**	**Caudal (l/s)**	**Pérdida de carga (m)**
C1	100.70	16	0.236	235.8	0.066	1.493
C2	100.70	16	0.236	235.8	0.066	1.493
		Total	0.472	471.6	0.132	2.986

Nota. Cálculos realizados en base a condiciones de flujo constante en tuberías PEX de 16 mm, considerando datos del catálogo técnico de ORKLI S.A. (2022).

- Selección de la bomba de impulsión para el sistema

Para la impulsión del agua caliente hacia el colector y de este hacia los dos circuitos de mangueras determinados anteriormente, se hará uso de una bomba, para lo cual se realizó la selección dentro de una amplia gama de marcas y modelos para este fin que se encuentran presentes en el mercado. Tomando en cuenta los requerimientos de caudal, altura resultante (carga que debe superar para lograr la impulsión correcta del agua), rango de temperatura del líquido a impulsar y precio, se decidió seleccionar la bomba ALPHA1 L 25-40 180 de la marca Grundfos, la cual es una bomba impulsora que presenta una gran eficiencia, la misma que ofrece la opción de poder regular la velocidad de agua bombeada mediante un controlador PWM, a fin de que pueda bombear el agua caliente al caudal anteriormente calculado para el sistema de suelo radiante.

Dentro de sus especificaciones se encuentran las siguientes:

- Líquido bombeado: Agua de calefacción
- Rango de temperatura del líquido: 2 – 95 °C
- Densidad: 994 kg/m3

- Caudal real calculado (máximo): 0.557 m3/h
- Altura resultante (carga): 4.156
- Voltaje: 230 V
- Frecuencia: 50 / 60 Hz
- Amperaje: 0.05 – 0.26 A
- Potencia: 11.5 – 59.8 W

Figura 13. *Bomba Grundfos ALPHA1 L 25-40 180. Tomada de: Grundfos S.A.*

- Comprobación de los cálculos mediante el software Open BIM ORKLI Suelo Radiante

ORKLI es una empresa de renombre dedicada a la comercialización de materiales y de brindar asesoría para la implementación de climatización a través de suelos radiantes, desde una escala unifamiliar hasta edificios multifamiliares, así como a nivel industrial. Por ello, como parte de sus sistemas de asesoría y de cálculo para el dimensionamiento e implementación de suelos radiantes, posee el software Open BIM ORKLI Suelo Radiante, del cual se hizo uso para la comprobación de los cálculos realizados anteriormente.

Se ingresaron al software toda la data correspondiente a:

- Área del recinto
- Temperatura superficial del suelo radiante
- Temperatura interior del recinto
- Características del líquido a utilizar
- Plano de la vivienda a climatizar indicando sus diferentes cerramientos tales como puertas, ventanas y techo, altura de la vivienda, ubicación del colector

Una vez cargada toda la data, el software realiza los cálculos correspondientes, así como, genera el diseño de la mejor distribución de los circuitos de mangueras del suelo radiante, cuyos

resultados se muestran en el Anexo 09 y cuyas vistas del diseño y del circuito de mangueras en 2D y 3D se muestran en el Anexo 10.

En base a la contrastación de los resultados, se puede apreciar que la diferencia entre los resultados calculados manualmente y los obtenidos por el software Open BIM ORKLI Suelo Radiante es mínima, concluyendo que los dos métodos aplicados son válidos.

Respecto a la gráfica de distribución de los circuitos del suelo radiante, para el caso del Software ORKLI aplicó una distribución de mangueras en espiral y las dividió en dos circuitos, tal como se estableció en los cálculos manuales que se desarrollaron anteriormente, lo cual se puede apreciar en el Anexo 10.

- Sistema de suelo radiante con material de diseño original

En base a los cálculos obtenidos anteriormente, se procedió a la selección de los materiales y equipos sugeridos por el Software ORKLI, necesarios para el sistema de suelo radiante para la vivienda de Tuti, los cuales se detallan a continuación:

Colector

Para este caso se hará uso de un colector de 2 vías (2 vías de ingreso de agua caliente y 2 vías de retorno). Se eligió este tipo de colector, ya que tiene una temperatura de operación de 0 a 70 °C, es de acero inoxidable DN32, posee válvulas de corte, incorporan caudalímetros en el circuito de ida y válvulas termostáticas en el circuito de ida, incorpora termómetros tanto para la ida como para el retorno, válvula de llenado y vaciado, purgador en el ramal de ida y en el de retorno e incorpora soportes metálicos para el colector.

Figura 14. *Colector Inoxidable ORKLI de 4 vías. Tomada de: ORKLI S.A. (2022).*

Curvatubos

A fin de hacer que las mangueras que bajan del colector para que ingresen al suelo radiante, se necesita curvatubos, para evitar así que las mangueras se curven excesivamente o se puedan dañar. Para cada circuito de mangueras se necesita dos curvatubos; es decir, para el presente caso se hará uso de 4 curvatubos para mangueras de 16 mm, ya que se dispone de 2 circuitos de mangueras.

Figura 15. *Curvatubo de16 mm. Tomada de: tral Fontanería S.A. (2022)*

Plástico doble cara (azul /negro)

A fin de evitar el paso de la humedad desde el terreno al sistema del suelo radiante, se colocará plástico de Polietileno de Baja densidad, el cual posee una cara de color azul y la otra de color negro, posee un espesor de 6 micras, la misma que es ampliamente utilizada en el sector construcción como un aislante de la humedad para los cimientos de las viviendas. Este plástico se colocará sobre toda el área del terreno que abarcará el suelo radiante; es decir, 30 m2. La presentación en la que viene este plástico es en rollo doble ancho de 6 m, por lo que se necesitaría 6 metros para cubrir toda el área del terreno y además poderlo doblar hacia los costados, para lograr una mejor protección.

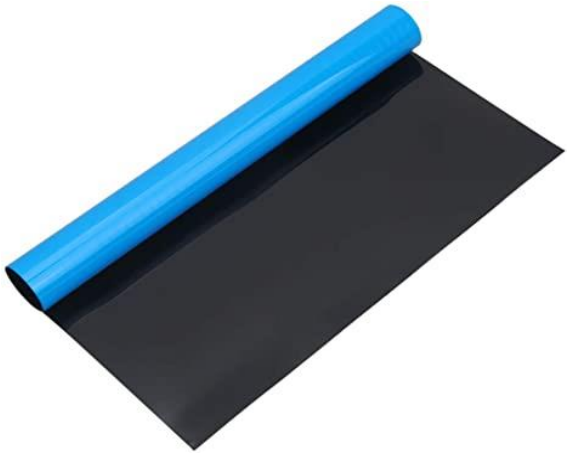


Figura 16. *Plástico doble cara azul / negro. Tomada de: ICOFESA S.A. (2022).*

Lana de Vidrio

Encima del plástico doble cara, se colocará como material aislante lana de vidrio de la marca AislanGlass, a fin de evitar que el calor generado por el agua caliente en el circuito de mangueras no se conduzca hacia el terreno de la vivienda, sino que quede contenido en las mangueras y sea transmitido casi en su totalidad hacia el ambiente interno de la vivienda, esto gracias a su alta resistencia térmica, que le permite evitar pérdidas de calor o ganancias de temperatura. Este material viene en rollos 1.20 m de ancho y de 12 metros de largo lo que da un área de 14.4 m2 por rollo, además viene en presentaciones de diferentes espesores, que para el caso del presente proyecto será de 50 mm. La lana de vidrio deberá cubrir un área de 30 m2, por lo que se necesitará 3 rollos aproximadamente.

Figura 17. *Lana de Vidrio AislanGlass rollo libre 50 mm. Tomada de: AislanGlass S.A, (2022).*

Manguera

Para el presente proyecto se hará uso de manguera de Polietileno Reticulado (PEX-A) de diámetro de 16 mm y de 2 mm de espesor, que según la norma UNE-EN 1264, es la más recomendada para aplicaciones en suelo radiante, ya que poseen una muy buena resistencia a la temperatura, esta manguera se presenta en rollos de 120 m de longitud. En este caso se requiere una cantidad de 200.70 m de manguera, por lo que se necesitará de 2 rollos de manguera aproximadamente.

Figura 18. *Rollo de manguera Polytherm PEX-A 16x2 mm 120 m. Tomada de: Polytherm S.A. (2022).*

Mortero

La capa de mortero va aplicada encima de los circuitos de mangueras, así como de la lana de vidrio sobre la cual están dispuestos los circuitos de mangueras. El espesor de la capa de mortero, según lo establecido por la norma UNE-EN 1264, es de 45 mm, el cual para cubrir un área de 30 m2 se requerirá aproximadamente 1.35 m3, para cubrir todo el sistema de suelo radiante.

Capa de madera

Encima de la capa de mortero se colocará una capa de madera con un espesor de 10 mm con el fin de mejorar el confort térmico del ambiente interno de la vivienda, además que mejora el aspecto visual del ambiente de la vivienda. Para cubrir toda el área del suelo radiante, se necesitará 30 m2 de madera de 10 mm de espesor, para ello se empleará tablas de madera de pino Radiata de 6 pulgadas x 10.5 pies x 10mm, ya que posee un rendimiento de 0.5 m2 por tabla, por lo que, se necesitará un total de 60 tablas.

- Cálculo de la generación de energía para abastecer al sistema de suelo radiante

En base a los cálculos de potencia del sistema realizados, se requiere de 2734.40W para que el sistema de calefacción de suelo radiante funcione adecuadamente. Adicionalmente a esto, se debe calcular la potencia necesaria que los habitantes de la vivienda también necesitan, ya que ellos tendrán una demanda de agua sanitaria (ACS) para el caso en el que requieran. Es por ello que el sistema generador de agua caliente, que para este caso será a base de una terma solar,

deberá abastecer del agua caliente que requieran tanto el sistema de suelo radiante como el sistema de ACS.

Además, se debe tomar en cuenta las situaciones más críticas que se pudieran presentar, tal como es el caso en el que los dos sistemas requieran de agua caliente, pero en ese momento el clima esté nublado o es de noche; en tal caso, el sistema será abastecido por el acumulador de agua caliente y no por los paneles solares, es por este motivo que la selección de la potencia y número de acumuladores de agua caliente se debe tomar en cuenta sin la potencia que aportan los paneles solares al sistema.

Para el cálculo del volumen de ACS, se debe tener en consideración el volumen de consumo diario, la temperatura promedio que se tendrá dentro del acumulador de agua caliente y la temperatura del agua suministrada por la red. En este caso se tomará 60 °C como temperatura de referencia para el agua caliente del acumulador, en base a la información proporcionada por el Manual de Termas Solares de FONDESURCO, el cual establece esta temperatura cuando se da un uso constante de la terma solar, la cual puede llegar hasta los 95 °C, en caso no se haga uso de la terma solar por más de tres días.

Por otro lado, como en el presente caso se trata de una vivienda unifamiliar, se tomará un consumo por persona en base a lo establecido por el Documento Básico de Ahorro de Energía HE de Ministerio de Fomento de España, el cual, en su Anexo F, para la demanda de referencia de ACS, indica un consumo de 28 litros al día de agua caliente a 60 °C por persona, para viviendas privadas o unifamiliares.

Con respecto al número de personas que habitan la vivienda, se tomará como base a lo reportado en el último censo realizado por el INEI en el año 2017, en el cual para el distrito de Tuti, indica que el número de habitantes por vivienda es de en promedio de 4 personas.

Con los datos obtenidos anteriormente, se procedió a aplicar la siguiente expresión para el cálculo del volumen de ACS (VACS):

$$V_{ACS} = Consumo_{diario} * \ N°_{habitantes} \qquad (29)$$

$$V_{ACS} = 28\ l/día * \ 4$$

$$V_{ACS} = 112\ l/día$$

Para el cálculo de la potencia requerida para el sistema de ACS, se empleará la siguiente expresión:

$$P_{ACS} = V_{ACS} * \rho * C_W * C_T \quad (30)$$

Donde:

PACS = Potencia para el sistema ACS requerida (BTU/día)

ρ = Densidad del agua (1000 g/l)

CW = Calor específico del agua (1 cal/g°C)

CT = Variación de temperatura (°C)

Para el cálculo de la variación de la temperatura (CT), se tomará la temperatura promedio del agua caliente generada por la terma solar y la temperatura ambiente, que para el caso de la zona de Tuti en las condiciones más críticas, es de -3.8 °C, cuyo cálculo se muestra a continuación:

$$C_{T\,=} Temperatura_{agua\ caliente} - Temperatura_{ambiente} \quad (31)$$

$$C_{T\,=} 60\ °C - (-3.8\ °C)$$

$$C_{T\,=} 63.8\ °C$$

Con estos datos, se procede al cálculo de la potencia para el sistema ACS requerida:

$$P_{ACS} = 112\ l/día * 1000\ g/l * 1\ cal/g°C * 63.8\ °C$$

$$P_{ACS} = 7145600\ cal/día$$

Conversión cal/día a cal/h:

$$P_{ACS} = 7145600 \frac{cal}{día} * \frac{1\ día}{24\ h}$$

$$P_{ACS} = 297733.33\ cal/h$$

Conversión de cal/h a W:

$$P_{ACS} = 297733.33 \frac{cal}{h} * \frac{0.0012\ W}{1\ cal/h}$$

$$P_{ACS} = 346.26\ W$$

Por ello, la potencia requerida por el sistema de ACS será de 346.26W, valor que debe sumarse a la potencia requerida por el sistema de suelo radiante, teniéndose así:

$$P_{Total} = P_{suelo\ radiante} + P_{ACS} \quad (32)$$

$$P_{Total} = 2734.40\ W + 346.26\ W$$

$$P_{Total} = 3080.66\ W$$

Entonces, en base a los cálculos realizados, se tiene que el sistema de generación de energía térmica tendrá que generar una potencia total de 3080.66 W.

Para el cálculo de la terma solar que se requerirá para cubrir la demanda de potencia requerida, se procede a aplicar la siguiente expresión:

$$P_{terma} = \frac{m_{agua\ terma} * C_p * (T_{max} - T_{min})}{t} \quad (33)$$

Donde:

Pterma = Potencia generada por la terma (W)

magua terma = Masa de agua en el tanque de la terma (kg)

Cp = Calor específico del agua (4186 J/kg°C)

Tmax = Temperatura máxima del agua caliente dentro del acumulador de la terma solar (°C)

Tmin = Temperatura mínima que requiere el sistema de suelo radiante para funcionar (°C)

t = Tiempo de funcionamiento del sistema al día (s)

Con respecto al tiempo de funcionamiento del sistema al día, se estima que este se opera unas 2 horas al día, ya que se empleará durante las horas de la noche, en donde la temperatura alcanza niveles muy bajos y es justo donde se requiere que el sistema brinde el confort térmico necesario. Además, el sistema actúa de manera intermitente, ya que una vez que el ambiente interno de la vivienda logra obtener la temperatura de confort térmico deseado, el sistema deja de bombear el agua caliente al suelo radiante, hasta que los sensores ubicados en la bomba de impulsión de agua caliente detecten una baja de temperatura considerable, momento en el cual el sistema se vuelve a activar para nivelar nuevamente la temperatura, es por ello que se estimó ese cantidad de horas que el sistema estará activo aproximadamente.

Se procede a realizar los cálculos para una terma solar de 240 litros:

$$P_{terma} = \frac{240\ kg * 4186\ J/kg°C * (60\ °C - 40\ °C)}{2\ h * \frac{3600\ s}{1\ h}}$$

$$P_{terma} = 2790.67\ W$$

Como se puede observar, la potencia entregada por la terma solar de 240 litros es de 2790.67 W, la cual es menor a la potencia requerida, que es de 3080.66 W. Por lo que se procede a realizar los cálculos para una terma solar de mayor capacidad, en este caso tomará una terma solar de 300 litros:

$$P_{terma} = \frac{300\ kg * 4186\ J/kg°C * (60\ °C - 40\ °C)}{2\ h * \frac{3600\ s}{1\ h}}$$

$$P_{terma} = 3488.33\ W$$

En este caso la potencia entregada por la terma solar de 300 litros fue de 3488.33 W, cuyo valor es mayor a la potencia total requerida de 3080.66 W, por lo que se utilizará este tipo de terma solar para el abastecimiento de agua caliente para el sistema de calefacción de suelo radiante como para el sistema de ACS de la vivienda.

Cabe resaltar que el modelo de terma solar elegido es la Heatpipe de 300 litros, de la marca TERMOINOX, la cual cuenta con un colector solar a base de tubos de calor con triple capa absorbente, el tanque acumulador de agua caliente está hecho a base de acero inoxidable 304 y recubierto con espuma de poliuretano como aislante térmico, que permite mantener el agua caliente por periodos más largos de tiempo. Está diseñada para trabajar en todo tipo de clima, soporta nevadas y granizos de hasta 20 mm de diámetro y temperaturas extremas de hasta -20 °C bajo cero, que la hace adecuada para la zona de Tuti.

4.3 Nivel de variación de confort térmico mediante la simulación de un modelo de piso radiante convencional frente a pisos radiantes con materiales propuestos

4.3.1 Simulación de un modelo de suelo radiante convencional

Al tener los cálculos necesarios se procedió con la simulación del sistema de suelo radiante en un recinto con características afines a los existentes en el distrito de Tuti utilizando los materiales convencionales recomendados por el Software ORKLI, se usó para este caso la manguera de Polietileno Reticulado (PEX-A) de 16 mm de diámetro, como se visualiza en las siguientes figuras.

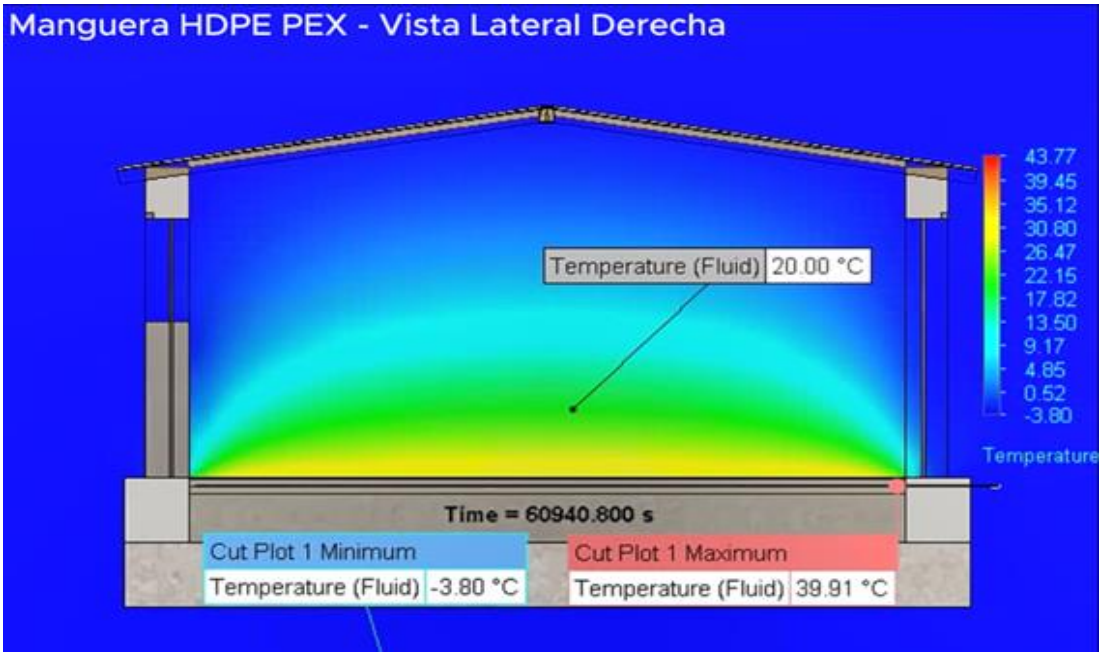


Figura 19. . *Distribución de temperatura en simulación lateral derecha del recinto con sistema de calefacción por suelo radiante PEX-A.*

Nota. Simulación térmica realizada en SolidWorks Flow Simulation bajo condiciones ambientales de Tuti – Arequipa. Se observan temperaturas extremas entre −3.80 °C y 39.91 °C, con gradiente térmico ascendente desde el suelo y una temperatura de confort térmico de 20 °C.

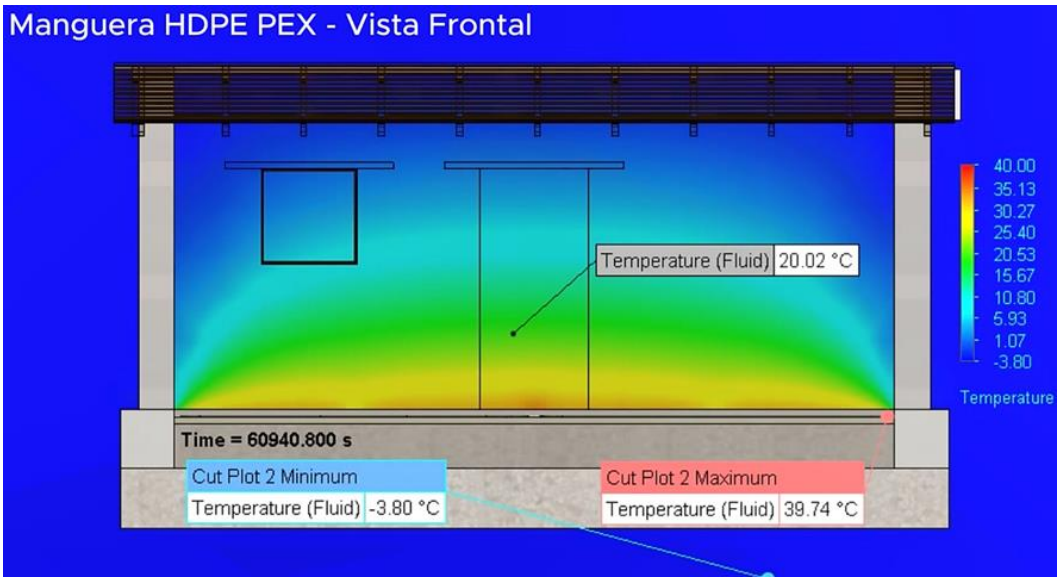


Figura 20. *Distribución de temperatura en simulación frontal del recinto con sistema de calefacción por suelo radiante PEX-A.*

Nota. Simulación térmica realizada en SolidWorks Flow Simulation. Se evidencia una distribución térmica frontal con temperaturas entre −3.80 °C y 39.74 °C, mostrando una

eficiencia térmica homogénea desde el sistema radiante instalado en el piso, con una temperatura de confort térmico de 20.02 °C.

