



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE
AMBIENTES, EMPLEANDO SUELO RADIANTE
UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR”

TESIS

PRESENTADA POR:

ELVIN ZUÑIGA RAMOS

ALEXIS OLMER CONDORI APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AMBIENTES EMPLEANDO SUELO RADIANTE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR

AUTOR

**ELVIN ZUÑIGA RAMOS ALEXIS OLMER C
ONDORI APAZA**

RECuento DE PALABRAS

13197 Words

RECuento DE CARACTERES

71369 Characters

RECuento DE PÁGINAS

89 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.4MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 10, 2023 9:40 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 10, 2023 9:42 PM GMT-5

● 7% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

 
Dr. Freddy Bernardo Cozla Apaza
CIP: 166054
V° B°
SUB DIRECTOR(E) DE INVESTIGACIÓN
EPIME

 
A. Moreno Hurtado Chaves
INGENIERO ELECTRICISTA
CIP 72724
ASESOR

Resumen



DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la vida, para disfrutar cada momento de mi vida y guiarme por el camino del éxito.

En especial para mis padres con mucha estima Oscar Zuñiga y Gladys Ramos quienes fueron la base fundamental y mi gran apoyo incondicional y por su sacrificio sin ellos nada de esto sería posible, gracias por todo.

Y también a mi enamorada Miriam y mi hermanita Sheyla por su apoyo y aliento para seguir adelante. A mis docentes de nuestra carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por su esfuerzo y dedicación para formar buenos profesionales.

ELVIN ZUÑIGA RAMOS

Este proyecto de tesis se la dedico a Dios por guiarme por el buen camino, así mismo a mis familiares por sus consejos y experiencias de vida.

En especial con mucha estima se la dedico a mi madre Santusa Pastora Apaza Gallegos quien fue mi mayor apoyo, por su sacrificio, sus enseñanzas de vida y su apoyo incondicional los cuales fueron base fundamental para cumplir mis objetivos y logros.

Gracias por todo. A los excelentes profesionales como son mis docentes por brindar y compartir su inmenso conocimiento con mi persona.

Así mismo a mis compañeros y amigos que me apoyaron a lo largo de mi vida.

ALEXIS OLMER CONDORI APAZA



AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a nuestros docentes de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por las enseñanzas impartidas y experiencias compartidas en nuestra formación.

Los agradecimientos respectivos también a mi querida alma mater UNA-PUNO por abrirme las puertas de sus instalaciones para poder ser un profesional.

En especial para mis padres Oscar Zuñiga y Gladys Ramos por darme vida y salud, gracias por todo.

Al asesor de tesis Angel Mario Hurtado Chavez. Por brindarnos su dedicación para darnos los conocimientos adecuados y fundamentales para la realización de nuestra tesis.

ELVIN ZUÑIGA RAMOS

A mis padres por haberme otorgado la vida y por su apoyo para poder lograr mis metas.

Los agradecimientos respectivos también a mi querida alma mater UNA-PUNO por abrirme las puertas de sus instalaciones volviéndose mi hogar intelectual.

A mi Escuela profesional Ingeniería Mecánica Eléctrica y su plana de docentes, por acogerme, brindarme conocimientos, enseñanzas para la vida y así mismo para formarme profesionalmente.

Al Ing. Angel Mario Hurtado Chávez por poner su conocimiento a disposición de nosotros para lograr este proyecto.

ALEXIS OLMER CONDORI APAZA



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... 16

1.2.1. Problema general 16

1.2.2. Problema específico 16

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 16

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 16

1.4.1. Objetivo general 16

1.4.2. Objetivos específicos..... 17

1.5. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN 17

1.5.1. Hipótesis general 17

1.5.2. Hipótesis específicas 17

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO 18

2.2. MARCO TEÓRICO 21

2.3. COMPONENTES 22



2.3.1. Terma solar	22
2.3.2. Tanque de almacenamiento	24
2.3.4. Electrobomba.....	25
2.3.5. Motor	29
2.3.6. Reservorio o tanque de agua	30
2.4. FUNCIONAMIENTO DE LAS TERMAS SOLARES	31
2.5. LOS PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS TERMAS SOLARES PARA LOGRAR CALENTAR AGUA	33