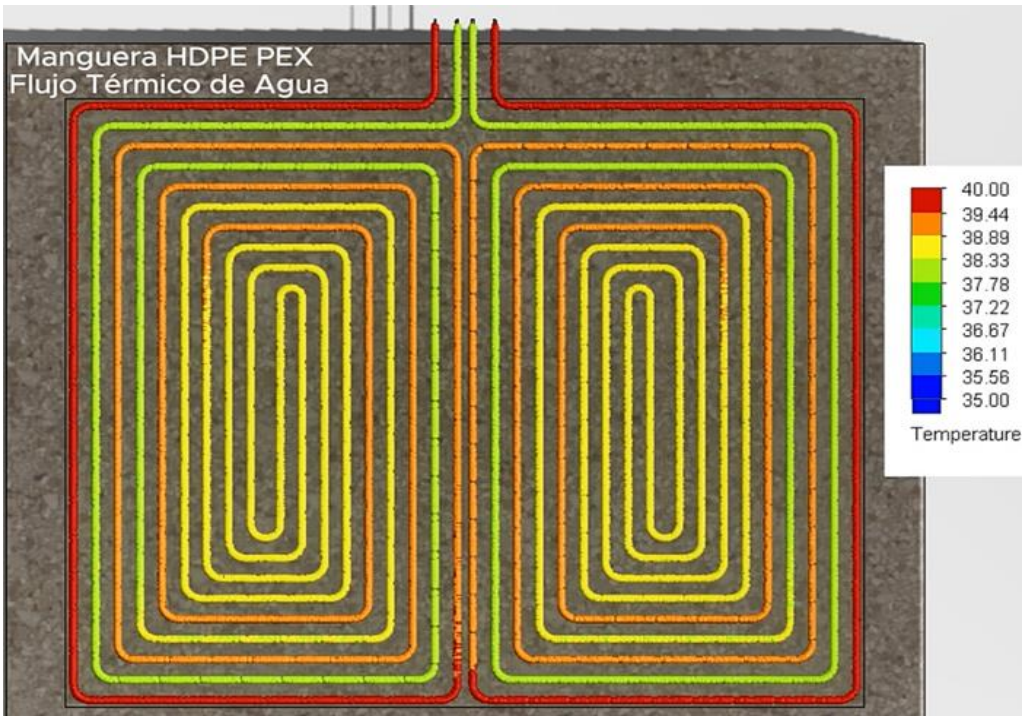


Figura 21. *Distribución del flujo térmico del agua en el sistema de calefacción con manguera de Polietileno Reticulado (PEX-A).*

Nota. Se observa el comportamiento térmico progresivo del fluido a lo largo del trazado de las tuberías, alcanzando temperaturas entre 35.56 °C y 40.00 °C. La simulación fue realizada con SolidWorks Flow Simulation para analizar la eficiencia térmica del sistema radiante.

Acorde a los resultados obtenidos de la simulación con el Software SolidWorks y su extensión Flow Simulation, partiendo de una temperatura interior del recinto de -3.8°C, se logró obtener una temperatura de confort térmico del recinto de 20°C en promedio, luego de transcurrir 60940.8 segundos; lo que es igual a 16 horas y 56 minutos mediante la utilización de la manguera de Polietileno Reticulado (PEX-A) de 16 mm de diámetro, recomendada por el Software ORKLI para el circuito de calefacción del suelo radiante. Con ello, se proporciona un confort térmico adecuado para 4 habitantes en un recinto frente a una temperatura externa en Tuti de -3.8°C.

4.3.2 Simulación de un modelo de suelo radiante con los materiales propuestos

Con los cálculos requeridos, se procedió con la simulación del sistema de suelo radiante en un recinto con características afines a los existentes en el distrito de Tuti, utilizando los materiales propuestos que cuentan con disponibilidad en el mercado nacional, además de ser más

económicos en comparación a los materiales convencionales recomendados por el Software ORKLI, empleándose en este caso la manguera de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) de color negro de 16 mm de diámetro, teniéndose los resultados que se visualizan en las siguientes figuras.

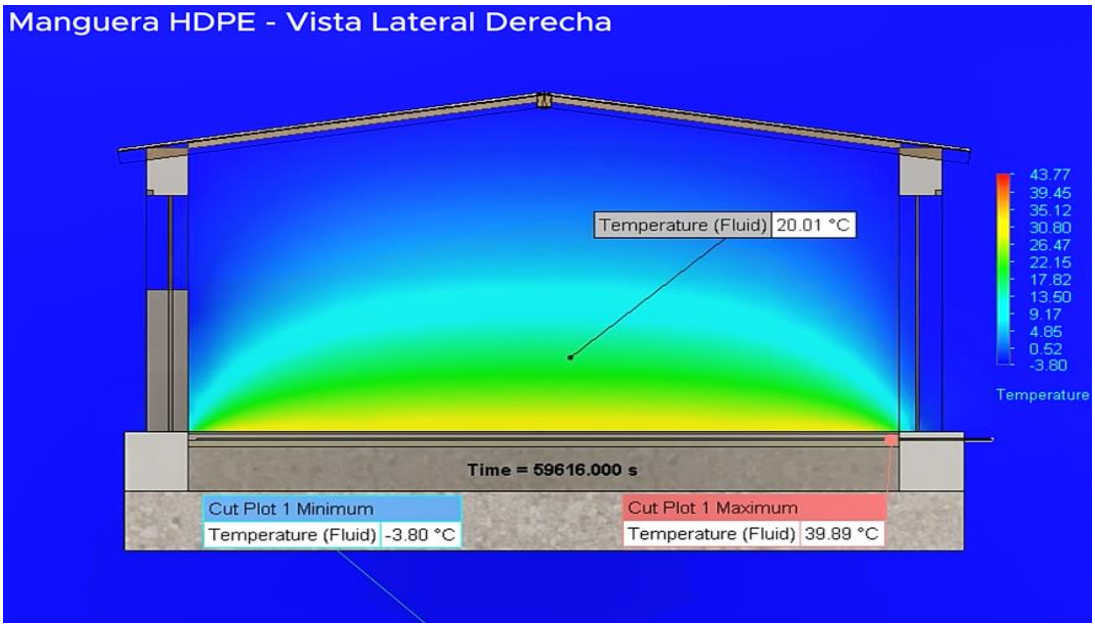


Figura 22. *Distribución térmica lateral derecha del recinto con manguera de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) en simulación.*

Nota. La simulación muestra la variación del gradiente térmico generado por el sistema de calefacción con HDPE, alcanzando un confort térmico de 20.01 °C, con valores extremos entre −3.80 °C y 39.89 °C. El modelo fue desarrollado en SolidWorks para evaluar la eficiencia térmica del material.

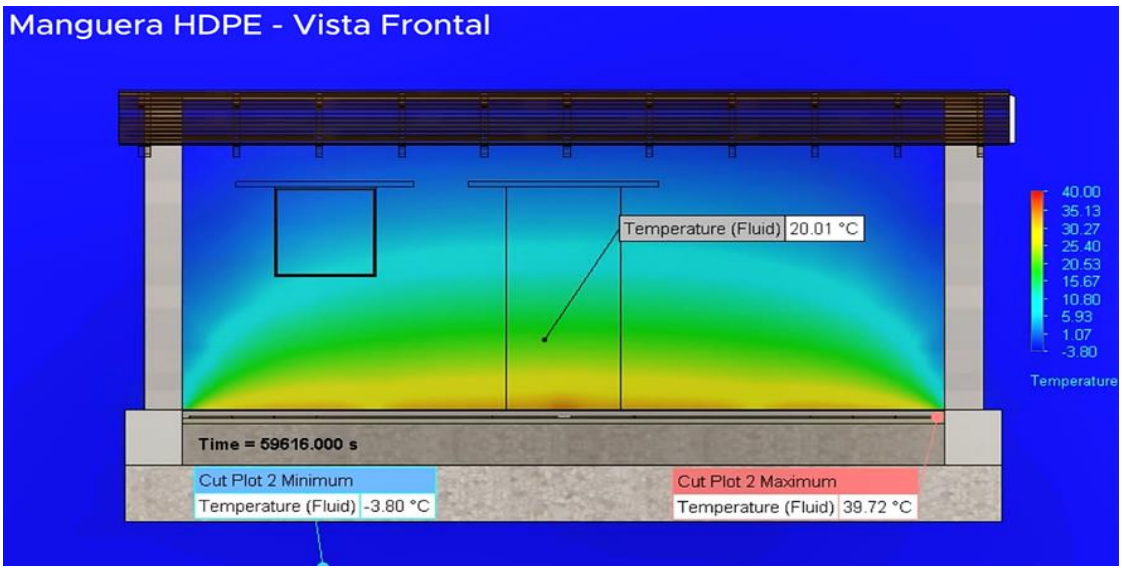


Figura 23. *Distribución térmica frontal del recinto con manguera de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) en simulación.*

Nota. La imagen muestra la simulación térmica del recinto mediante SolidWorks, evidenciando un gradiente térmico homogéneo en el plano frontal. El sistema con HDPE alcanza una temperatura interna promedio de 20.01 °C, con una temperatura máxima de 39.72 °C y mínima de −3.80 °C, evaluando su comportamiento en condiciones estáticas.

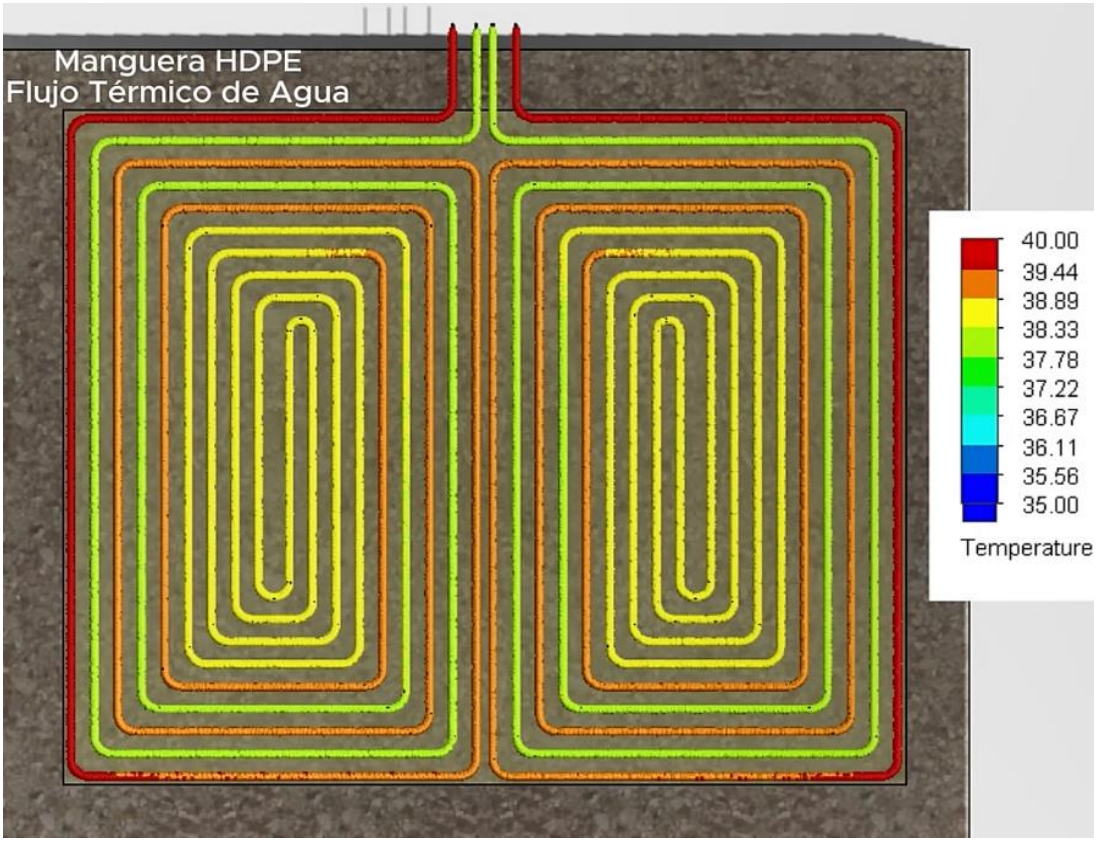


Figura 24. *Distribución del flujo térmico de agua en el sistema de piso radiante con manguera de Polietileno de Alta Densidad (HDPE).*

Nota. La imagen representa la dispersión térmica generada por el circuito de doble serpentina con manguera HDPE, evidenciando un gradiente progresivo desde los 40.00 °C en el ingreso hasta los 35.00 °C en el retorno. Este comportamiento refleja una eficiencia térmica uniforme en el plano horizontal del sistema de piso radiante, favoreciendo la distribución de calor superficial.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación con el Software SolidWorks y su extensión Flow Simulation, partiendo de una temperatura interior del recinto de -3.8°C, se logró obtener una temperatura de confort térmico del recinto de 20°C en promedio luego de transcurrir 59616 segundos lo que es igual a 16 horas y 27 minutos mediante la utilización de la manguera de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) color negro de 16 mm de diámetro propuesta, lográndose proporcionar un confort térmico adecuado para 4 habitantes en un recinto frente a una temperatura externa en Tuti de -3.8°C.

Además, se demuestra que esta maguera permite al recinto alcanzar la temperatura de confort térmico en un tiempo menor de alrededor de 29 minutos menos que el tiempo requerido por la manguera de Polietileno Reticulado (PEX-A) de 16 mm de diámetro propuesta por el Software ORKLI, la cual posee un alto costo, además de no encontrarse en nuestro país, teniendo que ser importada de Europa y cubrir en consecuencia dichos gastos de importación y del tiempo que esta tardaría en llegar al país; por ello, el uso de la manguera de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) color negro de 16 mm de diámetro resulta ser viable y más conveniente respecto a su factibilidad técnica al lograr alcanzar la temperatura de confort térmico del recinto en menor tiempo y a su alta disponibilidad y menor costo en el mercado nacional.

4.3.3 Contrastación de la mejora obtenida con la aplicación del suelo radiante

Para la realización de la contrastación de la mejora obtenida a través de la aplicación del suelo radiante obtenida a través de la simulación, se desarrolló la siguiente tabla:

Tabla 21. Comparación del gradiente térmico de recintos con y sin sistema de piso radiante.

Recinto	**Temperatura exterior**	**Temperatura interior**	**Δ Temperatura interna/exterior**
Recinto sin sistema de suelo radiante	-3.8°C	-2.55°C	1.25°C
Recinto con sistema de suelo radiante	-3.8°C	20°C	23.8°C
Mejora en salto térmico logrado			22.55°C

Nota. Se observa un incremento significativo de 22.55 °C en el diferencial térmico entre el interior y exterior del recinto al implementar un sistema de calefacción por suelo radiante. Este salto térmico evidencia la efectividad del sistema para mantener condiciones de confort térmico, a pesar de temperaturas exteriores inferiores al punto de congelación. La temperatura interior alcanzada (20 °C) se ajusta a los estándares recomendados por normas de confort ambiental para climas fríos, como lo establece la ASHRAE 55-2017.

En base al análisis de la simulación, al contrastar el confort térmico de un recinto sin suelo radiante, con un recinto que si contaba con un suelo radiante, se logró una mejora en el salto térmico de 22.55°C, ya que sin el sistema de suelo radiante se lograba una variación de 1.25°C frente a la temperatura externa, logrando cumplir con los parámetros de confort térmico de 20°C en el interior del recinto, acorde a la Norma ISO 7730; generando con ello una mejora en la calidad de vida de los habitantes.

Tabla 22. Comparación del gradiente térmico de recintos con sistema de piso radiante en material convencional vs. Propuesto.

Parámetros de control	Estadísticos descriptivos	Modelo de piso radiante convencional	Modelo de piso radiante propuesto
Temperatura ambiente alcanzada	Mínimo	20,00	20,01
	Máximo	20,02	20,01
	Media	20,01	20,01
	Desviación estándar	,01414	,00000
Tiempo de simulación hasta alcanzar confort térmico	Mínimo	60940,80	59616,00
	Máximo	60940,80	59616,00
	Media	60940,80	59616,00
Tiempo hasta confort en horas	Mínimo	16,56	16,27
	Máximo	16,56	16,27
	Media	16.56	16,27

La comparación de los parámetros térmicos obtenidos mediante simulación permitió evidenciar diferencias relevantes entre el modelo de piso radiante convencional y el modelo propuesto con tubería de HDPE. En ambos casos, se partió de una temperatura crítica inicial de -3.8°C, y se alcanzaron temperaturas promedio similares cercanas a los 20°C; sin embargo, el sistema convencional presentó una mayor dispersión térmica, con una desviación estándar de 0.0141 °C, mientras que el modelo propuesto registró una desviación nula, lo que reflejó una mayor estabilidad térmica del ambiente interior.

Además, el tiempo requerido para alcanzar el confort térmico fue menor en el modelo propuesto. Este sistema logró estabilizar la temperatura en 59,616 segundos (equivalente a 16.27 horas), mientras que el modelo convencional lo hizo en 60,940.80 segundos (equivalente a 16.56 horas). La diferencia de aprox. 29 minutos es una mejora en la eficiencia térmica del sistema HDPE, al requerir menor tiempo para alcanzar condiciones confortables en el recinto.

En conjunto, los resultados respaldaron que el modelo propuesto no solo igualó el desempeño térmico del sistema convencional, sino que lo superó al proporcionar un ambiente más estable, con menor variabilidad en menor tiempo, lo cual evidenció su mayor eficiencia operativa en condiciones de clima frío.

4.3.4 Simulación del sistema de Suelo Radiante con manguera de HDPE para un periodo de 48 horas

Con la manguera de HDPE seleccionada como la opción más viable y económica, se llevó a cabo una simulación en SolidWorks Flow Simulation para un periodo de 48 horas, donde se

analizó la evolución de la temperatura dentro de un recinto, la temperatura fue medida en la parte central del recinto mediante una probeta colocada a una altura de 1.20 metros sobre el nivel de la superficie del suelo radiante, con el objetivo de evaluar la eficiencia del sistema de calefacción en el mantenimiento del confort térmico.

El sistema opera bajo una lógica de encendido y apagado automático, es así que el sistema se enciende cuando la temperatura desciende por debajo de 20.00°C y se apaga cuando la temperatura supera los 20.10°C. Inicialmente, la temperatura del recinto es de -3.8°C, por lo que se evaluó tanto la fase de calentamiento como la posterior regulación térmica.

En base a esta simulación, se obtuvo la Figura 25 de Temperatura del Recinto con Suelo Radiante con Manguera de HDPE a las 48 horas:

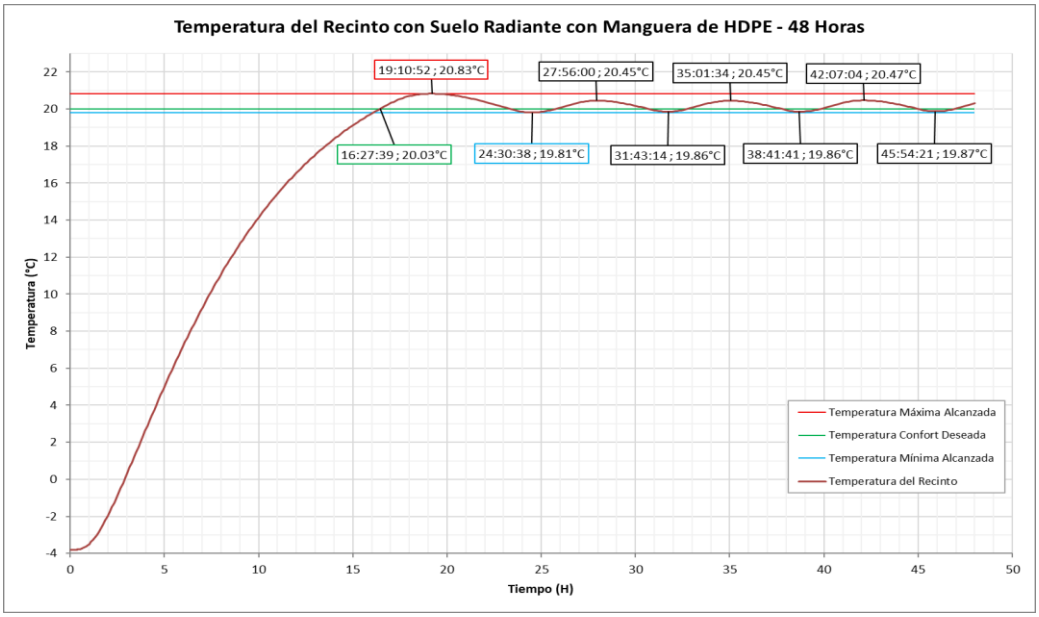


Figura 25. *Evolución de temperatura en recinto con suelo radiante y manguera HDPE durante 48 horas.*

Nota. La curva muestra que el sistema de calefacción por piso radiante con manguera HDPE alcanzó la temperatura de confort (20 °C) en un tiempo de 16 horas con 27 minutos, manteniéndose en un rango estable entre 19.81 °C y 20.83 °C durante las 32 horas restantes del periodo de prueba. Este comportamiento evidencia la eficiencia térmica del sistema HDPE en condiciones simuladas de clima extremo, logrando un entorno confortable sin requerir ajustes adicionales de temperatura. Según criterios de confort térmico, establecidos por ASHRAE 55 (2017), dicho rango se encuentra dentro de los valores aceptables para climas fríos.

El sistema de suelo radiante con manguera de HDPE demostró ser altamente eficiente en la regulación de la temperatura dentro del recinto, desde el inicio de la simulación (0:00:00 horas),

la temperatura comenzó a aumentar progresivamente desde -3.8°C debido a la acción del suelo radiante, es así que a las 16:27:39 horas, la temperatura del recinto alcanzó los 20.03°C, lo que marcó el cumplimiento del objetivo de confort térmico; poco después, al superar los 20.10°C, el sistema se apagó automáticamente.

El pico máximo de temperatura en esta fase de calentamiento inicial se registró a las 19:10:52 horas, cuando la temperatura alcanzó los 20.83°Cla, cual fue la temperatura máxima alcanzada, debido a la inercia térmica antes de iniciar el enfriamiento. En total, el tiempo requerido para que el recinto alcanzara los 20°C desde -3.8°C fue de 16 horas y 27 minutos, evidenciando una eficiencia adecuada del sistema de calefacción.

Después del primer apagado del sistema a las 19:10:52 horas, la temperatura comenzó a disminuir gradualmente; a las 24:30:38 horas, la temperatura descendió por debajo de los 20°C hasta 19.81°C, la cual fue la temperatura mínima alcanzada, lo que provocó el encendido automático del sistema. Cada ciclo de encendido y apagado siguió un patrón consistente. Posteriormente, el sistema mantuvo la temperatura dentro del rango de confort (19.81°C - 20.47°C) con oscilaciones mínimas, asegurando una regulación térmica óptima.