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA	35
3.2. COMPONENTES DEL PISO RADIANTE	35
3.3. DISEÑO DEL PISO RADIANTE	36
3.4. CARACTERÍSTICAS DE PISO RADIANTE.....	36
3.5. CÁLCULOS DEL PISO RADIANTE	36
3.5.1. Elección del tipo de aislante	37
3.5.2. Elección del tipo de tubo	37
3.5.3. Elección del tipo de piso	38
3.5.4. Componentes del pavimento	38
3.5.5. Espesor del suelo radiante:	38
3.6. ELECCIÓN DEL TIPO DE DISTRIBUCIÓN.....	38
3.7. CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL CIRCUITO	39
3.7.1. Temperatura de diseño	39
3.8. CÁLCULO DE LA ENERGÍA O FLUJO CALORÍFICO	40
3.8.1. Temperatura interior de diseño del local (Ti).....	40
3.8.2. Cálculo de la temperatura operativa.....	41
3.8.3. Cálculo del flujo calorífico.....	43



3.8.4. Cálculo de la temperatura media superficial pavimento: Tms	43
3.8.5. Cálculo de la temperatura de impulsión	44
3.8.6. Temperatura de impulsión.....	47
3.9. DISEÑO DE LA FUENTE DE ENERGÍA.....	47
3.10. CÁLCULO DEL CAUDAL DE AGUA.....	47
3.11. CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	48
3.12. CÁLCULO DEL COLECTOR SOLAR.....	49
3.12.1. Cálculo del área de captación solar	49
3.12.2. Cálculo del número de tubos	50
3.12.3. Características de la terma solar.....	50
3.13. DISEÑO DE LA REGULACIÓN O CONTROL	51
3.14. PROCESO DE ELABORACIÓN DE MÓDULO DE SUELO RADIANTE.....	52
3.14.1. Construcción de la base de módulo	52
3.14.2. Aislamiento térmico de módulo	52
3.14.3. Segundo aislamiento térmico de módulo	53
3.14.4. Elaboración del serpentín del módulo	54
3.14.5. Vaciado de concreto tipo mortero	55
3.14.6. Instalación de suelo de melamina o laminado.....	55
3.14.7. Instalación de un punto de control de caudal para serpentín.....	56
3.14.8. Instalación de electrobomba.....	57
3.14.9. Instalación de terma solar.....	57
3.14.10. Instalación de reservorio de agua	58
3.14.11. Instalación de un sensor de temperatura en el tanque de agua.....	59
3.15. DATOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA.....	59

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DATOS DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE PISO RADIANTE.....	60
--	-----------



4.2. CARACTERÍSTICAS DE PISO RADIANTE.....	60
4.3. ESQUEMA DE INSTALACIÓN	61
4.4. TIPO DE DISTRIBUCIÓN	62
4.5. TEMPERATURAS DE DISEÑO	62
4.6. ENERGÍA DEL FLUJO CALORÍFICO (Q).....	62
4.7. FUENTE DE ENERGÍA	63
4.8. RESULTADOS	63
4.9. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS.....	63
4.10. COSTOS Y PRESUPUESTOS PARA ELABORACION DE MODULO.....	67
4.11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA ELABORACION DE LA TESIS	68
V. CONCLUSIONES.....	69
VI. RECOMENDACIONES	70
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS.....	74
ANEXO A. Toma de datos	74
ANEXO B. Planos	78