El sistema cumple perfectamente con la lógica de control establecida, se apaga al superar los 20.10°C y se enciende en el momento exacto en que la temperatura baja de 20.00°C, evitando pérdidas innecesarias de calor o consumo excesivo de energía a lo largo de las 48 horas que duró la simulación. Por lo que, el sistema de suelo radiante con manguera de HDPE ha cumplido con su propósito de manera eficiente y garantiza un confort térmico adecuado sin desviaciones significativas. Por otro lado, se tiene la Figura 26 de Tiempos de Encendido y Apagado del Sistema de Suelo Radiante con Manguera de HDPE a las 48 horas:

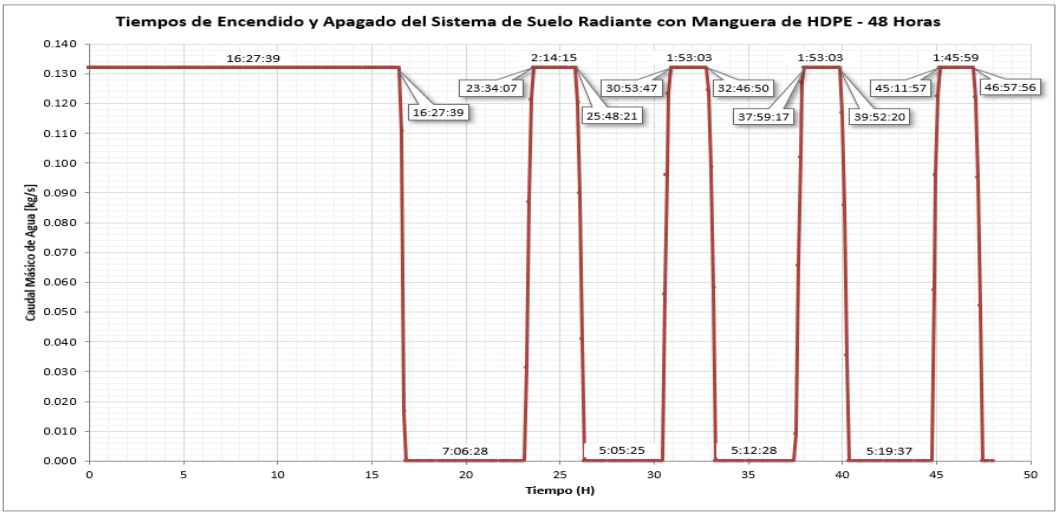


Figura 26. *Ciclos de funcionamiento del sistema de piso radiante con manguera de HDPE durante 48 horas.*

Nota. El sistema operó en seis ciclos de encendido y apagado a lo largo de 48 horas, con caudales máximos constantes de aproximadamente 0.132 kg/s. El primer apagado se produjo a las 16:27:39 h, coincidiendo con el momento en que el recinto alcanzó la temperatura de confort (20 °C), lo que demuestra una rápida eficiencia térmica. La duración de los periodos activos fue de 1:56:00 horas en promedio, y los tiempos de apagado fueron de 5:40:30 horas en promedio, que estuvieron vinculados al mantenimiento del umbral térmico. Este comportamiento evidencia el correcto dimensionamiento del sistema hidráulico y su capacidad de autorregulación mediante control automatizado, lo cual es consistente con sistemas de calefacción pasiva inteligente descritos por Yan et al. (2022) y Pérez-Lombard et al. (2018).

La Figura muestra la variación del caudal másico de agua (kg/s) en función del tiempo (horas) durante 48 horas, refleja los períodos donde el sistema de suelo radiante con manguera de HDPE está encendido (circulación de agua a 0.13 kg/s) y apagado (sin circulación de agua, 0.00 kg/s). El patrón cíclico de encendido y apagado, evidencia la regulación térmica, que se activa cuando la temperatura cae por debajo de 20.00°C y se desactiva al superar los 20.10°C.

El sistema de suelo radiante con manguera de HDPE ha demostrado ser eficiente en la regulación térmica del recinto, asegurando que la temperatura se mantenga estable mediante ciclos de encendido y apagado bien definidos, la fase de calentamiento inicial de 16 horas y 27 minutos indica que el sistema tiene la capacidad de elevar la temperatura desde -3.8°C hasta 20.03°C en un tiempo razonable.

En promedio, el sistema se mantiene encendido durante 1 hora y 57 minutos y apagado por 5 horas y 11 minutos, cuyos lapsos de tiempo para el tiempo de encendido van disminuyendo y para el caso de los tiempos de apagado van aumentando progresivamente, lo que demuestra que el diseño térmico del recinto permite períodos de inactividad moderados antes de requerir nuevamente calefacción, los cuales van mejorando en el transcurso del tiempo que duró la simulación, reflejando una buena capacidad de retención térmica del recinto.

Tabla 23. Análisis estadístico de la variabilidad térmica del recinto con sistema de piso radiante en modelo propuesto (HDPE).

Descriptivos				
			Estadístico	Error estándar
Temperatura Recinto	Media		20,1811	,12431
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	19,8944	
		Límite superior	20,4678	
	Media recortada al 5%		20,1657	
	Mediana		20,0300	
	Varianza		,139	
	Desviación estándar		,37294	
	Mínimo		19,81	
	Máximo		20,83	
	Rango		1,02	
	Rango intercuartil		,60	
	Asimetría		,574	,717
	Curtosis		-1,181	1,400

El análisis estadístico, correspondiente al modelo propuesto con manguera de HDPE durante 48 horas de simulación, permitió identificar una temperatura media de 20.18 °C, con una desviación estándar de 0.373 °C. La baja dispersión reflejó una elevada estabilidad térmica. Además, el intervalo de confianza al 95% para la media osciló entre 19.89 °C y 20.47 °C, confirmando, con un alto grado de certeza, que la temperatura del recinto se mantuvo dentro de los límites establecidos por la norma UNE–EN ISO 7730 para condiciones de confort térmico.

El rango total fue de 1.02 °C, mientras que el rango Inter cuartil fue de apenas 0.60 °C, ratificando que la mayoría de los valores se concentraron alrededor de la media. La asimetría y la curtosis se mantuvieron dentro de valores aceptables, sin evidencias de sesgos marcados o distribución anormal. En conjunto, los resultados demostraron que el sistema propuesto no solo fue eficiente en alcanzar el confort térmico, sino que también aseguró su mantenimiento con mínimas oscilaciones, lo cual evidencia su idoneidad técnica frente al modelo convencional.

4.4 Análisis comparativo de ahorro generado en las propuestas de pisos radiantes frente a alternativas de calefacción convencionales e indicadores financieros

4.4.1 Costo de instalación de sistema de piso radiante con materiales originales

En la Tabla 24 de materiales y equipos requeridos para el servicio de la alternativa 1, se detalla una lista de insumos y equipos específicos necesarios para la ejecución del proyecto; entre los materiales listados se encuentran componentes fundamentales para el sistema en su versión original, como el colector inoxidable de dos vías, la tubería PEX-A para conducción de calor y el aislante térmico de lana de vidrio, cada uno con su respectiva cantidad y costo unitario.

Asimismo, se incluyen elementos estructurales como concreto (mortero) y tablones de madera, que permiten adecuar el espacio de instalación, asegurando funcionamiento correcto del sistema, además de otros equipos esenciales como: bomba de impulsión y terma solar de 300L, necesarios para el flujo de agua y el calentamiento adecuado dentro del sistema de calefacción.

En tal sentido, el costo total de todos estos materiales y equipos asciende a 8,984.34 soles, que representa la inversión en insumos físicos y tecnología para garantizar el correcto funcionamiento y la eficiencia del sistema de calefacción en esta propuesta, teniendo en cuenta que cada uno de estos elementos cumple una función específica en el sistema, asegurando tanto la durabilidad como el rendimiento del servicio que se planea implementar.

Tabla 24. Relación de materiales y equipos considerados para la implementación del sistema de piso radiante – Alternativa 1.

Materiales y equipos	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/)	Costo Total (S/)
Colector Inoxidable ORKLI de 2 vías	Und.	1	1,204.56	1,204.56
Curva tubo de 16mm	Und.	4	4.54	18.16
Plástico doble cara azul/negro	m.	6	5.00	30.00
Lana de vidrio AislanGlass rollo libre 50mm	Und.	3	142.00	426.00
Rollo tubería Polytherm PEX-A 16X2mm 120m	Und.	2	643.96	1,287.92
Concreto (Mortero)	m3	1.35	330.00	445.50
Tablones de madera 10mm de espesor	Und.	60	18.90	1,134.00
Bomba de impulsión Grundfos ALPHA1 L 25-40 180	Und.	1	1,887.32	1,887.32
Terma Solar Heat pipe de 300L marca TERMOINOX	Und.	1	2,508.00	2,508.00
Controlador Digital de temperatura, termostato con enchufe europeo de 220V	Und.	1	42.88	42.88
			Total	8,984.34

Nota. Los costos considerados en esta tabla se basan en cotizaciones actualizadas del mercado local (Arequipa, 2024), contemplando elementos esenciales para el sistema de calefacción por piso radiante con captación solar. Se incluyen colectores solares, aislamiento térmico, sistema de impulsión hidráulica, y controlador digital, todos compatibles con estándares de eficiencia energética recomendados por ORKLI S.A. (2022) y el Ministerio de Vivienda (2013).

4.4.2 Costo de instalación de sistema de piso radiante con materiales propuestos

En la Tabla 25 de Materiales y equipos requeridos para el servicio de alternativa 2, se presenta una selección de materiales accesibles en la localidad, con un costo total de 4,329.32 soles: por

ello, esta alternativa utiliza componentes y equipos que son fáciles de obtener, optimizando la logística y reduciendo costos asociados al transporte y disponibilidad.

Entre los materiales destacan la válvula mezcladora termostática, manifolds de salidas múltiples, tuberías y mangueras de fácil instalación, además de la bomba de agua y una terma solar de 300L, que cumplen con los requerimientos del sistema de manera eficiente; en ese sentido, este enfoque en materiales locales busca mejorar la viabilidad del proyecto, adaptándolo a las condiciones y recursos de la zona.

Tabla 25. Relación de materiales y equipos considerados para la implementación del sistema de piso radiante – Alternativa 2.

Materiales y equipos	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/)	Costo Total (S/)
Válvula Mezcladora Termostática Conexiones Macho 1/2	Und.	1	367.00	367.00
Manifolds mango azul 3/4"NPT - 1/2BSP*2 salidas	Und.	2	29.28	58.56
Curva tubo de 16mm	Und.	4	4.54	18.16
Plástico doble cara azul/negro	m.	6	5.00	30.00
Lana de vidrio AislanGlass rollo libre 50mm	Und.	3	142.00	426.00
Manguera HDPE Negra 16mm	m	201.4	0.20	40.14
Concreto (Mortero)	m3	1.35	330.00	445.50
Tablones de madera 10mm de espesor	Und.	60	18.90	1,134.00
Bomba de agua Berklin 120 W Presurizadora	Und.	1	269.90	269.90
Terma Solar Luminon de 300L - 30 tubos	Und.	1	1,497.18	1,497.18
Controlador Digital de temperatura, termostato con enchufe europeo de 220V	Und.	1	42.88	42.88
			Total	4,329.32

Nota. La presente alternativa plantea una solución de menor costo mediante la sustitución de ciertos componentes del sistema de calefacción radiante por equivalentes de rendimiento moderado. Se considera el uso de manguera HDPE negra de 16 mm, bomba presurizadora de bajo consumo, y una terma solar de 300L con tecnología básica de tubos, lo que permite una implementación funcional, pero con eficiencia térmica inferior. Los valores referenciales se basan en precios del mercado local (Arequipa, 2024), conforme a estándares técnicos de Berkling, Luminion y AislanGlass.

4.4.3 Comparativa de ahorro generado de propuestas de piso radiante frente a otros sistemas

Tabla 26. Comparación técnico-económica del sistema de piso radiante frente a sistemas convencionales de calefacción doméstica.

N°	Sistema de calefacción	Costo de instalación (S/.)	Ahorro en costos de instalación de suelo radiante con material original frente a otros sistemas (S/.)	Ahorro porcentual de instalación de suelo radiante con material original frente a otros sistemas (%)	Costo de operación mensual (S/.)	Ahorro mensual de suelo radiante con material original frente a otros sistemas (S/.)	Ahorro anual de suelo radiante con material original frente a otros sistemas (S/.)	Ahorro en 10 años de suelo radiante con material original frente a otros sistemas (S/.)	Ahorro porcentual de suelo radiante con material original frente a otros sistemas (%)
1	Suelo radiante con materiales originales	17,234.34			15.00				
2	Suelo radiante con materiales locales	12,579.32	4,655.02	27.01	15.00	-	-	-	-
3	Calefactor infrarrojo eléctrico (2000W)	1,200.00	16,034.34	93.04	438.00	423.00	5,076.00	50,760.00	96.58
4	Calentador eléctrico de patio (3000W)	3,000.00	14,234.34	82.59	657.00	642.00	7,704.00	77,040.00	97.72
5	Estufa a gas para interiores (400g/h de GLP)	900.00	16,334.34	94.78	373.00	358.00	4,296.00	42,960.00	95.98
6	Calefactor eléctrico de pared (1000W)	600.00	16,634.34	96.52	219.00	204.00	2,448.00	24,480.00	93.15
7	Calefactor Portátil eléctrico (400W)	300.00	16,934.34	98.26	88.00	73.00	876.00	8,760.00	82.95

En la Tabla 26 se presenta un análisis comparativo del ahorro generado por el sistema de calefacción por piso radiante con materiales locales, en relación con otras alternativas de calefacción convencionales, tanto eléctricas como a gas. El objetivo es evidenciar los beneficios económicos del sistema propuesto considerando no solo el costo de instalación, sino también los gastos operativos mensuales y su impacto acumulado en un horizonte de diez años.

Se observa que el sistema de piso radiante con materiales locales tiene un costo de instalación de S/ 12,579.32, lo que representa un ahorro de S/ 4,655.02 respecto al piso radiante con materiales originales. Este ahorro representa un 27.01% de diferencia, lo cual resulta significativo, considerando que se trata del mismo tipo de sistema, pero optimizado con materiales accesibles y de menor costo. Además, mantiene un costo mensual de operación de apenas S/ 15.00, valor que se considera constante durante toda la proyección.

En contraste, los sistemas eléctricos como el calefactor infrarrojo (2000W), el calefactor de pared (1000W) y el calefactor portátil (400W), así como las estufas a gas, presentan costos de instalación aparentemente bajos, entre S/ 300.00 y S/ 1,200.00. Sin embargo, sus costos de operación mensual varían entre S/ 88.00 y S/ 657.00, lo que los convierte en opciones económicamente insostenibles a largo plazo. Por ejemplo, el calefactor eléctrico de patio (3000W), con un consumo mensual estimado de S/ 657.00, genera un gasto acumulado de S/ 77,040.00 en diez años, frente al cual el sistema de piso radiante con materiales locales representa un ahorro del 97.72%.

Incluso, en el caso del calefactor más modesto, el portátil eléctrico de 400W, el ahorro en una década asciende a S/ 8,760.00, lo que equivale a un 82.95% de reducción frente a dicha tecnología. Estos datos demuestran que, aunque el piso radiante requiere una inversión inicial mayor, su bajo costo de operación garantiza una recuperación eficiente y sostenida de la inversión, lo cual ha sido corroborado además por los indicadores financieros obtenidos en esta investigación.

4.4.4 Análisis económico financiero

Tabla 27. Flujo de caja proyectado.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO											
RUBROS	**Año 0**	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**	**Año 6**	**Año 7**	**Año 8**	**Año 9**	**Año 10**
I. MÓDULO DE INVERSIÓN	-12,579.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo del sistema											
Válvula Mezcladora Termostática Conexiones Macho 1/2	-367.00										
Manifolds mango azul 3/4"NPT - 1/2BSP*2 salidas	-58.56										
Curva tubo de 16mm	-18.16										
Plástico doble cara azul/negro	-30.00										
Lana de vidrio AislanGlass rollo libre 50mm	-426.00										
Manguera HDPE Negra 16mm	-40.14										
Concreto (Mortero)	-445.50										
Tablones de madera 10mm de espesor	-1,134.00										
Bomba de agua Berklin 120 W Presurizadora	-269.90										
Terma Solar Luminon de 300L - 30 tubos	-1,497.18										
Controlador Digital de temperatura, termostato con enchufe europeo de 220V	-42.88										
Instalación del sistema	-4,000.00										
Transporte de materiales	-750.00										
Materiales complementarios	-500.00										
Mano de obra	-3,000.00										
Total de inversión inicial	-12,579.32										
(-) Financiamiento recibido (40%)	-5,031.73										
INVERSIÓN NETA	-7,547.59										
II. MÓDULO DE OPERACIÓN		**7,344.00**	**7,511.61**	**6,585.68**	**10,444.87**	**8,411.14**	**7,341.76**	**11,401.52**	**9,226.31**	**8,359.53**	**12,279.92**
A. Ingresos incrementales (Ahorros)		7,824.00	8,040.70	7,715.21	10,987.03	8,917.29	8,534.81	11,922.14	9,797.42	9,532.55	12,867.06
Ahorro anual estimado frente a sistema convencional		7,824.00	8,040.70	7,715.21	10,987.03	8,917.29	8,534.81	11,922.14	9,797.42	9,532.55	12,867.06
B. Egresos operativos incrementales		480.00	529.09	1,129.53	542.16	506.16	1,193.05	520.63	571.12	1,173.01	587.14
Costos de operación y mantenimiento del sistema de piso radiante		480.00	529.09	1,129.53	542.16	506.16	1,193.05	520.63	571.12	1,173.01	587.14

III. DEPRECIACIÓN DEL SISTEMA		**432.93**	**432.93**	**432.93**	**432.93**	**432.93**	**432.93**	**432.93**	**432.93**	**432.93**	**432.93**
Depreciación		432.93	432.93	432.93	432.93	432.93	432.93	432.93	432.93	432.93	432.93
IV. VALOR DEL PRÉSTAMO		5,424.59									
Amortización del capital anual		5,031.73									
Intereses		392.87									
CÁLCULO DE FLUJOS											
Flujo de caja económico	-12,579.32	7,776.93	7,944.54	7,018.61	10,877.80	8,844.07	7,774.69	11,834.45	9,659.24	8,792.46	12,712.85
Flujo de caja financiero	-7,547.59	1,919.41	7,511.61	6,585.68	10,444.87	8,411.14	7,341.76	11,401.52	9,226.31	8,359.53	12,279.92
Flujo de caja acumulado económico	-12,579.32	-4,802.39	3,142.15	10,160.76	21,038.55	29,882.62	37,657.31	49,491.76	59,150.99	67,943.46	80,656.31
Flujo de caja acumulado financiero	-7,547.59	-5,628.19	1,883.42	8,469.10	18,913.97	27,325.10	34,666.86	46,068.38	55,294.69	63,654.22	75,934.15

Nota. Para el análisis del flujo de caja proyectado se ha considerado una inversión inicial de S/ 12,579.32 correspondiente al costo total del sistema de piso radiante con materiales locales. Esta inversión es parcialmente financiada mediante un crédito del 40%, lo que equivale a S/ 5,031.73. Asumiendo que el 60% restante (S/ 7,547.59) constituye la inversión neta directa asumida por el beneficiario del proyecto, la tasa de interés anual aplicada para el cálculo de los pagos financieros ha sido del 15%, en concordancia con las condiciones crediticias ofrecidas por el Banco Agro para proyectos de eficiencia energética y personas de comunidades rurales. El préstamo se amortiza en un solo año, por lo que el flujo de caja financiero considera intereses y amortización únicamente en el primer periodo (Ver Anexo 12). La depreciación del sistema se ha calculado en base a una vida útil de 10 años bajo el método lineal, resultando en una cuota anual constante de S/ 432.93. Esta depreciación se incluye exclusivamente en el flujo económico, ya que representa un gasto contable no monetario; en el flujo financiero no se considera, pues no implica una salida real de efectivo. Los ingresos incrementales se han determinado como el ahorro anual estimado frente al uso de sistemas convencionales de calefacción. Los egresos operativos corresponden únicamente a los costos de funcionamiento y mantenimiento del sistema de piso radiante, los cuales han sido ajustados anualmente según su proyección estimada. Esta estructura permite analizar tanto la rentabilidad económica del proyecto (VANE, TIRE, ROI) como su viabilidad financiera (VANF, TIRF, período de recuperación), evidenciando el impacto del financiamiento, los ahorros generados y la eficiencia operativa a lo largo del horizonte temporal de 10 años.

Tabla 28. Análisis de indicadores del desempeño económico del sistema de piso radiante.

Indicadores - Flujo de caja económico	
Tasa de interés mínima	**15%**
VANE	S/ 27,853.39
TIRE	64.52%
PERIODO DE RECUPERACIÓN	1.75
ROI CORTO PLAZO (AÑO 3)	-19%
ROI MEDIANO PLAZO (AÑO 5)	138%
ROI LARGO PLAZO (AÑO 10)	541%

Los resultados del flujo de caja económico evidencian una rentabilidad significativa del proyecto. El Valor Actual Neto Económico (VANE) asciende a S/ 27,853.39, lo que implica que, descontando los flujos futuros al 15% de tasa mínima de retorno, el proyecto genera un excedente neto positivo, representando una creación real de valor económico. La Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) alcanza el 64.52%, superando ampliamente la tasa mínima aceptada, lo cual confirma que el proyecto es financieramente viable desde el enfoque económico.

Respecto al periodo de recuperación, se estima en 1.75 años, lo que indica que la inversión neta se recuperaría en menos de dos años, situando al proyecto como una alternativa atractiva en términos de plazo.

En cuanto al análisis de retorno sobre la inversión (ROI), se observa un resultado negativo a corto plazo (año 3), con un ROI de -19%, lo cual es comprensible considerando que aún no se ha recuperado el total de la inversión. Sin embargo, a mediano plazo (año 5), el ROI se incrementa notablemente a 138%, y a largo plazo (año 10) alcanza un 541%, evidenciando una progresión sostenida en la rentabilidad del proyecto a medida que los beneficios acumulados superan ampliamente la inversión inicial.

Tabla 29. Análisis de indicadores del desempeño financiero del sistema de piso radiante.

Indicadores - Flujo de caja financiero	
Tasa de interés mínima	**15%**
VANF	S/ 26,237.66
TIRF	71.50%
PERIODO DE RECUPERACIÓN	1.60
ROI CORTO PLAZO (AÑO 3)	12%
ROI MEDIANO PLAZO (AÑO 5)	262%
ROI LARGO PLAZO (AÑO 10)	906%

Desde el enfoque del flujo de caja financiero, los resultados demuestran una alta rentabilidad y una excelente liquidez del proyecto. El Valor Actual Neto Financiero (VANF) asciende a S/ 26,237.66, lo que refleja un valor agregado significativo después de considerar el financiamiento recibido (40% de la inversión inicial). Asimismo, la Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF) alcanza un notable 71.50%, superando holgadamente la tasa de interés

mínima establecida del 15%, lo que reafirma la viabilidad financiera del proyecto incluso con la participación de un préstamo.

El periodo de recuperación financiera se sitúa en apenas 1.60 años, lo cual indica que, tras dicho tiempo, el flujo de caja acumulado supera la inversión neta, permitiendo una rápida recuperación del capital invertido considerando el efecto del financiamiento.

El retorno sobre la inversión (ROI) muestra una tendencia creciente y sólida: al tercer año (corto plazo) ya se obtiene un retorno del 12%, lo que indica un desempeño temprano favorable. A mediano plazo (quinto año), el ROI se eleva al 262%, reflejando una recuperación amplia de los recursos financieros. Finalmente, a largo plazo (décimo año), el ROI alcanza un 906%, resultado excepcional que evidencia la alta eficiencia financiera del sistema implementado y la acumulación sostenida de beneficios netos a lo largo del tiempo.