Área: Energías Renovables

Línea: Suelo Radiante Utilizando Energía Solar

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 de septiembre 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Terma solar	23
Figura 2: Colectores de una terma.....	24
Figura 3: Tanque de almacenamiento.....	24
Figura 4: Tuberías del sistema.....	25
Figura 5: Electrobomba.	25
Figura 6: Marco de una electrobomba no sumergible.	27
Figura 7: Orificios de entrada y salida del líquido.	27
Figura 8: Impulsor de una electrobomba de ½ HP.....	28
Figura 9: Sello de impulsor.	28
Figura 10: Eje y rotor de una electrobomba.	29
Figura 11: Cojinete o rodamiento.....	29
Figura 12: Vista interna de un motor y la carcasa del impulsor.....	30
Figura 13: Reservorio o tanque de agua	31
Figura 14: Funcionamiento básico de una terma solar.....	31
Figura 15: Tipos de instalación de serpentín.....	34
Figura 16: Distribución en zigzag del suelo radiante	39
Figura 17: Condiciones de diseño típicas en un suelo radiante. Flujo calorífico	43
Figura 18: Temperatura media superficial del pavimento.....	44
Figura 19 : Dimensiones del panel de captación térmico solar.....	51
Figura 20: Esquema del sistema de control suelo radiante.....	52
Figura 21: Construcción de la base de módulo.	52
Figura 22: Aislamiento térmico del módulo.....	53
Figura 23: Instalación del aislamiento térmico del módulo.....	54
Figura 24: Instalación del serpentín en el módulo.....	54



Figura 25: Colocación del mortero de cemento	55
Figura 26: Instalación de suelo de melamina o laminado	56
Figura 27: instalación de llaves de entrada y salida de agua caliente.....	56
Figura 28: Instalación de Electrobomba.....	57
Figura 29: Instalación de Terma Solar	58
Figura 30: Tanque de agua	58
Figura 31: Instalación de un Sensor de Temperatura en el Tanque de Agua	59
Figura 32: Esquema de instalación del piso radiante	61
Figura 33: Distribución en zigzag del suelo radiante	62
Figura 34: Gráfico de comparación de temperatura del ambiente con temperatura piso radiante.....	64
Figura 35: Comparación temperatura de la terma con temperatura piso radiante.....	64
Figura 36: Comparación temperatura de terma con la temperatura del agua de entrada.	65
Figura 37: Comparación de temperatura del ambiente con temperatura del piso radiante.	65
Figura 38: Comparación de temperatura en la tubería con temperatura del piso radiante.	66



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Componentes del suelo radiante	38
Tabla 2: Magnitudes esperables según el tipo de convección	40
Tabla 3: Temperaturas de interiores	41
Tabla 4: Temperaturas óptimas para sistemas de calefacción piso radiante.	41
Tabla 5: Propiedades térmicas de los materiales	46
Tabla 6: Características del suelo radiante.	46
Tabla 7: Valores de radiación mensual promedio FS, para la ciudad de Puno.	49
Tabla 8: Datos De Temperatura Y Humedad Relativa.....	59
Tabla 9: Características del suelo radiante.	61
Tabla 10: Cuadro comparativo de valores de diseño y valores reales	63
Tabla 11: Recopilación de datos Abril - 2023	74
Tabla 12: Recopilación de datos Mayo - 2023	75
Tabla 13: Recopilación de datos Junio - 2023.....	76



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

°C	: Grados Celsius
λ	: Conductividad Térmica
PEAD	: Polietileno de Alta Densidad
ΔT	: Salto Térmico
H_p	: Irradiación Solar
A.C.S.	: Agua de Consumo Sanitaria
Q	: Flujo Calorífico
Acap.	: Área de Captación Energética
E	: Demanda Energética
OSB	: Madera (Oriented Strand Board)
LVL	: Madera Laminada
R	: Resistencia Térmica



RESUMEN

El presente proyecto se basa en el problema que afecta a las viviendas, ubicadas en zonas frías como la región Puno, donde la mayoría de las casas no tienen sistemas de calefacción y se ven afectadas por las temperaturas bajas que afectan la salud de sus habitantes. El proyecto tiene el objetivo de realizar un diseño de suelo radiante para la calefacción de ambientes en edificios. La hipótesis plantea utilizar energía solar térmica, para calentar agua que circule por una espiral de tuberías empotradas en el piso y proporcione una temperatura que caliente el ambiente. Actualmente los proyectos que se tienen en este ámbito no se han implementado en la región, lo que hace que este proyecto sea uno de los primeros en presentar esta propuesta. La metodología plantea realizar el diseño de un módulo o prototipo que permita tomar los datos y comprobar la hipótesis para zonas frías como la Región Puno que está entre los 3800 y 4200 m.s.n.m. con temperaturas durante el día con cielo despejado que oscilan entre 5°C a 20°C y bajo techo oscila entre -5°C a 12°C. El diseño de la investigación es de tipo cuantitativo cuasiexperimental. Según los datos obtenidos se concluye que la hipótesis no se ha logrado óptimamente, por las bajas temperaturas del clima, sin embargo, son cercanos a los índices de confort.

Palabras claves: Terma solar, Calefacción, Suelo radiante, Renovable, Puno



ABSTRACT

This project is based on the problem that affects homes, located in frigid areas such as the Puno region, where most houses do not have heating systems and are affected by low temperatures that affect the health of its inhabitants. The project has the objective of carrying out a design of underfloor heating for the heating of environments in buildings. The hypothesis proposes using solar thermal.

energy to heat water that circulates through a spiral of pipes embedded in the floor and provides a temperature that heats the environment. Currently the projects in this area have not been implemented in the region, which makes this project one of the first to present this proposal. The methodology proposes carrying out the design of a module or prototype that allows to take the data and verify the hypothesis for frigid zones such as the Puno Region that is between 3800 and 4200 m.s.l. with temperatures during the day with clear skies ranging from 5°C to 20°C and indoors ranging from -5°C to 12°C. The research design is quasi-experimental quantitative. The research design is quasi-experimental quantitative. According to the data obtained, it is concluded that the hypothesis has not been optimally achieved, due to the low temperatures of the climate, however, they are close to the comfort indices.

Keywords: Solar thermal, Heating, Underfloor heating, Renewable, Puno



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del problema

Este proyecto de investigación “diseño de un sistema de calefacción de ambientes empleando suelo radiante utilizando energía solar” se realiza por el entorno que acoge la ciudad de Puno dado que durante el año en este lugar presenta temperaturas bajas donde en algunos meses del año las temperaturas pueden llegar por debajo de los 0 °C, esto hace que diferentes puntos de la región de Puno en los lugares donde no llegan a asomar los rayos de sol los ambientes en aulas, hogares u oficinas se torne en una ambiente frio, por lo tanto un ambiente frio puede traer consecuencias a la salud de las personas, con este proyecto se trata de elevar la temperatura de los ambiente fríos.

Este proyecto solo es un prototipo experimental para que en futuro sea en diferentes zonas andinas de nuestro país. Por eso probaremos su desempeño y performance en la región de Puno específicamente por el barrio Huáscar de la ciudad de Puno.

Siendo así el presente proyecto de investigación tiene como muestra un barrio de la ciudad de Puno ya mencionado, dado que en este lugar no es recurrente el uso de este sistema de calefacción.

Hoy en día la falta de calefacción es una necesidad que se debe adquirir para las temporadas de invierno la temporada de heladas en la región. Por eso se está proponiendo la alternativa de una buena duración y teóricamente viable para esta zona.

Para ello se tratará de determinar los diferentes factores como las temperaturas necesarias y lograr alcanzar los objetivos del proyecto.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Problema general

¿Es posible llegar a calentar un ambiente usando un sistema de calefacción usando el sistema de suelo radiante utilizando energía solar?

1.2.2. Problema específico

¿Es viable usar el sistema de suelo radiante con uso de la energía térmica y afrontar los climas fríos que usualmente se presentan en los ambientes cerrados de la ciudad de Puno?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Ante la existencia de bajas temperaturas en la ciudad de Puno la población ha optado por usar sistemas de calefacción convencionales como son calentadores eléctricos que tienen una gran demanda de energía o calentadores de gas que usan sistemas térmicos que queman gases contaminantes al medio ambiente, para tratar de solucionar estos problemas que aquejan a la población se ha elegido usar una energía renovable que está al alcance de todos como es la energía solar y aprovechar tal energía para calentar ambientes cerrados.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un Sistema de calefacción de ambientes empleando suelo radiante mediante energía solar en la ciudad de Puno.