4.5 Discusión de resultados

El objetivo general de esta investigación fue evaluar la viabilidad del uso de un sistema de piso radiante con energía solar térmica como alternativa para mejorar el confort térmico en viviendas del distrito de Tuti, considerando su eficiencia térmica, su desempeño frente a sistemas de calefacción convencionales y su rentabilidad económica. La investigación logró cumplir satisfactoriamente su objetivo general al desarrollar y validar un sistema de piso radiante con energía solar térmica que mejora sustancialmente el confort térmico en condiciones altoandinas. A través de simulaciones computacionales, se demostró que el prototipo diseñado utilizando materiales locales como tuberías HDPE, concreto y colectores solares con termosifón logró elevar la temperatura interior de una habitación tipo desde valores críticos de -3.8 °C hasta alcanzar un rango estable de 19.81 a 20.83 °C, conforme a los estándares internacionales de confort térmico definidos por la norma ISO 7730. Este resultado evidencia una mejora térmica de más de 10 °C, lo cual representa un impacto positivo directo sobre la salud y el bienestar de los habitantes, en línea con lo indicado por autores como Qquelcca y Aguilar (2022), quienes sostienen que las soluciones de calefacción solar pasiva son adecuadas y necesarias para mitigar los efectos de las heladas extremas en zonas de altura.

En relación con el primer objetivo específico, la evaluación inicial del confort térmico en las viviendas del distrito de Tuti evidenció condiciones claramente deficitarias. Según los registros climáticos obtenidos, la temperatura promedio interior fue de 9.6 °C, con valores mínimos exteriores que alcanzaron los -3.8 °C. Esta situación se encuentra muy por debajo del rango óptimo de confort térmico definido por la norma UNE-EN ISO 7730, que establece un intervalo de 18 °C a 22 °C. Asimismo, la humedad relativa registrada fue de apenas 33.32 %, lo que

intensifica la percepción de frío, generando un entorno térmico desfavorable para los ocupantes de estas viviendas.

Estas condiciones se ven agravadas por las características constructivas predominantes en la zona. El 85.8 % de las viviendas tienen pisos de tierra, un 78.3 % poseen techos de calamina y el 50.6 % cuentan con muros de adobe, todos materiales de baja inercia térmica. Ello genera un aislamiento deficiente que permite una rápida pérdida de calor durante la noche, incrementando la exposición al disconfort térmico. En efecto, la diferencia térmica registrada entre el interior y el exterior fue de apenas 1.25 °C, demostrando que el aislamiento pasivo en estas construcciones es insuficiente.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Qquelcca y Aguilar (2022), quienes observaron que las viviendas rurales altoandinas presentan temperaturas interiores promedio de 15.91 °C cuando se implementa un sistema de calefacción solar con tuberías PEX, partiendo de condiciones térmicas iniciales similares a las de Tuti. Su estudio confirmó que, sin intervención alguna, estas viviendas no alcanzan los niveles mínimos de confort térmico, reafirmando la necesidad de soluciones estructurales y tecnológicas que mejoren la eficiencia térmica.

Del mismo modo, Molina, Horn y Gómez (2020) identificaron que el uso de materiales tradicionales como el adobe, combinados con estrategias de calefacción solar activa, apenas elevaban la temperatura interior a 16.8 °C, un nivel que sigue siendo inferior al umbral recomendado por normas internacionales. Su investigación sugiere que, si bien las estrategias pasivas y algunos sistemas solares activos mejoran parcialmente las condiciones térmicas, estas requieren ser complementadas con soluciones que contemplen una mayor retención de calor en pisos y muros.

En conjunto, los datos recopilados en el presente estudio validan el primer objetivo específico al demostrar que el confort térmico actual en Tuti es insatisfactorio. Las temperaturas interiores se sitúan por debajo del mínimo normativo, con una humedad relativa que acentúa la sensación de frío. Esta realidad, evidenciada tanto en los datos propios como en los antecedentes seleccionados, refuerza la pertinencia de diseñar un sistema de piso radiante con energía solar como alternativa técnica viable, sostenible y adaptada a las condiciones de las zonas altoandinas.

Respecto al segundo objetivo específico, el diseño del prototipo de piso radiante se centró en la configuración de un sistema térmico eficiente para zonas altoandinas, utilizando materiales convencionales y energía solar como fuente primaria. La simulación del modelo en el software SOLIDWORKS permitió verificar que el sistema diseñado alcanzó una temperatura interior de

confort de 20.5 °C, elevando la temperatura desde una situación inicial de -3.8 °C; es decir, una mejora de 24.3°C en las condiciones internas del ambiente. Este valor se mantuvo estable en un rango de 19.81 °C a 20.83 °C durante un periodo de operación de 16 horas y 56 minutos, lo que se encuentra dentro de los estándares establecidos por la Norma UNE-EN ISO 7730 para confort térmico.

Los resultados evidenciaron que el sistema de piso radiante convencional, construido con materiales locales como cemento, arena gruesa, tuberías de polietileno reticulado (PEX) y concreto simple, presentó un incremento de temperatura interior promedio de 24.3 °C. Este resultado demuestra una respuesta térmica positiva dentro de las limitaciones de diseño, logrando elevar la temperatura ambiental de una vivienda típica de zona altoandina, donde la temperatura base nocturna suele descender hasta niveles críticos.

El sistema convencional, aunque limitado por la falta de componentes especializados como aislantes o colectores solares, logró generar un microclima más cálido que el ambiente exterior, gracias a la circulación de agua caliente a través de tuberías empotradas en el mortero. Este comportamiento puede explicarse por la capacidad de inercia térmica del concreto, que permite la acumulación de calor y su liberación progresiva hacia el interior.

Estos hallazgos se encuentran respaldados por el estudio nacional desarrollado por Ttito (2023), quien diseñó un sistema solar radiante sin alta eficiencia para una escuela en Polobaya, Arequipa. Aunque su sistema fue híbrido, al comparar el comportamiento base del sistema radiante sin superficie de captación ampliada, se identificó una eficiencia inicial baja de 4.13 %, lo cual refuerza que los sistemas sin tecnologías adicionales pueden ser funcionales pero limitados en zonas de alta demanda térmica. En el presente estudio, si bien no se emplearon componentes solares, el diseño estructural optimizado permitió una mejora térmica similar, validando su aplicabilidad como alternativa inicial accesible.

Asimismo, Pari, Ribeiro y Frederico (2021) plantearon soluciones de confort térmico en viviendas sociales mesoandinas usando materiales autóctonos y técnicas pasivas. Aunque no se centraron en sistemas de piso radiante, sus resultados evidenciaron que incluso sin materiales importados ni tecnologías sofisticadas, es posible alcanzar mejoras significativas de confort mediante soluciones térmicas locales. Su uso de simulaciones energéticas demostró que la lana de oveja, por ejemplo, posee un potencial técnico superior a la totora para evitar fugas de calor, lo que sugiere que, incluso dentro del diseño convencional, existen oportunidades de optimización a partir de materiales disponibles en el entorno inmediato.

Por lo tanto, el sistema de piso radiante convencional instalado en esta investigación logró demostrar que, con una adecuada disposición estructural y selección de materiales accesibles, es posible mejorar el confort térmico en viviendas rurales altoandinas.

En el marco del tercer objetivo específico, se evaluó el comportamiento térmico del sistema de piso radiante construido con materiales locales, específicamente manguera HDPE para la conducción del fluido térmico y lana de vidrio como material aislante. Esta configuración permitió alcanzar un incremento térmico promedio de 9.12 °C, superando a los sistemas evaluados en los objetivos anteriores. El diseño logró estabilizar la temperatura interior por encima de los 15 °C, lo que representa una mejora significativa en términos de confort térmico para viviendas rurales ubicadas en zonas de heladas extremas.

El uso de lana de vidrio, a pesar de no ser un material estrictamente autóctono, se considera accesible y aplicable en contextos locales, y su incorporación como aislante permitió minimizar las pérdidas de calor hacia el subsuelo. Del mismo modo, la elección de la manguera HDPE, comúnmente empleada en entornos rurales por su bajo costo y resistencia térmica, resultó adecuada para mantener la eficiencia del sistema radiante sin comprometer la estructura del piso.

Estos hallazgos se ven respaldados por el estudio experimental realizado por Molina, Horn y Gómez (2020), quienes analizaron el comportamiento térmico de un módulo de vivienda altoandina mediante calefacción solar con tubos radiantes y sistemas de aislamiento. Su investigación demostró que el uso de aislantes apropiados, como el poliuretano expandido y recubrimientos con yeso, permite alcanzar temperaturas interiores de hasta 16.8 °C, validando la importancia de optimizar la estructura del piso para maximizar la retención de calor. Aunque en este caso se emplearon otros materiales, los principios de diseño y aislamiento térmico son coincidentes con los observados en el presente estudio.

Asimismo, el trabajo de Ttito (2023) respalda la relevancia de sistemas solares radiantes en aulas rurales altoandinas, demostrando que incluso con una eficiencia inicial baja (4.13 %), el sistema puede mejorar su desempeño térmico con adecuaciones como la ampliación de la superficie de captación o el uso de mejores materiales aislantes. En este contexto, la utilización de lana de vidrio en el sistema evaluado representa una mejora sustancial respecto a configuraciones previas, con un desempeño más favorable en cuanto a retención de calor y reducción de pérdidas energéticas.

Por lo tanto, el sistema de piso radiante implementado con manguera HDPE y lana de vidrio mostró un desempeño térmico sobresaliente frente a las demás configuraciones del estudio.

Este resultado valida la pertinencia de utilizar materiales de disponibilidad local o accesible, junto con principios de aislamiento térmico estratégico, como solución adaptable y efectiva para combatir las condiciones de vulnerabilidad térmica en viviendas altoandinas.

En relación con el cuarto objetivo específico, el sistema de piso radiante diseñado resultó ser significativamente más rentable que los sistemas de calefacción convencionales. Se obtuvo un ahorro acumulado de hasta S/ 77,040.00 frente a opciones como los calefactores eléctricos, y la inversión inicial se redujo en 27.01 % respecto a propuestas comerciales similares. El análisis económico arrojó un VANE de S/ 27,853.39 y una TIRE del 64.52 %, con recuperación en apenas 1.75 años. Desde el enfoque financiero, considerando un préstamo del 40 % con interés del 15 %, se obtuvo un VANF de S/ 26,237.66 y una TIRF de 71.50 %, con retorno en solo 1.6 años. El ROI alcanzó 138 % a mediano plazo y 541 % a 10 años. En términos financieros, el ROI fue aún mayor: 262 % a 5 años y 906 % a 10 años. Estos valores reflejan no solo la viabilidad económica del proyecto, sino también su potencial de replicabilidad como alternativa energética sostenible en zonas altoandinas.

Estos resultados se alinean con los hallazgos de Peñafiel (2022), quien propuso un sistema de piso radiante energizado con fuentes renovables y simulado mediante metodología BIM para viviendas del MIDUVI en Cañar, Ecuador. Su estudio demostró que los sistemas radiantes con captación solar integrada, especialmente mediante bombas de calor y paneles fotovoltaicos, reducen significativamente la demanda energética y resultan viables en cuanto a costos operativos y de instalación, siempre que se optimice su diseño desde la etapa de simulación. Esta comparación refuerza la importancia de incorporar estrategias de diseño térmico desde el inicio, como se hizo en la presente investigación con el modelo optimizado mediante diseño experimental.

Asimismo, Echarri-Iribarren et al. (2021), en su evaluación comparativa entre suelos y paredes radiantes con paneles cerámicos, evidenciaron que los sistemas de piso radiante lograron una reducción del 57.46 % en la demanda energética, cuando se combinaron con paneles solares térmicos y sistemas de refrigeración solar, destacando que tales estrategias generan un importante impacto ambiental positivo y ahorros económicos significativos a largo plazo. En ese sentido, los indicadores financieros obtenidos en el presente estudio corroboran que una inversión inicial planificada y cofinanciada permite obtener retornos atractivos en plazos razonables, promoviendo su replicabilidad en viviendas de zonas altoandinas expuestas a condiciones térmicas extremas.

En suma, el sistema optimizado demostró ser eficiente térmicamente, económicamente viable y técnicamente adaptable a las condiciones de la zona de estudio. La combinación de materiales

accesibles, captación solar orientada y aislamiento térmico estratégico no solo permitió reducir el consumo energético, sino que mejoró la calidad de vida en entornos rurales, constituyéndose en una solución sostenible y escalable para contextos similares en otras regiones altoandinas del Perú

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se determinó que el diseño del sistema de piso radiante con energía solar térmica propuesto para una habitación del distrito de Tuti, permite mejorar significativamente las condiciones de confort térmico. La simulación elevó la temperatura interior desde 9.6 °C hasta un rango de 19.81 °C - 20.83 °C, cumpliendo con los estándares establecidos por la norma UNE-EN ISO 7730. Esta mejora, lograda mediante simulación computacional de análisis térmico, demuestra que el sistema diseñado es técnica y económicamente viable para zonas altoandinas, contribuyendo a reducir el impacto del frío extremo y mejorando la calidad de vida de los habitantes.

Se identificó que las viviendas del distrito de Tuti presentan condiciones de confort térmico deficitarias. La temperatura promedio interior registrada fue de 9.6 °C y la mínima externa llegó a -3.8 °C, valores muy por debajo del rango óptimo de 18 – 22 °C establecido por la norma UNE-EN ISO 7730. Además, la humedad relativa promedio fue de 33.32 %, lo que agrava la sensación térmica desfavorable.

El diseño del prototipo de piso radiante, utilizando materiales convencionales y energía solar térmica, permitió alcanzar una temperatura interior de confort de 20.5°C, lo que representa un incremento de 10.9°C respecto a la situación inicial. Además, se verificó que la transmisión térmica del sistema permitió que la temperatura ambiente se estabilizara en un rango de 19.81 °C a 20.83 °C en 16 horas y 56 minutos, partiendo desde una temperatura crítica de -3.8 °C. Este resultado fue obtenido a través de simulaciones en el software SOLIDWORKS, confirmando que el diseño técnico propuesto cumple con los requisitos térmicos establecidos por la norma UNE-EN ISO 7730.

Al evaluar diferentes alternativas de diseño se evidenció, mediante simulación, que los materiales propuestos mejoran significativamente el desempeño térmico frente al modelo convencional, alcanzando una temperatura de confort térmico de 20 °C en 16 horas y 27 minutos partiendo desde una temperatura crítica de -3.8 °C. El uso de manguera HDPE incrementó la eficiencia del sistema en un 2.83 %, lo cual permitió una menor dependencia energética y una mayor estabilidad térmica.

Se concluye que la implementación del sistema de piso radiante con materiales locales es una alternativa técnicamente viable y económicamente rentable, al reducir la inversión inicial en un 27.01% frente a propuestas comerciales y generar ahorros acumulados de hasta S/ 77,040.00 en diez años respecto a calefactores eléctricos. El análisis económico arrojó un VANE de S/ 27,853.39 y una TIRE del 64.52%, con un periodo de recuperación de 1.75 años; mientras que el enfoque financiero, considerando un financiamiento del 40% con una tasa del 15%, mostró un VANF de S/ 26,237.66 y una TIRF del 71.50%, con recuperación en 1.60 años. A ello se suma un ROI económico de 138% a mediano plazo y uno financiero de 262%, evidenciando que el proyecto no solo es sostenible, sino también altamente rentable y replicable en zonas con demandas térmicas similares.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que la implementación del sistema de piso radiante con energía solar térmica en viviendas habitadas se realice siguiendo los lineamientos establecidos en la norma europea UNE-EN ISO 7730, la cual regula los sistemas de calefacción y refrigeración por superficies radiantes. Esta norma proporciona parámetros técnicos y condiciones de instalación que permiten asegurar la eficiencia y seguridad del sistema en condiciones reales.

Se recomienda realizar estudios complementarios en distintas épocas del año, con monitoreo continuo de temperatura y humedad, para analizar las fluctuaciones térmicas estacionales y explorar la orientación de las viviendas en la eficiencia del confort térmico.

Es recomendable que futuros estudios experimenten con nuevas configuraciones del sistema, incluyendo variaciones en el espesor de las tuberías, paredes, techos y pisos, para determinar su influencia directa en la eficiencia del confort térmico y optimizar el tiempo de disipación térmica.

Se sugiere ampliar el análisis mediante simulaciones con mayor número de materiales, considerando su resistencia térmica y su vida útil en condiciones extremas para medir el desempeño térmico del sistema en el tiempo.

Se recomienda a futuros investigadores realizar un análisis comparativo en diferentes contextos económicos, considerando variaciones en tarifas eléctricas y costos de instalación, con el fin de determinar la viabilidad de su implementación en otros sectores vulnerables o zonas rurales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEDES, 2012. *Conservación de praderas y crianza de alpacas raza Suri de color en la Cuenca Alta del Cañón del Colca - Arequipa*. Estudio de Línea Base [En línea]. S.l.: AEDES. [Fecha de consulta: 06 de mayo del 2023] Disponible en: http://www.aedes.org.pe/doc_sistematizacion/LINEA_DE_BASE_PNUD_RANRAN.pdf

ALPACA, O.J., 2022. *Evaluación de un sistema de calefacción por suelo radiante implementado en un módulo educativo-experimental construido con materiales alternativos a escala pequeña para la enseñanza superior*. TECNIA [En línea], vol. 32, no. 1, pp. 70-81. DOI 10.21754/tecnia.v32i1.1370. [Fecha de consulta: 12 de agosto del 2023] Disponible en: http://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/1370

CALDERÓN, F., 2019. *Evaluación del mejoramiento del confort térmico con la incorporación de materiales sostenibles en viviendas de autoconstrucción en Bogotá, Colombia. Revista Hábitat Sustentable* [En línea], vol. 9, no. 2, pp. 30-41. DOI 10.22320/07190700.2019.09.02.03. [Fecha de consulta: 12 de agosto del 2023] Disponible en: http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/3744

CARDIEL, M.Á.M., PALEO, J.M. y ROQUE, S.V., 2023. *Diseño y simulación de un sistema de calefacción solar para incrementar la temperatura en una habitación de 100 m3*. South Florida Journal of Development [En línea], vol. 4, no. 10, pp. 3995-4008. DOI 10.46932/sfjdv4n10-021. [Fecha de consulta:] Disponible en: https://ojs.southfloridapublishing.com/ojs/index.php/jdev/article/view/3397

CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, P. y R. del R. de D., 2022. *Escenarios de riesgo por bajas temperaturas del departamento de Arequipa* [En línea]. [s.l.]: Centro Nacional de Estimación. [Fecha de consulta: 10 de junio del 2023] Disponible en: http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//16069_escenarios-de-riesgo-por-bajas-temperaturas-del-departamento-de-arequipa.pdf

CERRÓN, A., 2022. *Sistemas de calefacción pasiva para lograr el confort térmico en viviendas alto andinas de Perú*. Cátedra Villarreal [En línea], vol. 10, no. 1, pp. 37-48. ISSN 2311-2212. DOI: 10.24039/cv20221011379. [Fecha de consulta: 18 de agosto del 2023] Disponible en: https://revistas.unfv.edu.pe/RCV/article/view/1379.

CORREA, J., 2021. *Diseño de un sistema de climatización por piso radiante para asegurar el confort de la Institución Educativa N°14616 de Chulucanas - Piura* [En línea]. Tesis de licenciatura. Universidad Señor de Sipán. [Fecha de consulta: 18 de agosto del 2023] Disponible en: https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8081.

ECHARRI-IRIBARREN, V., WONG, N. y SÁNCHEZ-OSTIZ, A., 2021. *Radiant floors versus radiant walls using ceramic thermal panels in Mediterranean dwellings: annual energy demand and cost-effective analysis.* Sustainability [En línea], vol. 13, no. 2, p. 588. ISSN 2071-1050. DOI: 10.3390/su13020588. [Fecha de consulta: 20 de agosto del 2023] Disponible en: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/588.

FEGECA, 2017. *Guía del suelo radiante* [En línea]. [s.l.]: s.n. [Fecha de consulta: 14 de setiembre del 2023] Disponible en: https://www.fegeca.com/docs/fegeca-guia-suelo-radiante.pdf.

GONZÁLEZ, B. y PRIETO, M., 2021. *Radiant heating floors with PCM bands for thermal energy storage: A numerical analysis.* International Journal of Thermal Sciences [En línea], vol. 162, p. 106803. ISSN 1290-0729. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2020.106803. [Fecha de consulta: 20 de agosto del 2023] Disponible en: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1290072920312461.

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C., 2018. *Metodología de la investigación.* Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. 1ra ed. Ciudad de México: McGraw-Hill.

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, M., 2014. *Metodología de la investigación* [En línea]. 6ta ed. [s.l.]: s.n. [Fecha de consulta: 03 de mayo del 2023] Disponible en: http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compresssed.pdf.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA – INEI, 2017. *Censo Nacional de Población y Vivienda 2017*. [s.l.]: INEI

JIN, X., YANG, J., LI, M., HUANG, G. y LAI, A., 2022. *Experimental and numerical study on the thermal energy storage performance of a novel phase-change material for radiant floor heating systems.* Building and Environment [En línea], vol. 223, p. 109491. ISSN 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109491. [Fecha de consulta:

20 de agosto del 2023] Disponible en: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132322007223.

LI, T., MERABTINE, A., LACHI, M., MARTAJ, N. y BENNACER, R., 2021. *Experimental study on the thermal comfort in the room equipped with a radiant floor heating system exposed to direct solar radiation.* Energy [En línea], vol. 230, art. 120800. ISSN 0360-5442. DOI: 10.1016/j.energy.2021.120800. [Fecha de consulta: 20 de agosto del 2023] Disponible en: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544221010483.

MANRIQUE, H., 2022. *Evaluación de la eficiencia energética de un sistema de generación eléctrica que usa como fuente de energía la biomasa* [En línea]. Tesis de licenciatura. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín. [Fecha de consulta: 13 de agosto del 2023] Disponible en: http://190.119.145.154/handle/20.500.12773/14060.

MOLINA, J., HORN, M. y GÓMEZ, M., 2020. *Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda alto andina para lograr el confort térmico con energía solar.* Colaboración con el XXIII Simposio Peruano de Energía Solar [En línea], vol. 30, no. 1. [Fecha de consulta: 13 de agosto del 2023] Disponible en: http://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/841.

ÑAUPAS, H., VALDIVIA, M., PALACIOS, J. y ROMERO, H., 2018. *Metodología de la investigación.* Cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. 5ta ed. [s.l.]: s.n.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2023. *El estado del clima mundial 2022* [En línea]. S.l.: s.n. [Fecha de consulta: 04 de junio del 2023] Disponible en: https://public.wmo.int/es/recursos/biblioteca/el-estado-del-clima-mundial-en-2022.