1.4.2. Objetivos específicos

Analizar el potencial térmico solar de la ciudad de Puno y determinar los parámetros óptimos de temperatura apropiada para calentar un ambiente.

Determinar los mejores materiales con sus propiedades térmicas para dimensionar el proyecto de piso radiante en viviendas de la ciudad de Puno.

1.5. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis general

Con el diseño de un módulo de prueba para la experimentación, permitirá realizar el proceso de análisis y posterior corrección de los diferentes factores que intervienen en el proyecto para así conseguir datos que en el futuro sean útiles en este tipo de proyectos.

1.5.2. Hipótesis específicas

La elaboración un módulo permitirá obtener parámetros de la energía solar necesaria para hacer eficiente el proyecto.

La implementación con los diferentes materiales de la región, que se utilizan seria para reducir costos y hacerlo más económico para el alcance general.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

“Diseño de un prototipo de calefacción por m^2 de superficie de piso radiante utilizando pcms aprovechando la energía solar térmica en la ciudad de Puno”. El objetivo principal de esta tesis es diseñar un piso radiante para mejorar la calidad de vida de las personas en la población de Puno. El “piso radiante” fue diseñado para las condiciones de la Ciudad de Puno, concluyendo la investigación de esta tesis demuestra que el prototipo si funciona, ya que se ha podido instalar y realizar algunas pruebas de funcionamiento en la zona, se conseguirá mantener la temperatura del prototipo de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ con un tiempo duración de 2 a 2,5 horas con una carga de 25 minutos promedio. (Berrio, 2017).

“Diseño de un sistema de climatización por piso radiante para asegurar el confort de la institución educativa n°14616 de Chulucanas – Piura”. Se obtuvo que se tiene una carga de 9,8 kW, luego con esta carga a enfriar se dimensionaron los componentes del sistema por techo radiante, el cual para la refrigeración de ambientes es más eficiente. La investigación incluyó el cálculo del presupuesto del sistema; lo cual comparando con un sistema de aire acondicionado es un monto similar, pero con la diferencia que el sistema por techo radiante es más efectivo. (Correa, 2021)

“Diseño energético de un suelo radiante para una sala de 12 m^2 ubicada a 4000 msnm en Langui-Cuzco”. Se investigó para dar una alternativa de solución nueva, en todo caso, distinta a la del muro trombe, para poder compararlas y escoger la que mejor se adecúe a la realidad de nuestro país o de la zona en estudio, esta alternativa es el “suelo radiante”, se logró de esa manera aumentar la temperatura de la habitación. Se emplea la



energía solar como aporte térmico, ya que en dicha localidad no cuenta con electricidad como para emplear radiadores y emplear una caldera sería complicado por el costo de conseguir combustibles fósiles. (Olivera, 2011)

“Aprovechamiento de energía solar para calefacción de viviendas alto andinas de la provincia de Huancayo”. En esta tesis se optimizó el rendimiento del sistema de calefacción solar y climatizar una vivienda de Huancayo, así también se formuló el problema de tal manera se dio soluciones posibles, teniendo como objetivo dar un mejor estilo de vida para dichas personas. Gracias a este estudio las personas de San Jerónimo de Tunan de la provincia de Huancayo, Junín pueden implementar un sistema de calefacción solar en sus viviendas que está a un a bajo costo y accesible para ellos. (Belito, 2015)

“Sistema de calentamiento solar y aerotermia para sistema de agua caliente sanitaria (acs) y calefacción por suelo radiante”. En la presente tesis se diseñó, esquematizo y modelo el sistema de calefacción para una edificación de hasta 4 pisos en la ciudad de Quito, por medio de paneles solares ayudado con bomba de calor, aplicado al sistema de agua caliente sanitaria y sistema de calefacción por suelo radiante y desinfección térmica. (Borja, 2020)

“Diseño de un sistema dual de calentamiento de agua, por medio de energía solar y glp y diseño estructural de la cubierta para la piscina de la hostería “los juanes” en el cantón Santa Isabel”. En la tesis se determinó que la pérdida por evaporación es la más significativa en la piscina, además se empleó el sistema auxiliar de calefones en dos intervalos diarios con un tiempo de funcionamiento de 1,33 horas necesarios para mantener la temperatura de confort y en condiciones climáticas desfavorables para el sistema solar. (Criollo, 2011)



“Diseño de un prototipo de vivienda rural con características bioclimáticas y autonomía energética renovable en el municipio de Paipa-Boyacá”. El presente proyecto se realiza un prototipo de vivienda rural con características total innovadora en función a brindar mejor calidad de vida a quienes opten por él, este Prototipo de vivienda rural con características bioclimáticas y autonomía energética renovable, este proyecto propende por el uso racional de los recursos y el compromiso a nivel individual y colectivo responsable frente al comportamiento con el medio ambiente. Y lo más importante que este prototipo de vivienda rural de forma integral le ofrece bienestar y salud para las personas que habiten estos espacios arquitectónicos. (Ortiz, 2020)

En la investigación “simulación térmica bidimensional de un piso radiante”. El presente trabajo se realiza el estudio térmico bidimensional de un piso radiante. Se utiliza la similitud térmico-eléctrica para modelizar las transferencias de calor mediante el programa SIMUSOL, predecir el perfil de temperatura en el interior del piso y en su superficie y estimar los aportes energéticos por convección y radiación. Se describen a continuación las medidas realizadas entre el 5 y el 9 de agosto de 2006, en un prototipo de piso radiante que utiliza colectores solares para el calentamiento del aire, construido recientemente en dependencias del INENCO. Los resultados obtenidos hasta el momento muestran la viabilidad del piso radiante como método de calefacción y la utilidad del modelo bidimensional utilizado para describir el sistema. (Flores, 2006)

“Evaluación y simulación de un piso radiante en el albergue del centro poblado de Imata ubicado a 4500 msnm en el departamento de Arequipa”. En el presente trabajo se realizó la evaluación y simulación de un sistema de calefacción por piso radiante instalado en el albergue del centro poblado de Imata, esto con la finalidad de conocer el aporte energético de los colectores tanto al termo-tanque como al piso radiante, y a la vez



realizar la simulación para el comportamiento de la temperatura en la superficie del piso y su efecto en la temperatura al interior del recinto. (Castro, 2018)

“Instalación de suelo radiante y energía solar térmica en una vivienda unifamiliar”. El tema sobre el que trata este proyecto es un estudio para la instalación de un suelo radiante y unas placas solares para producir A.C.S. en una vivienda unifamiliar situada en ciudad Rodrigo, en la provincia de Salamanca. Debido a la nueva normativa del CTE, se debe instalar una forma de energía alternativa en las edificaciones de construcción reciente, eligiendo para este caso específico los paneles solares térmicos. Se va a desarrollar el estudio de las instalaciones del suelo radiante y de los paneles solares., calculando la carga térmica necesaria de la vivienda, la demanda de A.C.S. y la energía necesaria para obtenerla. Además, se calculará la energía obtenida por las placas y el ahorro aportado por estas. (García, 2012)

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Generalidades

La terma o calentador solar es un aparato que usa la energía solar para calentar agua a altas temperaturas. Está aparato está compuesto por:

Principalmente se encuentra el colector formado por una placa absorbedor y una caja térmica. La placa absorbente es el equipo que recepciona la radiación del sol que calienta el agua a altas temperaturas y está formada por una placa de hierro a la que se acoplan una serie de tubos en paralelos, por cuyo interior se encuentra el agua recepcionando la radiación solar.

Un tanque de almacenamiento donde se almacena el agua calentada en los tubos hasta su posterior uso, este tanque de almacenamiento se encuentra aislado para conservar el calor del agua y evitar que este pierda su energía calorífica por disipación.