PARI, D., RIBEIRO, J. y FREDERICO, C., 2021. *Confort térmico en viviendas sociales en la zona Mesoandina de Perú – soluciones para mejorar la calefacción pasiva usando materiales autóctonos.* Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade [En línea], vol. 2, no. 6. [Fecha de consulta: 13 de agosto del 2023] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/356196996_Confort_termico_en_viviendas_sociales_en_la_zona_Mesoandina_de_Peru_soluciones_para_mejorar_la_calefaccion_pasiva_usando_materiales_autoctonos.

PEÑAFIEL, A., 2022. *Evaluación de suelos radiantes con uso de energías renovables para climatización de viviendas en la provincia del Cañar* [En línea]. Tesis de licenciatura.

Cuenca: Universidad Católica de Cuenca. [Fecha de consulta: 13 de agosto del 2023] Disponible en: https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/12591.

POSSO PACHECO, R. y BERTHEAU, E., 2020. *Validez y confiabilidad del instrumento determinante humano en la implementación del currículo de educación física*. Revista Educare [En línea], vol. 24, no. 3. [Fecha de consulta: 16 de julio del 2023] Disponible en: https://doi.org/10.46498/reduipb.v24i3.1410.

QQUELCCA, E. y AGUILAR, E., 2022. *Construcción e implementación de una vivienda rústica de la región Puno para pruebas de calefacción solar por piso radiante* [En línea]. Tesis de licenciatura. Juliaca: Universidad Nacional de Juliaca. [Fecha de consulta: 13 de agosto del 2023] Disponible en: http://repositorio.unaj.edu.pe/handle/UNAJ/242.

RATACHE, P.R., CABANILLAS, C.E.R., HORN, M. y GÓMEZ, M.M., 2021. *Simulación del consumo energético para la calefacción de un módulo de vivienda experimental situado a 4500 msnm.* TECNIA [En línea], vol. 31, no. 1, pp. 35-41. ISSN 2309-0413. DOI: 10.21754/tecnia.v31i1.1083. [Fecha de consulta: 16 de julio del 2023] Disponible en: http://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/1083.

ROBLEDO-FAVA, R., HERNÁNDEZ-LUNA, M., FERNÁNDEZ-DE-CÓRDOBA, P., MICHINEL, H., ZARAGOZA, S., CASTILLO-GUZMÁN, A. y SELVAS-AGUILAR, R., 2019. *Analysis of the influence subjective human parameters in the calculation of thermal comfort and energy consumption of buildings*. Energies [En línea], vol. 12, no. 8, pp. 1531. ISSN 1996-1073. DOI: 10.3390/en12081531. [Fecha de consulta: 16 de julio del 2023] Disponible en: https://www.mdpi.com/1996-1073/12/8/1531.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ, 2023. *Boletín agroclimático y registros meteorológicos – Estaciones Andinas* [En línea]. S.l.: SENAMHI.

SOUZA, E., 2021. *¿Cómo funciona la calefacción por suelo radiante?* ArchDaily [En línea]. [Fecha de consulta: 03 de agosto del 2023] Disponible en: https://www.archdaily.pe/pe/963864/como-funciona-la-calefaccion-por-suelo-radiante.

TTITO, A., 2023. *Diseño de un sistema solar radiante para evaluar su desempeño en aplicación de confort térmico al personal en la escuela 1428096 Uzuña – Polobaya* [En línea]. Tesis de licenciatura. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín. [Fecha de consulta: 16 de julio del 2024] Disponible en: https://repositorio.unsa.edu.pe/items/580be946-cfc7-41be-9229-b338b7f61fa7.

YANG, F., LIU, J., SUN, Q., CHENG, L. y WENNERSTEN, R., 2019. *Simulation analysis of household solar assistant radiant floor heating system in cold area.* Energy Procedia [En línea], vol. 158, pp. 631-636. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2019.01.166. [Fecha de consulta: 16 de julio del 2023] Disponible en: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610219301766.

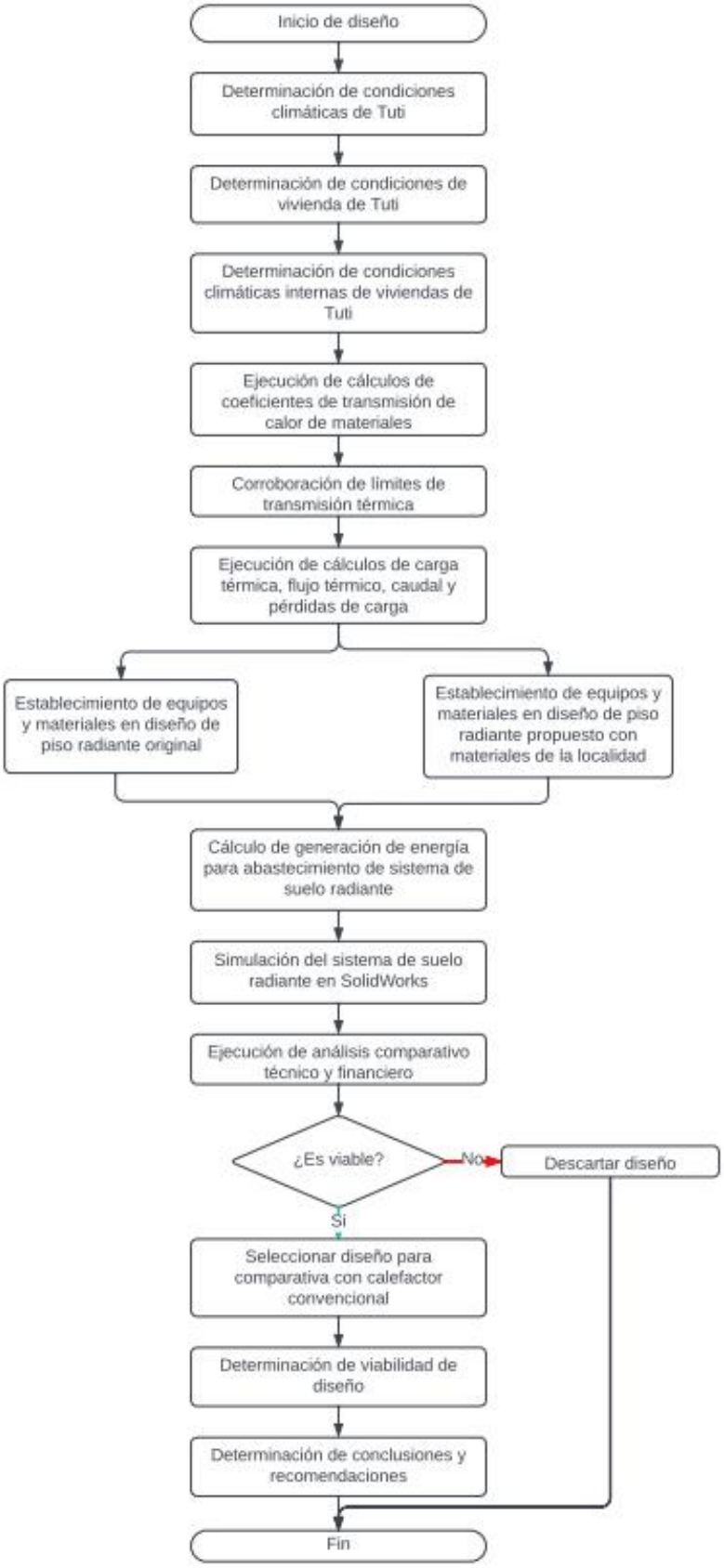
ZHANG, J., XU, W., LI, A., ZHENG, K. y ZHANG, J., 2016. *Study on improving thermal environment and energy conservation of quadrangle adobe dwelling.* Energy and Buildings [En línea], vol. 129, pp. 92-101. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2016.07.048. [Fecha de consulta: 06 de setiembre del 2023] Disponible en: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816306533.

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de consistencia.

<table>
<tr><th>Problema General</th><th>Objetivo General</th><th>Variables</th><th>Dimensiones</th><th>Indicadores</th></tr>
<tr><td>¿Cuál es el nivel de mejora en el confort térmico de una habitación ubicada en el distrito de Tuti mediante el diseño de un piso radiante con energía solar, Arequipa 2023?</td><td>Determinar el diseño de un piso radiante con energía solar para mejorar el confort térmico de una habitación ubicada en el distrito de Tuti, Arequipa 2023.</td><td rowspan="5">Variable Independiente:
Pisos radiantes con energía solar térmica</td><td>Eficiencia energética</td><td>Nivel de consumo de energía (kWh/m^2)</td></tr>
<tr><th>Problemas Específicos</th><th>Objetivos específicos</th><td>Transferencia de calor</td><td>Calor específico (Cal/Kg°C)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">¿Cuál es el nivel actual de confort térmico en una habitación ubicada en el distrito de Tuti?</td><td rowspan="2">Identificar el nivel actual de confort térmico en una habitación ubicada en el distrito de Tuti.</td><td>Calor almacenado</td><td>Cantidad de calor (Joule)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Parámetros ambientales</td><td>Temperatura del ambiente (°C)</td></tr>
<tr><td>¿Cómo diseñar un prototipo de piso radiante de material convencional con energía solar térmica que mejore el confort térmico en una habitación ubicada en el distrito de Tuti?</td><td>Diseñar un prototipo de piso radiante de material convencional con energía solar térmica que mejore el confort térmico en una habitación ubicada en el distrito de Tuti.</td><td rowspan="3">Variable Dependiente:
Confort térmico</td><td>Radiación Solar (W/m^2)</td></tr>
<tr><td>¿Cuál es el nivel de variación de confort térmico mediante la simulación de un modelo de piso radiante convencional frente a pisos radiantes con materiales propuestos?</td><td>Evaluar el nivel de variación de confort térmico mediante la simulación de un modelo de piso radiante convencional frente a pisos radiantes con materiales propuestos.</td><td rowspan="2">Parámetros ambientales</td><td>Temperatura del ambiente (°C)</td></tr>
<tr><td>¿Cuál es el ahorro e indicadores económico-financieros que genera la implementación de un sistema de piso radiante con energía solar térmica?</td><td>Realizar un análisis de ahorro e indicadores económico-financieros que genera la implementación de un sistema de piso radiante con energía solar térmica.</td><td>Radiación Solar (W/m^2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Parámetros físicos</td><td>Rangos de operación (°C)</td></tr>
<tr><td>Conducción de calor de la pared (Cal/Kg°C)</td></tr>
</table>

Anexo 02. Flujograma de procedimiento de investigación experimental.



Anexo 03. Registros climáticos de estación de Chivay – Senamhi 2023.

Estación : CHIVAY						
Departamento :	AREQUIPA	Provincia :	CAYLLOMA	Distrito :	CHIVAY	
Latitud :	15°38'29.86''	Longitud :	71°36'6.08''	Altitud :	3644 msnm.	
Tipo :	EAMA - Meteorológica	Código :	4723D752			

AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
1/10/2023	00:00	2.8	S/D	28	52	0.6
1/10/2023	01:00	2.4	S/D	27	96	2.7
1/10/2023	02:00	2.3	S/D	26	33	2.1
1/10/2023	03:00	2.3	S/D	25	57	2
1/10/2023	04:00	2	S/D	24	102	2.3
1/10/2023	05:00	2	S/D	23	40	3.1
1/10/2023	06:00	1.3	S/D	27	102	1.5
1/10/2023	07:00	7.9	S/D	17	78	1.8
1/10/2023	08:00	12.4	S/D	15	80	1.7
1/10/2023	09:00	16.7	S/D	17	103	1.7
1/10/2023	10:00	18.7	S/D	15	183	3.1
1/10/2023	11:00	20.5	S/D	9	232	4.1
1/10/2023	12:00	21.8	S/D	9	299	4.8
1/10/2023	13:00	21.6	S/D	10	256	9.2
1/10/2023	14:00	21.1	S/D	10	255	8.7
1/10/2023	15:00	18.1	S/D	13	217	9.9
1/10/2023	16:00	16.6	S/D	15	204	10.2
1/10/2023	17:00	15.5	S/D	20	199	9.4
1/10/2023	18:00	12.4	S/D	17	176	10.9
1/10/2023	19:00	10.7	S/D	27	213	3.9
1/10/2023	20:00	8.7	S/D	31	127	0.6
1/10/2023	21:00	7.9	S/D	32	123	1.9
1/10/2023	22:00	6.8	S/D	34	53	1.6
1/10/2023	23:00	5.3	S/D	38	89	0.2
2/10/2023	00:00	5.2	S/D	39	108	1.3
2/10/2023	01:00	4.1	S/D	42	101	0.9
2/10/2023	02:00	4.7	S/D	39	64	1.7
2/10/2023	03:00	4.2	S/D	39	56	2.5
2/10/2023	04:00	3.7	S/D	40	69	2.2
2/10/2023	05:00	3.6	S/D	40	44	3.4
2/10/2023	06:00	3.7	S/D	38	42	2.4
2/10/2023	07:00	9	S/D	28	72	1.5

2/10/2023	08:00	12.6	S/D	22	39	2.6
2/10/2023	09:00	16.7	S/D	19	131	1.4
2/10/2023	10:00	20.3	S/D	15	189	1.7
2/10/2023	11:00	21.4	S/D	14	21	2.6
2/10/2023	12:00	23.7	S/D	11	330	3.8
2/10/2023	13:00	23.1	S/D	13	191	11.1
2/10/2023	14:00	21.9	S/D	14	218	9.4
2/10/2023	15:00	19.7	S/D	16	256	9.6
2/10/2023	16:00	18.1	S/D	18	248	6.3
2/10/2023	17:00	15.6	S/D	21	244	8
2/10/2023	18:00	13	S/D	25	194	7.6
2/10/2023	19:00	10.5	S/D	30	246	6.3
2/10/2023	20:00	9.4	S/D	32	184	2.5
2/10/2023	21:00	8.3	S/D	34	310	2
2/10/2023	22:00	8.4	S/D	34	132	1.3
2/10/2023	23:00	7.4	S/D	37	116	0
3/10/2023	00:00	6.6	S/D	38	14	1.6
3/10/2023	01:00	5.5	S/D	42	91	2
3/10/2023	02:00	4.5	S/D	44	90	0.7
3/10/2023	03:00	4.7	S/D	43	81	2.1
3/10/2023	04:00	5.3	S/D	41	78	1.7
3/10/2023	05:00	5.5	S/D	41	63	1
3/10/2023	06:00	6.1	S/D	39	62	1.6
3/10/2023	07:00	7.9	S/D	35	24	4.1
3/10/2023	08:00	12.7	S/D	26	17	3.6
3/10/2023	09:00	16.6	S/D	21	64	1.7
3/10/2023	10:00	18.1	S/D	19	227	3.2
3/10/2023	11:00	20.5	S/D	14	291	3.8
3/10/2023	12:00	20	S/D	19	227	7.7
3/10/2023	13:00	19.4	S/D	18	158	9.2
3/10/2023	14:00	19.1	S/D	19	281	6.5
3/10/2023	15:00	18.1	S/D	17	176	11.1
3/10/2023	16:00	18	S/D	18	216	6.8
3/10/2023	17:00	14.9	S/D	23	215	8.3
3/10/2023	18:00	12	S/D	28	211	8.6
3/10/2023	19:00	10.7	S/D	31	215	6.4
3/10/2023	20:00	9.5	S/D	33	195	3.6
3/10/2023	21:00	8.3	S/D	35	126	1.8
3/10/2023	22:00	7.1	S/D	39	115	1.6
3/10/2023	23:00	7	S/D	39	35	1.4
4/10/2023	00:00	6.5	S/D	41	97	1.2
4/10/2023	01:00	6.3	S/D	42	97	0.1
4/10/2023	02:00	6.6	S/D	39	31	3.1
4/10/2023	03:00	6.1	S/D	41	31	1.6
4/10/2023	04:00	5.2	S/D	43	54	1.7

4/10/2023	05:00	5	S/D	43	44	1.8
4/10/2023	06:00	3.7	S/D	47	83	1.7
4/10/2023	07:00	9.4	S/D	32	333	0.6
4/10/2023	08:00	12.8	S/D	27	21	2.5
4/10/2023	09:00	15.6	S/D	22	185	2.3
4/10/2023	10:00	18.1	S/D	17	241	3.1
4/10/2023	11:00	20.1	S/D	14	310	2.5
4/10/2023	12:00	20.4	S/D	14	260	7.5
4/10/2023	13:00	18.4	S/D	12	169	15
4/10/2023	14:00	16.3	S/D	14	167	16
4/10/2023	15:00	17.8	S/D	12	184	14.3
4/10/2023	16:00	16.1	S/D	14	172	14.7
4/10/2023	17:00	14.4	S/D	17	193	8.7
4/10/2023	18:00	11.5	S/D	21	178	11.4
4/10/2023	19:00	10	S/D	23	206	6.7
4/10/2023	20:00	8.2	S/D	28	237	2.5
4/10/2023	21:00	6.7	S/D	34	174	1.7
4/10/2023	22:00	5.7	S/D	37	174	0.1
4/10/2023	23:00	5.2	S/D	38	120	0.9
5/10/2023	00:00	3.9	S/D	41	56	1.6
5/10/2023	01:00	3.5	S/D	44	37	2.2
5/10/2023	02:00	2.2	S/D	44	83	0.6
5/10/2023	03:00	2.7	S/D	36	49	3.4
5/10/2023	04:00	2	S/D	36	60	2.6
5/10/2023	05:00	0.9	S/D	39	67	2.5
5/10/2023	06:00	1.6	S/D	34	56	1.9
5/10/2023	07:00	6.7	S/D	24	81	2.4
5/10/2023	08:00	11.3	S/D	16	36	2.8
5/10/2023	09:00	14.6	S/D	9	195	2.9
5/10/2023	10:00	16	S/D	8	201	3
5/10/2023	11:00	17.4	S/D	7	252	5
5/10/2023	12:00	19	S/D	6	269	8.1
5/10/2023	13:00	19.1	S/D	7	251	7.9
5/10/2023	14:00	18.6	S/D	8	241	8.7
5/10/2023	15:00	17.6	S/D	10	241	8.3
5/10/2023	16:00	15	S/D	14	175	14.5
5/10/2023	17:00	12.5	S/D	16	154	10.7
5/10/2023	18:00	10.4	S/D	18	179	11.8
5/10/2023	19:00	8.9	S/D	23	175	12.9
5/10/2023	20:00	7.8	S/D	22	196	3.7
5/10/2023	21:00	6.2	S/D	23	194	2
5/10/2023	22:00	4.8	S/D	25	170	2.6
5/10/2023	23:00	3.3	S/D	28	79	1.4
6/10/2023	00:00	2.6	S/D	29	114	1.6
6/10/2023	01:00	2.3	S/D	30	58	2.5

6/10/2023	02:00	1.3	S/D	31	69	2.5
6/10/2023	03:00	0.2	S/D	30	70	1.9
6/10/2023	04:00	0.3	S/D	28	38	4.1
6/10/2023	05:00	-1.2	S/D	30	64	2.5
6/10/2023	06:00	-0.4	S/D	29	35	5.6
6/10/2023	07:00	3.9	S/D	21	68	3.5
6/10/2023	08:00	8.8	S/D	15	54	3.6
6/10/2023	09:00	12.2	S/D	10	130	1.5
6/10/2023	10:00	16.5	S/D	S/D	248	2.2
6/10/2023	11:00	19.3	S/D	S/D	318	4
6/10/2023	12:00	19	S/D	S/D	193	6.3
6/10/2023	13:00	19.4	S/D	S/D	183	12.5
6/10/2023	14:00	18.4	S/D	S/D	168	14.9
6/10/2023	15:00	16.9	S/D	S/D	170	18.2
6/10/2023	16:00	15.6	S/D	6	175	18.8
6/10/2023	17:00	13.9	S/D	7	156	11.2
6/10/2023	18:00	11.6	S/D	11	162	8.3
6/10/2023	19:00	10	S/D	16	197	4.9
6/10/2023	20:00	7.9	S/D	18	143	2.2
6/10/2023	21:00	5.5	S/D	20	66	1.2
6/10/2023	22:00	4.2	S/D	24	97	0.5
6/10/2023	23:00	4.5	S/D	18	40	3.2
7/10/2023	00:00	2	S/D	21	83	2.4
7/10/2023	01:00	2.4	S/D	16	39	4.5
7/10/2023	02:00	0.7	S/D	17	65	2.9
7/10/2023	03:00	0.8	S/D	16	30	3.9
7/10/2023	04:00	-0.3	S/D	17	30	3.5
7/10/2023	05:00	-1.8	S/D	18	70	1.6
7/10/2023	06:00	-0.3	S/D	15	37	5.3
7/10/2023	07:00	3.8	S/D	10	52	5.1
7/10/2023	08:00	8.4	S/D	7	51	6.1
7/10/2023	09:00	15.4	S/D	S/D	55	2.6
7/10/2023	10:00	18.5	S/D	S/D	54	5.6
7/10/2023	11:00	20.4	S/D	S/D	82	4.2
7/10/2023	12:00	20.5	S/D	S/D	187	6.5
7/10/2023	13:00	21.8	S/D	S/D	291	4.8
7/10/2023	14:00	22.3	S/D	S/D	249	4.6
7/10/2023	15:00	19.4	S/D	S/D	176	15.2
7/10/2023	16:00	16.5	S/D	8	173	18.1
7/10/2023	17:00	14.4	S/D	9	203	7.2
7/10/2023	18:00	10.8	S/D	15	207	8.5
7/10/2023	19:00	8.9	S/D	18	204	5.3
7/10/2023	20:00	6.9	S/D	21	151	0.9
7/10/2023	21:00	4.8	S/D	25	110	1.4
7/10/2023	22:00	4	S/D	27	120	0.8

7/10/2023	23:00	2.9	S/D	29	81	1
8/10/2023	00:00	2.2	S/D	29	124	1
8/10/2023	01:00	3	S/D	25	39	4.6
8/10/2023	02:00	1.9	S/D	26	40	2.7
8/10/2023	03:00	1.6	S/D	26	54	3
8/10/2023	04:00	-0.1	S/D	29	75	1.9
8/10/2023	05:00	-0.2	S/D	28	47	2.2
8/10/2023	06:00	0.4	S/D	26	33	4.3
8/10/2023	07:00	5.1	S/D	17	68	2.9
8/10/2023	08:00	10.4	S/D	12	50	3.3
8/10/2023	09:00	14.6	S/D	8	35	1.7
8/10/2023	10:00	18.2	S/D	5	100	1.7
8/10/2023	11:00	20.5	S/D	6	257	3.4
8/10/2023	12:00	21.4	S/D	S/D	263	7.5
8/10/2023	13:00	20.5	S/D	S/D	251	9.7
8/10/2023	14:00	20.5	S/D	S/D	260	9.8
8/10/2023	15:00	19.5	S/D	5	223	9.8
8/10/2023	16:00	17.5	S/D	6	218	9.7
8/10/2023	17:00	13.9	S/D	7	213	10.8
8/10/2023	18:00	11.2	S/D	9	196	8.4
8/10/2023	19:00	9.2	S/D	11	187	4.2
8/10/2023	20:00	6.6	S/D	15	118	0.3
8/10/2023	21:00	4.8	S/D	18	120	0.9
8/10/2023	22:00	3.7	S/D	21	121	0.9
8/10/2023	23:00	2.9	S/D	21	99	1.3
9/10/2023	00:00	2.3	S/D	18	66	2.3
9/10/2023	01:00	2.1	S/D	17	87	2
9/10/2023	02:00	1.7	S/D	17	36	2.7
9/10/2023	03:00	-0.4	S/D	19	96	2.2
9/10/2023	04:00	-0.2	S/D	18	36	3.1
9/10/2023	05:00	-1.3	S/D	19	70	1.6
9/10/2023	06:00	-2.1	S/D	19	79	2
9/10/2023	07:00	5.7	S/D	10	83	2.1
9/10/2023	08:00	9.9	S/D	7	48	4.3
9/10/2023	09:00	14.9	S/D	5	20	3.7
9/10/2023	10:00	18.8	S/D	S/D	315	1.4
9/10/2023	11:00	21	S/D	S/D	282	2.3
9/10/2023	12:00	22.9	S/D	S/D	286	3.3
9/10/2023	13:00	21.2	S/D	S/D	261	8.8
9/10/2023	14:00	20.5	S/D	S/D	259	8.2
9/10/2023	15:00	20	S/D	S/D	266	7.8
9/10/2023	16:00	17.4	S/D	5	241	8.6
9/10/2023	17:00	14.3	S/D	9	207	8.6
9/10/2023	18:00	10.7	S/D	12	195	9.2
9/10/2023	19:00	8.7	S/D	15	220	4

9/10/2023	20:00	7.1	S/D	19	177	2.1
9/10/2023	21:00	5.1	S/D	20	228	1.6
9/10/2023	22:00	4	S/D	23	113	2.3
9/10/2023	23:00	3.4	S/D	24	32	2.4
10/10/2023	00:00	3.5	S/D	23	31	2.3
10/10/2023	01:00	3.1	S/D	22	44	3.7
10/10/2023	02:00	1.7	S/D	21	41	2.8
10/10/2023	03:00	0.1	S/D	23	92	1.3
10/10/2023	04:00	-0.3	S/D	22	75	2.6
10/10/2023	05:00	-0.8	S/D	23	62	2.3
10/10/2023	06:00	-2	S/D	22	96	1.6
10/10/2023	07:00	4.3	S/D	14	68	2.8
10/10/2023	08:00	9.2	S/D	10	29	3.6
10/10/2023	09:00	14	S/D	6	20	2.9
10/10/2023	10:00	17.6	S/D	S/D	213	3.6
10/10/2023	11:00	19.5	S/D	S/D	281	3.8
10/10/2023	12:00	20.5	S/D	S/D	265	6.9
10/10/2023	13:00	21.1	S/D	S/D	240	6.6
10/10/2023	14:00	20.6	S/D	S/D	242	8.5
10/10/2023	15:00	19.1	S/D	S/D	172	13
10/10/2023	16:00	17.5	S/D	5	175	15.6
10/10/2023	17:00	14.9	S/D	9	173	15.5
10/10/2023	18:00	12.5	S/D	14	167	9.4
10/10/2023	19:00	10.6	S/D	15	196	6.7
10/10/2023	20:00	7.9	S/D	23	192	0.9
10/10/2023	21:00	5.8	S/D	29	111	2
10/10/2023	22:00	4.7	S/D	30	119	1.3
10/10/2023	23:00	3.5	S/D	32	85	2.4
11/10/2023	00:00	3.5	S/D	22	70	2.5
11/10/2023	01:00	2.5	S/D	22	76	3.2
11/10/2023	02:00	1.8	S/D	19	61	3
11/10/2023	03:00	0.8	S/D	18	61	3.6
11/10/2023	04:00	0.4	S/D	16	56	3.2
11/10/2023	05:00	-0.8	S/D	18	80	3.3
11/10/2023	06:00	-0.2	S/D	16	43	3.7
11/10/2023	07:00	5.2	S/D	10	67	2.3
11/10/2023	08:00	9.8	S/D	7	36	4.1
11/10/2023	09:00	14.7	S/D	S/D	25	3.5
11/10/2023	10:00	17.3	S/D	S/D	214	3.6
11/10/2023	11:00	18.5	S/D	S/D	247	5.1
11/10/2023	12:00	19.5	S/D	S/D	237	7.8
11/10/2023	13:00	20.3	S/D	S/D	262	8.2
11/10/2023	14:00	20	S/D	S/D	267	9.8
11/10/2023	15:00	19	S/D	S/D	270	10.1
11/10/2023	16:00	17.4	S/D	S/D	240	7.9

11/10/2023	17:00	14.5	S/D	9	259	6.4
11/10/2023	18:00	12.2	S/D	11	199	5.5
11/10/2023	19:00	10.4	S/D	12	144	4.1
11/10/2023	20:00	8	S/D	14	166	2.7
11/10/2023	21:00	7.5	S/D	10	138	2.8
11/10/2023	22:00	5.7	S/D	10	181	4.1
11/10/2023	23:00	4	S/D	12	96	1
12/10/2023	00:00	2.3	S/D	16	80	1.1
12/10/2023	01:00	2	S/D	17	59	1.6
12/10/2023	02:00	1.7	S/D	18	35	4.1
12/10/2023	03:00	1	S/D	17	35	4
12/10/2023	04:00	0.5	S/D	18	40	4.9
12/10/2023	05:00	-0.1	S/D	19	36	4.7
12/10/2023	06:00	-0.3	S/D	18	46	4.1
12/10/2023	07:00	6.2	S/D	11	79	1
12/10/2023	08:00	9.5	S/D	8	32	4.4
12/10/2023	09:00	13.3	S/D	S/D	157	2.3
12/10/2023	10:00	15.6	S/D	S/D	215	4.1
12/10/2023	11:00	17.9	S/D	S/D	247	4
12/10/2023	12:00	19	S/D	S/D	235	8
12/10/2023	13:00	19.6	S/D	S/D	273	5.9
12/10/2023	14:00	18.2	S/D	5	264	10.6
12/10/2023	15:00	17.6	S/D	5	259	10.1
12/10/2023	16:00	15.8	S/D	5	252	9.9
12/10/2023	17:00	13.3	S/D	7	258	8.9
12/10/2023	18:00	10.5	S/D	13	187	8.9
12/10/2023	19:00	8.1	S/D	15	182	3.7
12/10/2023	20:00	6.8	S/D	19	181	4.8
12/10/2023	21:00	5	S/D	18	166	3.5
12/10/2023	22:00	3.6	S/D	20	175	2.1
12/10/2023	23:00	2.6	S/D	23	99	0.8
13/10/2023	00:00	1.2	S/D	24	98	1
13/10/2023	01:00	1.7	S/D	25	59	4.7
13/10/2023	02:00	0.8	S/D	22	49	3.3
13/10/2023	03:00	0	S/D	21	63	2.6
13/10/2023	04:00	-0.8	S/D	21	47	3.6
13/10/2023	05:00	-1.5	S/D	20	57	2.7
13/10/2023	06:00	-2	S/D	21	34	4.6
13/10/2023	07:00	3.9	S/D	12	72	2.7
13/10/2023	08:00	7.8	S/D	10	25	4.1
13/10/2023	09:00	12.3	S/D	6	33	1.3
13/10/2023	10:00	13.9	S/D	S/D	181	4.1
13/10/2023	11:00	16.1	S/D	S/D	243	4.3
13/10/2023	12:00	17.1	S/D	S/D	177	5.4
13/10/2023	13:00	18.3	S/D	S/D	228	7.1

13/10/2023	14:00	18.5	S/D	S/D	251	8.8
13/10/2023	15:00	16	S/D	8	165	16.7
13/10/2023	16:00	15.1	S/D	8	187	11.3
13/10/2023	17:00	12.1	S/D	10	192	12.2
13/10/2023	18:00	9.3	S/D	14	188	10.2
13/10/2023	19:00	7.7	S/D	19	212	5.7
13/10/2023	20:00	6.2	S/D	23	192	4.1
13/10/2023	21:00	4.2	S/D	25	127	0.8
13/10/2023	22:00	3.6	S/D	25	133	1.7
13/10/2023	23:00	2.5	S/D	27	108	1.4
14/10/2023	00:00	1.4	S/D	29	75	1.7
14/10/2023	01:00	0.8	S/D	30	110	1.5
14/10/2023	02:00	-0.6	S/D	31	71	1.2
14/10/2023	03:00	-1.2	S/D	31	80	1.5
14/10/2023	04:00	-1.9	S/D	32	73	1.7
14/10/2023	05:00	-1.9	S/D	32	109	2
14/10/2023	06:00	-1.3	S/D	31	110	2.3
14/10/2023	07:00	5.2	S/D	17	155	2.9
14/10/2023	08:00	9.3	S/D	15	163	1.8
14/10/2023	09:00	15.9	S/D	14	320	3.2
14/10/2023	10:00	17	S/D	11	116	3.1
14/10/2023	11:00	18.9	S/D	9	204	5.9
14/10/2023	12:00	19.9	S/D	9	231	7
14/10/2023	13:00	21.3	S/D	8	248	6
14/10/2023	14:00	20.5	S/D	7	252	8.5
14/10/2023	15:00	18.5	S/D	7	260	9.5
14/10/2023	16:00	15.9	S/D	9	229	9.2
14/10/2023	17:00	12.3	S/D	13	238	10.1
14/10/2023	18:00	9.6	S/D	19	231	4.2
14/10/2023	19:00	8	S/D	23	245	2.4
14/10/2023	20:00	6.7	S/D	27	235	1.7
14/10/2023	21:00	6.2	S/D	29	190	1.4
14/10/2023	22:00	5.2	S/D	32	222	0
14/10/2023	23:00	5	S/D	31	106	0.4
15/10/2023	00:00	5.2	S/D	30	157	1
15/10/2023	01:00	3.6	S/D	32	103	1.2
15/10/2023	02:00	3.7	S/D	31	86	1.5
15/10/2023	03:00	4.4	S/D	27	70	2.3
15/10/2023	04:00	3.8	S/D	28	78	2.4
15/10/2023	05:00	2.5	S/D	32	87	1.3
15/10/2023	06:00	3.6	S/D	30	83	3
15/10/2023	07:00	9.4	S/D	20	60	1.8
15/10/2023	08:00	13.8	S/D	20	158	1.5
15/10/2023	09:00	16.5	S/D	24	203	3.7
15/10/2023	10:00	19.7	S/D	19	291	5

15/10/2023	11:00	20.5	S/D	18	225	4.9
15/10/2023	12:00	22.5	S/D	17	284	5.7
15/10/2023	13:00	21.4	S/D	13	273	1.9
15/10/2023	14:00	18.5	S/D	17	229	9.6
15/10/2023	15:00	18.5	S/D	15	226	9.6
15/10/2023	16:00	17	S/D	14	212	9.2
15/10/2023	17:00	14	S/D	17	216	9
15/10/2023	18:00	12.2	S/D	21	216	6.1
15/10/2023	19:00	10	S/D	27	241	5
15/10/2023	20:00	7.9	S/D	34	328	1.4
15/10/2023	21:00	5.9	S/D	39	277	0.9
15/10/2023	22:00	4.9	S/D	39	166	0.7
15/10/2023	23:00	4.7	S/D	41	111	1.7
16/10/2023	00:00	3.9	S/D	43	96	1.2
16/10/2023	01:00	3.3	S/D	44	70	0.7
16/10/2023	02:00	3.1	S/D	43	92	0.2
16/10/2023	03:00	4.9	S/D	38	17	3.9
16/10/2023	04:00	5.1	S/D	38	69	1.2
16/10/2023	05:00	5.5	S/D	35	25	0.9
16/10/2023	06:00	6	S/D	34	186	2.1
16/10/2023	07:00	7.9	S/D	30	22	2.9
16/10/2023	08:00	12.1	S/D	23	18	3.2
16/10/2023	09:00	14.6	S/D	21	271	3.1
16/10/2023	10:00	16.5	S/D	18	272	4.8
16/10/2023	11:00	19.7	S/D	17	279	5.8
16/10/2023	12:00	19.7	S/D	16	261	6.3
16/10/2023	13:00	19.1	S/D	17	253	9.6
16/10/2023	14:00	19.3	S/D	17	233	8.4
16/10/2023	15:00	18.8	S/D	19	235	6
16/10/2023	16:00	16.7	S/D	21	189	10.3
16/10/2023	17:00	14.2	S/D	25	171	14.9
16/10/2023	18:00	11.1	S/D	32	180	11.5
16/10/2023	19:00	9.6	S/D	37	216	6.9
16/10/2023	20:00	8.6	S/D	41	194	3.7
16/10/2023	21:00	7.6	S/D	45	237	2.4
16/10/2023	22:00	6.8	S/D	47	193	1.5
16/10/2023	23:00	5.5	S/D	50	112	1.7
17/10/2023	00:00	5.1	S/D	52	91	1.3
17/10/2023	01:00	4.4	S/D	53	100	1.5
17/10/2023	02:00	4.3	S/D	54	146	0
17/10/2023	03:00	3.3	S/D	56	93	0.9
17/10/2023	04:00	3.1	S/D	56	108	1.1
17/10/2023	05:00	3.1	S/D	54	57	1.9
17/10/2023	06:00	3.4	S/D	52	44	3.3
17/10/2023	07:00	9.5	S/D	35	59	1.2

17/10/2023	08:00	13.4	S/D	28	64	1.5
17/10/2023	09:00	15.5	S/D	27	158	2.4
17/10/2023	10:00	18.9	S/D	16	305	2.6
17/10/2023	11:00	21	S/D	8	241	4.3
17/10/2023	12:00	21.6	S/D	8	251	7.6
17/10/2023	13:00	21.1	S/D	14	260	8.9
17/10/2023	14:00	19	S/D	18	175	16.2
17/10/2023	15:00	17.6	S/D	20	177	18.4
17/10/2023	16:00	15.3	S/D	22	179	19.9
17/10/2023	17:00	13	S/D	27	174	17.8
17/10/2023	18:00	11	S/D	26	176	13.1
17/10/2023	19:00	9.6	S/D	34	188	7.9
17/10/2023	20:00	8.2	S/D	42	226	3.1
17/10/2023	21:00	6.3	S/D	50	211	0.5
17/10/2023	22:00	5.4	S/D	51	220	0.3
17/10/2023	23:00	4.2	S/D	53	115	0.8
18/10/2023	00:00	3.7	S/D	52	89	1.1
18/10/2023	01:00	3.1	S/D	53	70	1
18/10/2023	02:00	2.6	S/D	51	109	1
18/10/2023	03:00	1.8	S/D	52	97	1.1
18/10/2023	04:00	1.8	S/D	46	76	1.4
18/10/2023	05:00	1.5	S/D	46	57	1.9
18/10/2023	06:00	1.9	S/D	42	56	1.8
18/10/2023	07:00	9.3	S/D	28	73	1.5
18/10/2023	08:00	12.4	S/D	22	56	3
18/10/2023	09:00	16.6	S/D	17	329	1.7
18/10/2023	10:00	19	S/D	10	227	4.5
18/10/2023	11:00	20.8	S/D	6	283	4.2
18/10/2023	12:00	22.5	S/D	6	287	5.1
18/10/2023	13:00	21.3	S/D	7	265	9.1
18/10/2023	14:00	20.8	S/D	11	256	8.3
18/10/2023	15:00	19.3	S/D	12	199	7.9
18/10/2023	16:00	15.8	S/D	16	174	20
18/10/2023	17:00	14.4	S/D	21	187	11.1
18/10/2023	18:00	11.3	S/D	26	200	9.9
18/10/2023	19:00	9.4	S/D	30	208	5.6
18/10/2023	20:00	8.1	S/D	30	152	2.1
18/10/2023	21:00	6.2	S/D	33	150	0.5
18/10/2023	22:00	5.3	S/D	37	113	1
18/10/2023	23:00	4.5	S/D	38	109	0.9
19/10/2023	00:00	4.6	S/D	36	94	1
19/10/2023	01:00	4.6	S/D	33	60	2.1
19/10/2023	02:00	3.9	S/D	31	39	3.5
19/10/2023	03:00	3.2	S/D	27	40	3.3
19/10/2023	04:00	2.6	S/D	29	28	4.7

19/10/2023	05:00	1.1	S/D	33	57	3.5
19/10/2023	06:00	1.7	S/D	31	34	3.1
19/10/2023	07:00	7.6	S/D	20	57	2.5
19/10/2023	08:00	12.9	S/D	13	64	1.8
19/10/2023	09:00	15.2	S/D	15	223	2.4
19/10/2023	10:00	19.7	S/D	10	232	2.7
19/10/2023	11:00	21	S/D	7	262	4.4
19/10/2023	12:00	20.3	S/D	7	250	7.4
19/10/2023	13:00	19.4	S/D	11	254	9.6
19/10/2023	14:00	19.9	S/D	11	201	10
19/10/2023	15:00	19.7	S/D	11	203	9.5
19/10/2023	16:00	17	S/D	13	224	8
19/10/2023	17:00	14.1	S/D	18	205	8.9
19/10/2023	18:00	11.3	S/D	22	190	10.4
19/10/2023	19:00	9.8	S/D	24	212	6.5
19/10/2023	20:00	7.9	S/D	27	185	2.7
19/10/2023	21:00	6.7	S/D	32	210	1.1
19/10/2023	22:00	5.8	S/D	34	122	1.2
19/10/2023	23:00	5.2	S/D	37	108	1.4
20/10/2023	00:00	3.7	S/D	37	109	1.1
20/10/2023	01:00	2.9	S/D	39	82	1.1
20/10/2023	02:00	3.3	S/D	35	53	2.4
20/10/2023	03:00	1.9	S/D	37	81	1.7
20/10/2023	04:00	1.7	S/D	35	57	1.9
20/10/2023	05:00	0.9	S/D	35	61	2.9
20/10/2023	06:00	0.8	S/D	35	68	2.2
20/10/2023	07:00	7.1	S/D	22	44	2.9
20/10/2023	08:00	11.9	S/D	15	35	2.7
20/10/2023	09:00	15.4	S/D	6	129	1.6
20/10/2023	10:00	18.1	S/D	5	190	4
20/10/2023	11:00	19.2	S/D	S/D	228	3.6
20/10/2023	12:00	20.6	S/D	S/D	265	5.8
20/10/2023	13:00	20.6	S/D	S/D	268	8.4
20/10/2023	14:00	20.3	S/D	7	228	8.8
20/10/2023	15:00	18.8	S/D	9	179	16.8
20/10/2023	16:00	17.9	S/D	8	230	8.7
20/10/2023	17:00	14.2	S/D	17	172	14.4
20/10/2023	18:00	11.6	S/D	16	195	10.6
20/10/2023	19:00	9.8	S/D	22	224	6.8
20/10/2023	20:00	8.1	S/D	26	213	3.6
20/10/2023	21:00	6.3	S/D	29	244	2.4
20/10/2023	22:00	4.5	S/D	36	125	1.7
20/10/2023	23:00	3.5	S/D	39	68	0.4
21/10/2023	00:00	3.2	S/D	30	105	1.6
21/10/2023	01:00	2.4	S/D	32	93	2.2

21/10/2023	02:00	2.6	S/D	28	70	3.1
21/10/2023	03:00	1.5	S/D	26	39	2.5
21/10/2023	04:00	0.4	S/D	25	72	2.3
21/10/2023	05:00	-1	S/D	27	107	1.7
21/10/2023	06:00	-0.3	S/D	26	52	3.4
21/10/2023	07:00	6.6	S/D	15	55	2.2
21/10/2023	08:00	10.7	S/D	12	24	4.8
21/10/2023	09:00	14	S/D	5	166	0.9
21/10/2023	10:00	17.3	S/D	S/D	221	1.8
21/10/2023	11:00	20.3	S/D	S/D	276	3.6
21/10/2023	12:00	20	S/D	S/D	247	4.9
21/10/2023	13:00	20.8	S/D	S/D	268	9.4
21/10/2023	14:00	19.8	S/D	7	176	13.8
21/10/2023	15:00	17.6	S/D	11	172	18.9
21/10/2023	16:00	15.7	S/D	13	171	17
21/10/2023	17:00	13.5	S/D	17	193	8.5
21/10/2023	18:00	10.7	S/D	23	171	10
21/10/2023	19:00	9.1	S/D	25	183	6.5
21/10/2023	20:00	7.4	S/D	31	99	1.7
21/10/2023	21:00	5.7	S/D	32	187	1.6
21/10/2023	22:00	5.3	S/D	34	125	2.3
21/10/2023	23:00	3.9	S/D	38	65	0.7
22/10/2023	00:00	2.8	S/D	38	110	1
22/10/2023	01:00	2.1	S/D	40	68	1.1
22/10/2023	02:00	2.8	S/D	33	28	4.5
22/10/2023	03:00	2.6	S/D	25	35	5.7
22/10/2023	04:00	0.6	S/D	29	83	2
22/10/2023	05:00	0.3	S/D	27	55	2.6
22/10/2023	06:00	1	S/D	26	50	3.4
22/10/2023	07:00	6.6	S/D	15	56	2.8
22/10/2023	08:00	11.6	S/D	10	50	2.3
22/10/2023	09:00	15.2	S/D	5	155	1
22/10/2023	10:00	17.9	S/D	5	227	4.4
22/10/2023	11:00	19.4	S/D	5	274	5.1
22/10/2023	12:00	20.5	S/D	S/D	267	6.3
22/10/2023	13:00	21.1	S/D	S/D	253	8.5
22/10/2023	14:00	20.5	S/D	5	225	10.5
22/10/2023	15:00	19.6	S/D	7	254	7.9
22/10/2023	16:00	18.1	S/D	9	177	12.2
22/10/2023	17:00	14.8	S/D	14	215	8.8
22/10/2023	18:00	11.3	S/D	20	177	15.1
22/10/2023	19:00	9.5	S/D	23	226	6.9
22/10/2023	20:00	7.7	S/D	29	153	2.1
22/10/2023	21:00	5.9	S/D	32	186	2.5
22/10/2023	22:00	4.8	S/D	34	99	2.1

22/10/2023	23:00	3.5	S/D	37	114	0.4
23/10/2023	00:00	3.1	S/D	36	103	0.9
23/10/2023	01:00	1.7	S/D	38	98	2.3
23/10/2023	02:00	2	S/D	32	54	2.7
23/10/2023	03:00	1.1	S/D	29	58	2.9
23/10/2023	04:00	-0.4	S/D	30	88	2.7
23/10/2023	05:00	-1.4	S/D	31	91	2.5
23/10/2023	06:00	-0.5	S/D	29	58	2
23/10/2023	07:00	5.5	S/D	17	71	3.1
23/10/2023	08:00	11.2	S/D	10	61	2.8
23/10/2023	09:00	14.6	S/D	11	220	2.1
23/10/2023	10:00	20	S/D	6	4	4.6
23/10/2023	11:00	21.4	S/D	S/D	244	2
23/10/2023	12:00	22.7	S/D	S/D	3	4
23/10/2023	13:00	22.1	S/D	5	263	8.6
23/10/2023	14:00	21	S/D	6	253	9.6
23/10/2023	15:00	18.9	S/D	7	232	11.1
23/10/2023	16:00	17.9	S/D	8	226	8.1
23/10/2023	17:00	14.1	S/D	12	216	9.9
23/10/2023	18:00	11.3	S/D	18	200	8.8
23/10/2023	19:00	9.5	S/D	22	182	3.8
23/10/2023	20:00	7.9	S/D	26	272	1.3
23/10/2023	21:00	6	S/D	29	122	2
23/10/2023	22:00	5.4	S/D	31	104	0.7
23/10/2023	23:00	4.6	S/D	31	119	1.7
24/10/2023	00:00	3.7	S/D	30	51	1.6
24/10/2023	01:00	2.8	S/D	29	62	1.1
24/10/2023	02:00	3.2	S/D	24	60	2.7
24/10/2023	03:00	2.1	S/D	25	62	2.7
24/10/2023	04:00	0.8	S/D	29	94	1.6
24/10/2023	05:00	0.8	S/D	27	72	2.3
24/10/2023	06:00	1.7	S/D	24	58	2.1
24/10/2023	07:00	8	S/D	14	79	3.8
24/10/2023	08:00	12.8	S/D	10	28	4.7
24/10/2023	09:00	16	S/D	6	169	2
24/10/2023	10:00	21.8	S/D	6	315	4.9
24/10/2023	11:00	22.8	S/D	S/D	297	2.8
24/10/2023	12:00	23.9	S/D	S/D	295	6.4
24/10/2023	13:00	22.4	S/D	S/D	237	10.8
24/10/2023	14:00	21.4	S/D	5	229	11.3
24/10/2023	15:00	20.9	S/D	6	241	8.7
24/10/2023	16:00	19	S/D	8	223	9.6
24/10/2023	17:00	14.9	S/D	13	221	10.2
24/10/2023	18:00	12.2	S/D	19	221	8.3
24/10/2023	19:00	10.2	S/D	23	184	5

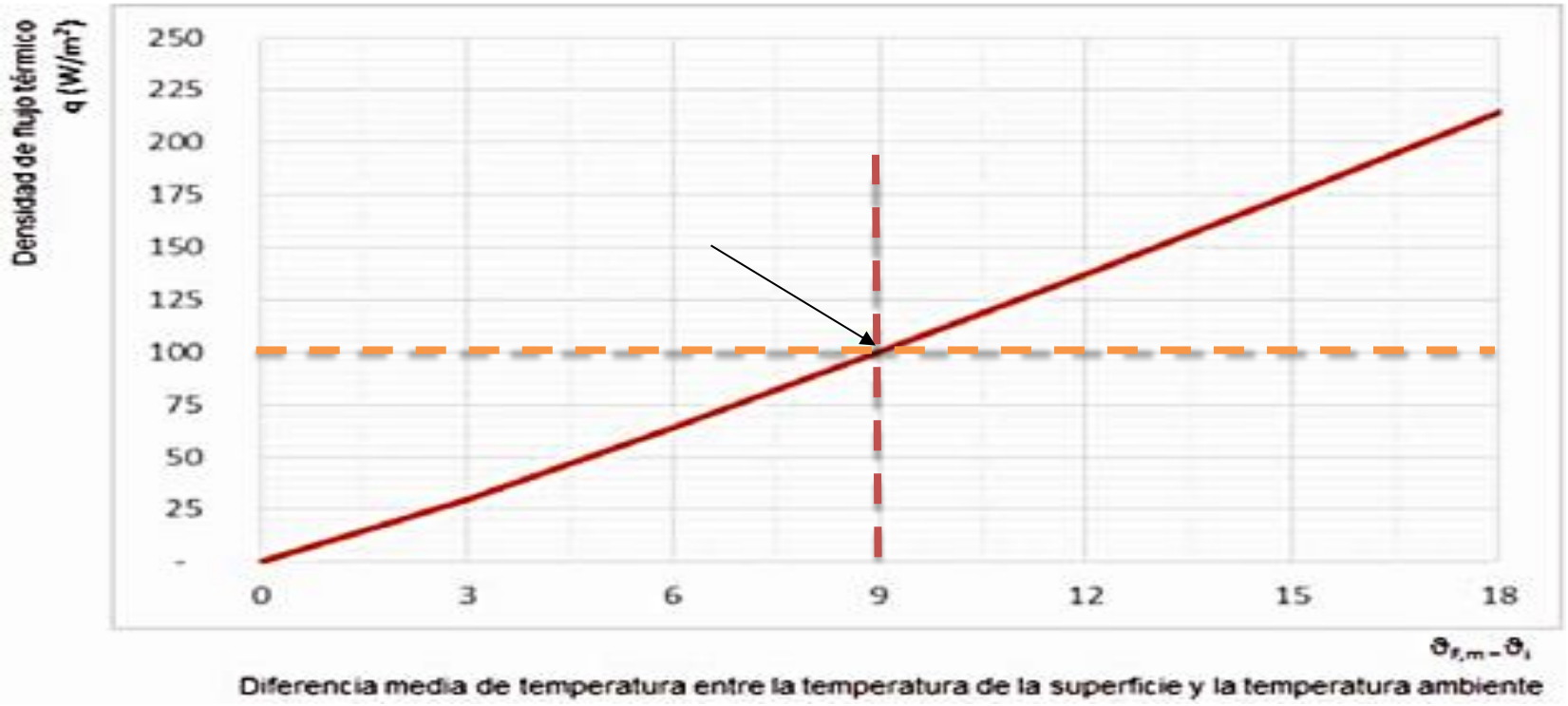
24/10/2023	20:00	8.2	S/D	29	222	1.7
24/10/2023	21:00	6.8	S/D	32	147	0.8
24/10/2023	22:00	5.2	S/D	36	115	1.1
24/10/2023	23:00	4.4	S/D	37	112	1.3
25/10/2023	00:00	3.7	S/D	37	102	1.2
25/10/2023	01:00	4	S/D	31	49	2.4
25/10/2023	02:00	2.8	S/D	30	67	1.8
25/10/2023	03:00	3.1	S/D	25	40	4.1
25/10/2023	04:00	1.6	S/D	28	68	2.5
25/10/2023	05:00	1.7	S/D	25	51	3.4
25/10/2023	06:00	1.5	S/D	25	49	3.2
25/10/2023	07:00	8.1	S/D	15	82	2.5
25/10/2023	08:00	11.6	S/D	11	20	4.8
25/10/2023	09:00	16.6	S/D	5	30	2.7
25/10/2023	10:00	19.4	S/D	S/D	213	2.7
25/10/2023	11:00	20.2	S/D	S/D	260	5.4
25/10/2023	12:00	20.8	S/D	S/D	245	6.7
25/10/2023	13:00	20.8	S/D	S/D	245	10.2

Anexo 04. Registros climáticos de estación de Sibayo – Senamhi 2023

Estación : SIBAYO					
Departamento :	AREQUIPA	Provincia :	CAYLLOMA	Distrito :	SIBAYO
Latitud :	15°29'21.1''	Longitud :	71°27'25.1''	Altitud :	3816 msnm.
Tipo :	CO - Meteorológica	Código :	115024		

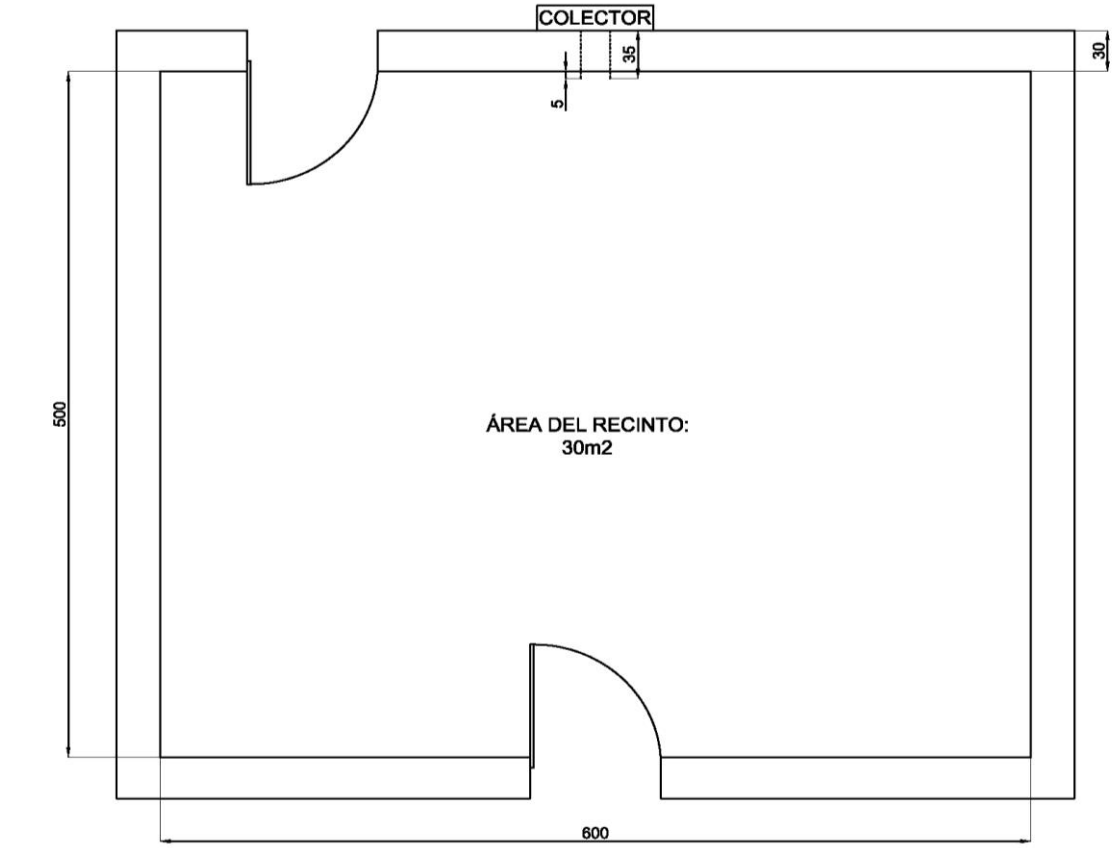
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/10/2023	21.2	-3.8	41.4	0
2/10/2023	22.2	0.5	55.8	0
3/10/2023	18.9	0.5	53.4	0
4/10/2023	19.8	-0.5	45.5	0
5/10/2023	19.4	-5.9	57.1	0
6/10/2023	19.2	-8	58.5	0
7/10/2023	20.7	-9.6	46.1	0
8/10/2023	22	-6.9	36.1	0
9/10/2023	22.8	-8.4	47.4	0
10/10/2023	20.4	-7.3	33.9	0
11/10/2023	19.6	-9	69.9	0
12/10/2023	18.3	-9.2	26	0
13/10/2023	18.3	-9.8	54.3	0
14/10/2023	21.3	-8	51.5	0
15/10/2023	19	-3.3	38.9	0
16/10/2023	19.3	-5.3	34.4	0
17/10/2023	21.9	-1.8	32.7	0
18/10/2023	22.3	-6.8	38.1	0
19/10/2023	22.4	-5.4	37.4	0
20/10/2023	20.7	-5.2	37.5	0
21/10/2023	21.6	-6.3	36.3	0
22/10/2023	20.6	-5.4	37.8	0
23/10/2023	22.8	-7.2	38.4	0
24/10/2023	22.9	-5.2	40.5	0
25/10/2023	S/D	-5.8	S/D	S/D

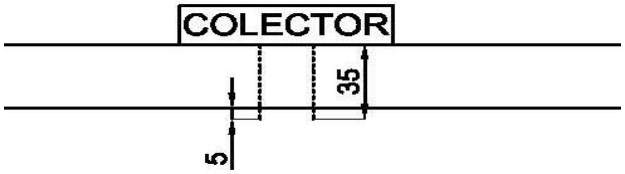
Anexo 05. Curva característica básica.



Donde:
θ_i: Temperatura ambiente nomina en °C
$\theta_{f,m}$: Temperatura media de la superficie del suelo en °C
q : Densidad de flujo térmico en W/m², q= $8.92(\theta_{f,m} - \theta_i)$

Anexo 06. Esquema de la distancia desde el colector hasta el circuito de mangueras del suelo radiante.





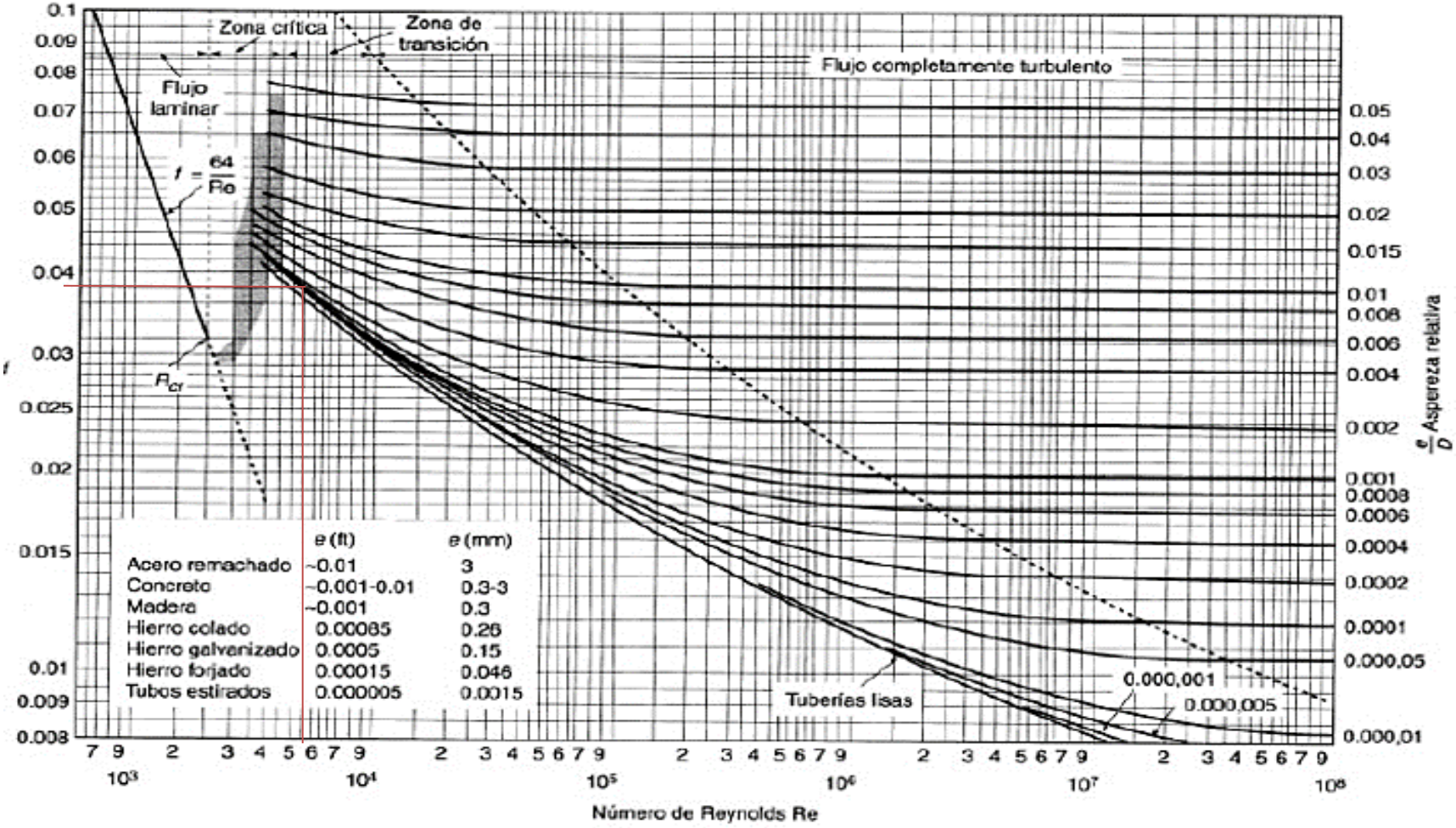
Unidad: cm

Anexo 07. Tabla para la determinación del paso entre tuberías (T).

$R\lambda,B = 0{,}01\ m_2K/W$ $\lambda_E = 1{,}2\ W/mK$ $\lambda_R = 0{,}350\ W/mK$ $D_a = 0{,}016\ m$ $S_r = 0{,}002\ m$ $S_{U,a} = 0{,}045\ m$ $\vartheta_i = 20\ °C$

ϑ_V (°C)	6 (K)	$\Delta\vartheta H$ (K)	T = 0,050 m		T = 0,075 m		T = 0,100 m		T = 0,150 m		T = 0,200 m		T = 0,225 m	
			q (W/m²)	$\vartheta_{F,m}$ (°C)	q (W/m²)	$\vartheta_{F,m}$ (°C)	q (W/m²)	$\vartheta_{F,m}$ (°C)	q (W/m²)	$\vartheta_{F,m}$ (°C)	q (W/m²)	$\vartheta_{F,m}$ (°C)	q (W/m²)	$\vartheta_{F,m}$ (°C)
35	3	13,4	94,6	28,6	88,5	28,1	82,7	27,6	72,4	26,7	63,3	25,9	59,2	25,6
	5	12,3	86,8	27,9	81,1	27,4	75,9	27,0	66,4	26,2	58,1	25,5	54,3	25,2
	8	10,5	73,8	26,8	69,1	26,4	64,6	26,0	56,5	25,4	49,5	24,7	46,3	24,5
36	3	14,4	101,6	29,1	95,1	28,6	88,9	28,1	77,8	27,2	68,1	26,3	63,7	26,0
	5	13,3	93,9	28,5	87,8	28,0	82,1	27,5	71,9	26,7	62,9	25,9	58,8	25,6
	8	11,5	81,2	27,4	75,9	27,0	71,0	26,6	62,2	25,8	54,4	25,2	50,9	24,9
37	3	15,5	108,7	29,7	101,7	29,1	95,1	28,6	83,2	27,6	72,8	26,7	68,1	26,3
	5	14,4	101,0	29,1	94,5	28,5	88,4	28,0	77,3	27,1	67,6	26,3	63,3	25,9
	8	12,6	88,5	28,1	82,8	27,6	77,4	27,1	67,7	26,3	59,3	25,6	55,4	25,3
38	3	16,5	115,8	30,3	108,3	29,7	101,3	29,1	88,6	28,1	77,5	27,1	72,5	26,7
	5	15,4	108,1	29,7	101,1	29,1	94,6	28,6	82,7	27,6	72,4	26,7	67,7	26,3
	8	13,6	95,8	28,7	89,6	28,1	83,8	27,7	73,3	26,8	64,1	26,0	60,0	25,7
39	3	17,5	122,8	30,8	114,9	30,2	107,4	29,6	94,0	28,5	82,2	27,5	76,9	27,1
	5	16,4	115,2	30,2	107,7	29,6	100,8	29,1	88,2	28,0	77,1	27,1	72,2	26,7
	8	14,6	103,0	29,2	96,3	28,7	90,1	28,2	78,8	27,2	69,0	26,4	64,5	26,0
40	3	18,5	129,9	31,4	121,5	30,7	113,6	30,1	99,4	29,0	87,0	27,9	81,3	27,5
	5	17,4	122,3	30,8	114,4	30,2	107,0	29,6	93,6	28,5	81,9	27,5	76,6	27,1
	8	15,7	110,2	29,8	103,1	29,2	96,4	28,7	84,3	27,7	73,8	26,8	69,0	26,4
41	3	19,5	136,9	32,0	128,1	31,3	119,8	30,6	104,8	29,4	91,7	28,3	85,8	27,8
	5	18,4	129,4	31,4	121,0	30,7	113,2	30,1	99,0	28,9	86,6	27,9	81,0	27,4
	8	16,7	117,4	30,4	109,8	29,8	102,7	29,2	89,8	28,2	78,6	27,2	73,5	26,8
42	3	20,5	144,0	32,5	134,7	31,8	126,0	31,1	110,2	29,8	96,4	28,7	90,2	28,2
	5	19,4	136,4	31,9	127,6	31,2	119,4	30,6	104,4	29,4	91,4	28,3	85,5	27,8
	8	17,7	124,5	31,0	116,5	30,3	108,9	29,7	95,3	28,6	83,4	27,6	78,0	27,2
43	3	21,5	151,0	33,1	141,2	32,3	132,1	31,6	115,6	30,3	101,1	29,1	94,6	28,6
	5	20,4	143,5	32,5	134,2	31,8	125,6	31,1	109,8	29,8	96,1	28,7	89,9	28,2
	8	18,7	131,7	31,6	123,2	30,9	115,2	30,2	100,8	29,1	88,2	28,0	82,5	27,6
44	3	22,5	158,1	33,6	147,8	32,8	138,3	32,1	121,0	30,7	105,8	29,5	99,0	28,9
	5	21,4	150,6	33,1	140,8	32,3	131,7	31,6	115,3	30,2	100,8	29,1	94,3	28,5
	8	19,7	138,8	32,1	129,8	31,4	121,4	30,7	106,2	29,5	93,0	28,4	86,9	27,9
45	3	23,5	165,1	34,2	154,4	33,4	144,4	32,6	126,4	31,1	110,6	29,9	103,4	29,3
	5	22,4	157,6	33,6	147,4	32,8	137,9	32,1	120,7	30,7	105,6	29,5	98,7	28,9
	8	20,7	145,9	32,7	136,5	31,9	127,7	31,2	111,7	30,0	97,7	28,8	91,4	28,3

Anexo 08. Diagrama de Moody.



Anexo 09. Resultados de cálculo generados por el Software ORKLI.

ÍNDICE

1. CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS 4
1.1. Datos de partida 4
1.1.1. Datos generales 4
1.1.2. Cerramientos 4
1.1.3. Ventanas 4
1.1.4. Puertas 4
1.2. Resultados de cálculo 4
1.2.1. Resumen 4

2. CÁLCULO DE SUELO RADIANTE 4
2.1. Datos de partida 4
2.2. Resultados de cálculo 4
2.2.1. Resumen 4

3. OPTIMIZACIÓN DE LAS BOBINAS DE TUBO 7

1. CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

1.1. Datos de partida

1.1.1. Datos generales

1.1.2. Cerramientos

1.1.3. Ventanas

1.1.4. Puertas

1.2. Resultados de cálculo

1.2.1. Resumen

2. CÁLCULO DE SUELO RADIANTE

2.1. Datos de partida

2.2. Resultados de cálculo

2.2.1. Resumen

Datos generales

	Superficie activa [m²]	Número de circuitos	Caudal [l/h]	ΔP Total [Pa]	Temperatura de impulsión [°C]	Potencias [W] Total aportada	Pérdidas descendentes	Total demandada
Calefacción	30.0	2	547.21	48492	40.0	2905	274	3180
Refrigeración					-	-	-	-
TOTAL								
Calefacción	**30.0**	**2**	**547.21**	**48492**	**40.0**	**2905**	**274**	**3180**
Refrigeración					-	-	-	-

Datos detallados

Recinto: Ambiente Interno		**Tipo**: Interior		
Circuitos instalados: 2				
Superficies [m²]		**Potencias [W]**	Calefacción	Refrigeración
Total	30.0	Requerida	2734	-
Panelada	30.0	Instalada	2905	-
Ocupada	30.0	Adquirida por áreas de servicio	0	-
Periférica	0.0	Residual	171	-
Temperatura interior de diseño [°C]		**Temperatura interior del recinto inferior [°C]**		
Calefacción	0.0	Calefacción	20.0	
Refrigeración	-	Refrigeración	-	
Descripción del suelo				
Resistencia térmica del revestimiento [(m²·K)/W]		0.004		
Resistencia ascendente [(m²·K)/W]		0.134		
Resistencia descendente [(m²·K)/W]		1.420		
Espesor de la capa de mortero [cm]		4.50		
Panel		ARIMA24		
Tubería		Tubo PEX-A Ø16 x 1,8 con EVOH		

Circuitos instalados:

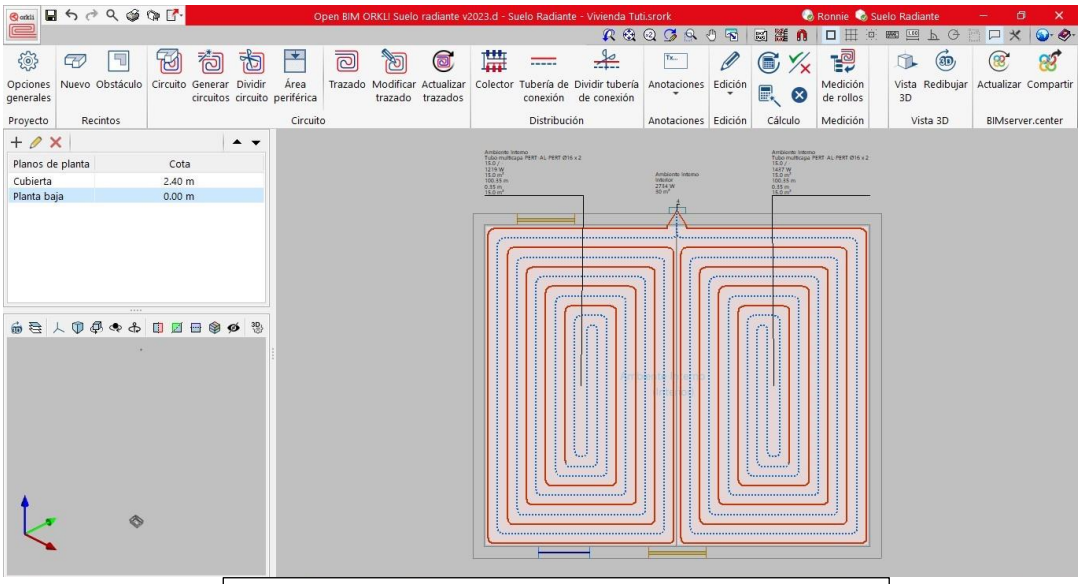
Ambiente Interno /			**Superficie cubierta [m²]: 15.0**					
	Superficie [m²]	Paso [cm]	Densidad de flujo térmico [W/m²]		Potencia aportada [W]		Temperatura superficial [°C]	
			Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.
Áreas								
Ocupada	15.0	15.0	96.85	-	1453	-	28.7	-
Periférica	-	-	-	-	-	-	-	-

Longitudes [m]							
Total: 100.70			Circuito: 100.35		Tubería de servicio: 0.35		
	Salto térmico [°C]	Potencia aportada [W]	Pérdidas descendentes [W]	Potencia demandada [W]	Caudal [l/h]	Pérdida de presión [Pa]	Ajuste de la válvula
Circuito							
Calefacción	5.0	1453	137	1590	273.60	48492	4.56 l/min
Refrigeración	-	-	-	-			

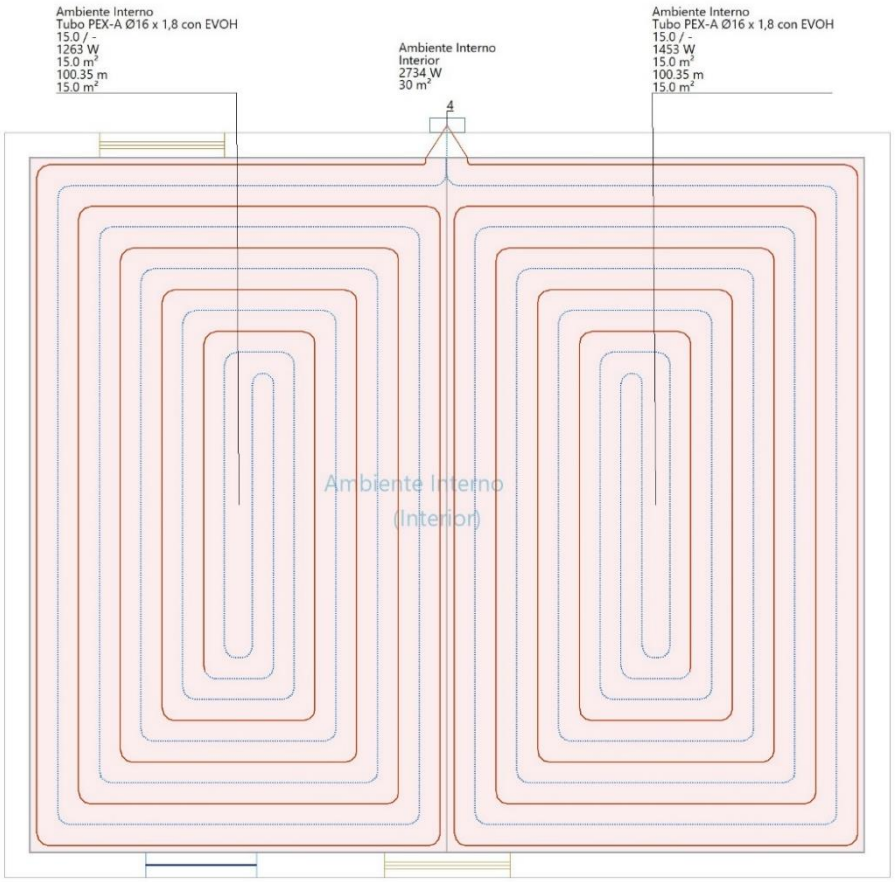
Ambiente Interno /			**Superficie cubierta [m²]: 15.0**					
	Superficie [m²]	Paso [cm]	Densidad de flujo térmico [W/m²]		Potencia aportada [W]		Temperatura superficial [°C]	
			Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.
Áreas								
Ocupada	15.0	15.0	96.85	-	1453	-	28.7	-
Periférica	-	-	-	-	-	-	-	-

Longitudes [m]							
Total: 100.70			Circuito: 100.35			Tubería de servicio: 0.35	
	Salto térmico [°C]	Potencia aportada [W]	Pérdidas descendentes [W]	Potencia demandada [W]	Caudal [l/h]	Pérdida de presión [Pa]	Ajuste de la válvula
Circuito							
Calefacción	5.0	1453	137	1590	273.60	48492	4.56 l/min
Refrigeración	-	-	-	-			

Anexo 10. Vistas del diseño del recinto y del circuito de mangueras en 2D y 3D generadas por el Software ORKI.

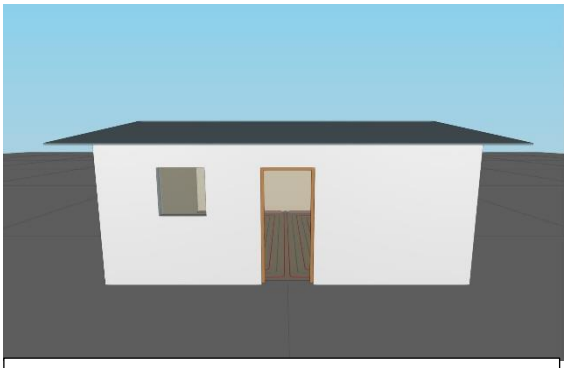


Entorno Software Open BIM ORKLI Suelo Radiante

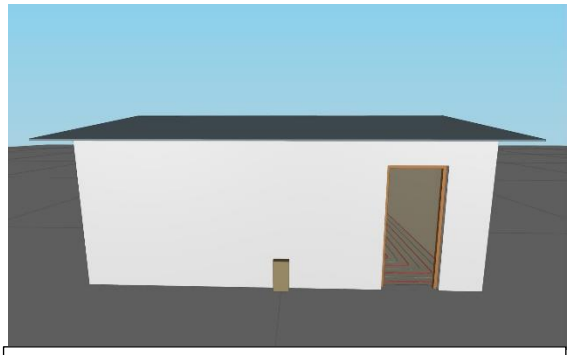


Distribución de los circuitos de mangueras – Suelo Radiante

Vista Isométrica

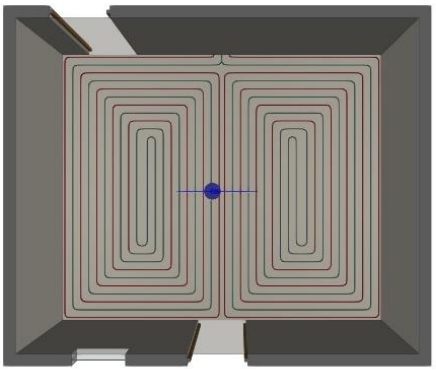


Vista Frontal

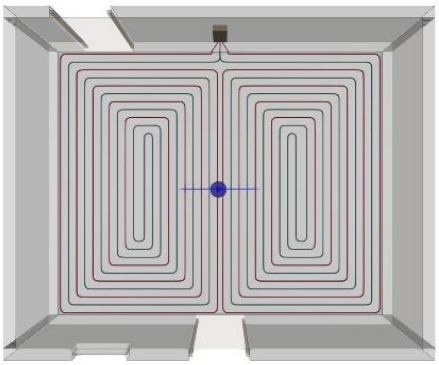


Vista Posterior

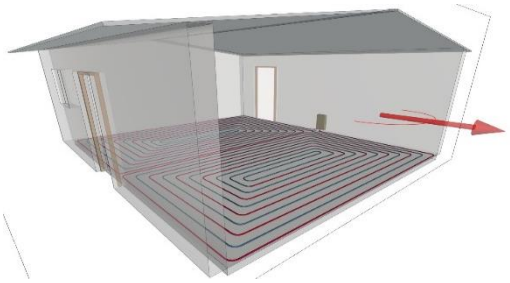
Vista Lateral



Corte Superior – Suelo Radiante

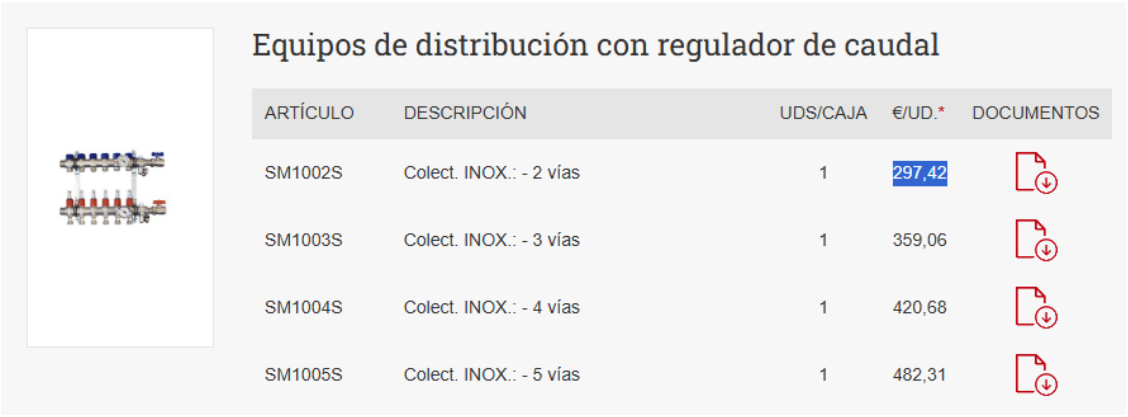


Corte Superior Traslúcido – Suelo Radiante



Corte Lateral Traslúcido – Suelo Radiante

Anexo 11. Evidencia de cotizaciones.



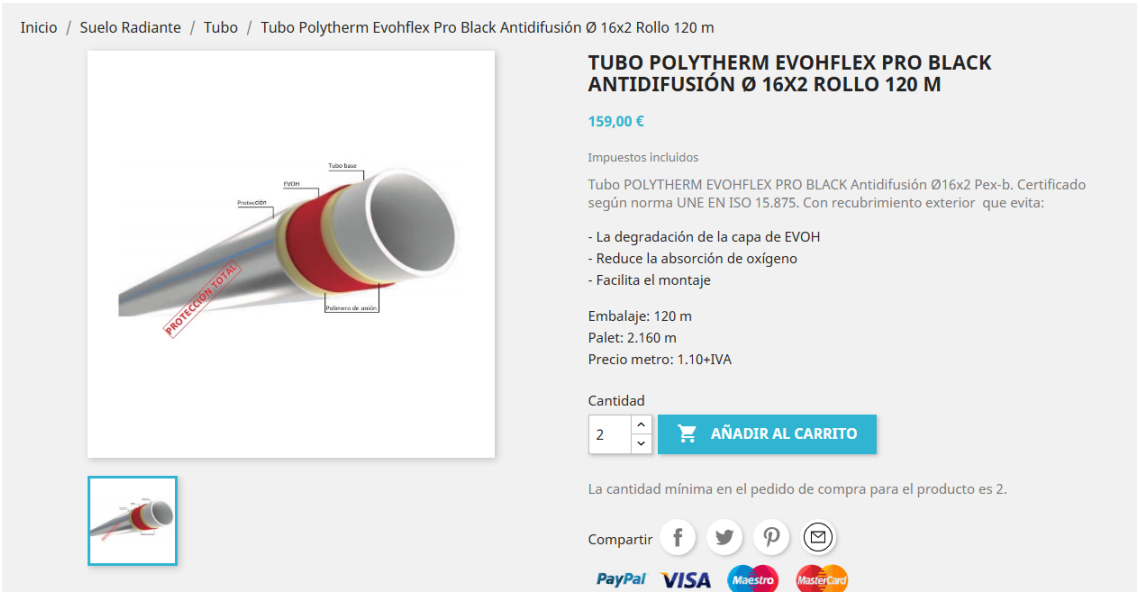
Equipos de distribución con regulador de caudal

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	UDS/CAJA	€/UD.*	DOCUMENTOS
SM1002S	Colect. INOX.: - 2 vías	1	297,42	
SM1003S	Colect. INOX.: - 3 vías	1	359,06	
SM1004S	Colect. INOX.: - 4 vías	1	420,68	
SM1005S	Colect. INOX.: - 5 vías	1	482,31	

AISLANGLASS

Este Producto: Lana de Vidrio Aislanglass 50mm S/ 142

TUPEMESA



Inicio / Suelo Radiante / Tubo / Tubo Polytherm Evohflex Pro Black Antidifusión Ø 16x2 Rollo 120 m

TUBO POLYTHERM EVOHFLEX PRO BLACK ANTIDIFUSIÓN Ø 16X2 ROLLO 120 M

159,00 €

Impuestos incluidos

Tubo POLYTHERM EVOHFLEX PRO BLACK Antidifusión Ø16x2 Pex-b. Certificado según norma UNE EN ISO 15.875. Con recubrimiento exterior que evita:

- La degradación de la capa de EVOH
- Reduce la absorción de oxígeno
- Facilita el montaje

Embalaje: 120 m
Palet: 2.160 m
Precio metro: 1.10+IVA

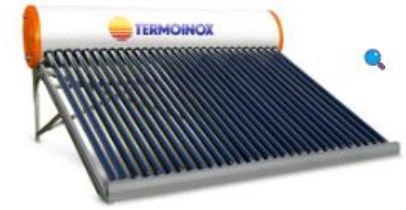
Cantidad

2 AÑADIR AL CARRITO

La cantidad mínima en el pedido de compra para el producto es 2.

Compartir

PayPal VISA Maestro MasterCard



Terma Solar TERMOINOX de 150, 180, 200, 240 y 300 litros Modelo VULCANO.

Terma Solar baja presión **TERMOINOX 150 Lts.** (4 – 5 personas) **S/. 1,355.50**

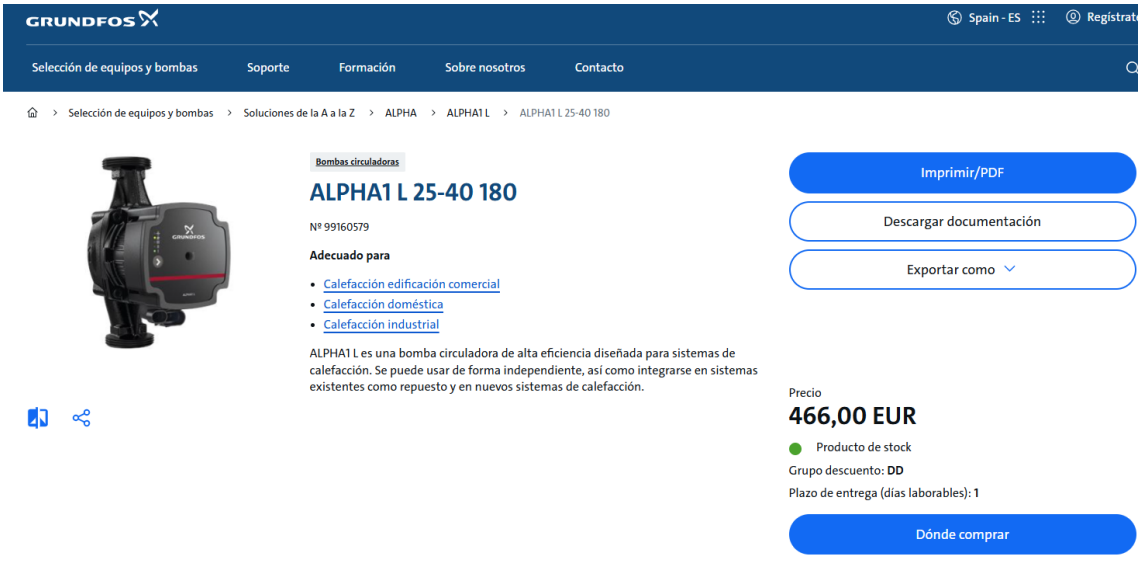
Terma Solar VULCANO baja presión **TERMOINOX 180 Lts.** (5 – 6 personas) **S/. 1,591.80**

Terma Solar VULCANO baja presión **TERMOINOX 200 Lts.** (6 – 7 personas) **S/. 1,833.50**

Terma Solar VULCANO baja presión **TERMOINOX 240 Lts.** (7 – 8 personas) **S/. 2,117.00**

Terma Solar VULCANO baja presión **TERMOINOX 300 Lts.** (9 – 10 personas) **S/. 2,508.00**

Categoría: Terma Solar de Baja Presión



PEN42.88 ~~PEN108.84~~ -60% dto.

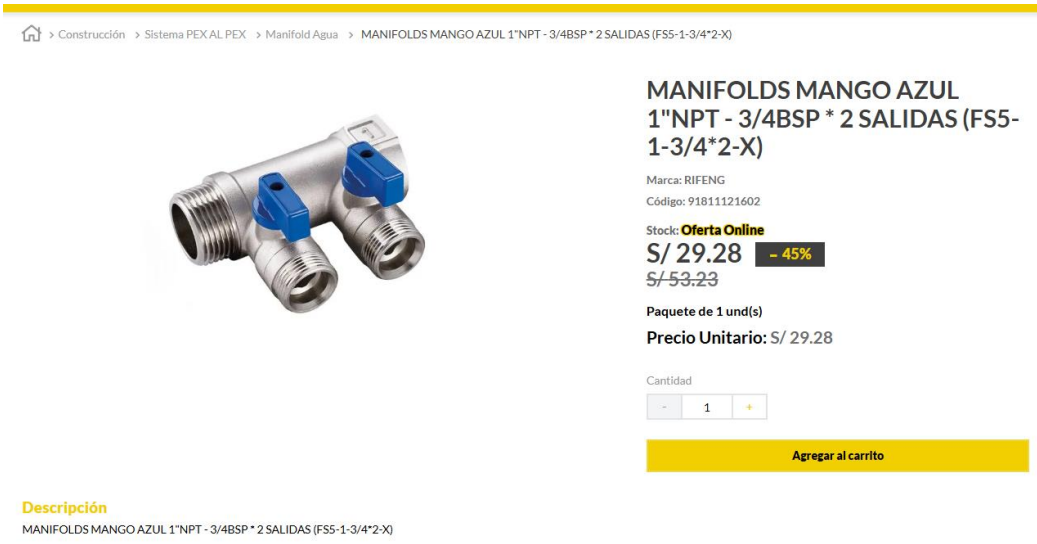
Precio mostrado antes de impuestos

Controlador Digital de temperatura, termostato con enchufe europeo de 220V, con temporizador, calefacción y refrigeración, para acuicultura y refrigerador

★★★★★ **4.7** 15 valoraciones | 150 vendido

Color: VA050EU

Nuevo



/ Shop / TERMA SOLAR LUXXOL LUMINUM - INOX 316 - 30Tubos 300 litros

TERMA SOLAR LUXXOL LUMINUM – INOX 316 – 30Tubos 300 litros

S/ 1,497.18

BOMBA AGUA BERKLIN BKL-120W PRESURIZADORA 2 PTS 120W

SKU: 870561 No reseñas

Normal ~~S/ 369.90~~

Internet S/ 269.90

Vendedor destacado -27%

COLOR: Negro

− 1 + Agregar al carro

Vendido por
BERKLIN

Anexo 12. Detalle de financiamiento.

N	**Periodos**	meses	**12**	
	Tasa anual		**15.00%**	BANCO AGRO
TI	**Tasa mensual**		**1.18%**	
VP	**Valor del prestamo**		**S/ 5,031.73**	
SI	**Saldo inicial**		**S/ 5,031.73**	
PM	**PAGO MENSUAL**		**S/ 452.05**	

	Mes	**PERIODO**	**SALDO INICIAL**	**INTERES**	**AMOR.CAPITAL**	**PAGO MENSUAL**	**SALDO FINAL**	**Int. Anual**	**Am. Anual**
AÑO 1	Ene	1.00	5,031.73	59.17	392.88	452.05	4,638.85		
	Feb	2.00	4,638.85	54.55	397.50	452.05	4,241.35		
	Mar	3.00	4,241.35	49.88	402.17	452.05	3,839.18		
	Abr	4.00	3,839.18	45.15	406.90	452.05	3,432.28		
	May	5.00	3,432.28	40.36	411.69	452.05	3,020.60		
	Jun	6.00	3,020.60	35.52	416.53	452.05	2,604.07		
	Jul	7.00	2,604.07	30.62	421.43	452.05	2,182.64		
	Ago	8.00	2,182.64	25.67	426.38	452.05	1,756.26		
	Sep	9.00	1,756.26	20.65	431.40	452.05	1,324.87		
	Oct	10.00	1,324.87	15.58	436.47	452.05	888.40		
	Nov	11.00	888.40	10.45	441.60	452.05	446.80		
	Dic	12.00	446.80	5.25	446.80	452.05	-	**392.87**	**5,031.73**