El sistema de suelo radiante por circulación de agua es un sistema de calefacción como su nombre lo dice por suelo radiante este sistema consiste en una red de tuberías de plástico, instaladas bajo diferentes tipos de capa como pueden ser el concreto, cerámica, madera, porcelanato, piedra, etc. por donde se distribuye agua fría o caliente. Todo ello gracias a estar conectado a una caldera de condensación, bomba de calor o sistema de generación de calor como puede ser una terma solar, que es la fuente de energía para producir la calefacción requerida.

Para que la calefacción por suelo radiante funcione de la manera más eficiente, la calefacción por suelo radiante debe tratar de mantenerse continuamente.

Este sistema posee como ventaja que el sistema suelo radiante por agua a calefacción por suelo radiante consume un 20% a 30% menos que otros sistemas de calefacción y si se combina con paneles solares o aerotermia, hasta un 60% a 70% de ahorro por consumo de energía. Por ende, este sistema de calefacción recomendado por la OMS Organización Mundial de la Salud y organizaciones internacionales que velan por el medio ambiente.

2.3. COMPONENTES

2.3.1. Terma solar

La terma solar es un dispositivo que calienta el agua convirtiendo la radiación emitida por el sol en energía solar para calentar agua, que luego se almacena en un tanque de agua caliente para usar en cualquier momento del día.

Una de las razones importantes para realizar la instalación de un calentador solar de agua es que puede ahorrarle dinero en las facturas mensuales de energía. El calentamiento de agua puede agregar una cantidad significativa a la factura mensual de energía de un hogar, dependiendo de la cantidad de agua calentada.

La energía solar térmica es la forma más sencilla, cómoda y económica de calentar agua caliente. Su funcionamiento es bastante sencillo en comparación con otros sistemas de agua caliente.

Mucha gente utiliza la calefacción solar para actividades industriales y domésticos. Si un proceso requiere agua caliente, se puede utilizar energía solar térmica. Al conectarse a un tanque de agua caliente, la bañera de hidromasaje solar puede mantener la temperatura del agua deseada durante varias noches.

2.3.1.1. Partes de una terma solar

Para entender el funcionamiento de las termas solares, es necesario conocer sus principales componentes. Esto nos permitirá entender a qué nos estamos refiriendo durante la explicación.

En este sentido, encontraremos tres principales componentes: el colector, el almacenamiento y las herramientas de sistema.



Figura 1: Terma solar

Fuente: (Pixabay)

2.3.1.2. Colector

El colector de calor consta de una caja de incubadora, y la caja de la incubadora contiene almohadillas aislantes y placas absorbentes de agua. Los paneles absorbentes se encargan de captar la radiación solar, que será la encargada de calentar el agua. Estas placas consisten en placas que quedan conectadas por tuberías paralelas que suministran agua al tanque.

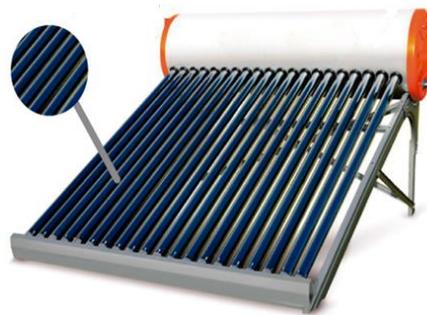


Figura 2: Colectores de una terma
Fuente: Electrotec

2.3.2. Tanque de almacenamiento

El agua caliente se almacenará en reservas para su uso posterior. Este tanque está aislado para que solo pueda mantener la temperatura del agua caliente. El volumen del depósito de agua vendrá determinado por el número de usuarios, referido a unos 90 litros por persona.



Figura 3: Tanque de almacenamiento.
Fuente: Istock

2.3.3. Conexiones o sistema

Estas conexiones forman todas las tuberías y arterias que se instalarán el agua caliente para el intercambio entre el acumulador y el colector solar y finalmente las tuberías en las habitaciones de los usuarios.



Figura 4: Tuberías del sistema.

Fuente: Istock

2.3.4. Electrobomba

Una bomba de agua o electrobomba es una máquina que se utiliza para bombear agua de un lugar a otro y para mover cualquier líquido, más comúnmente agua.

Su funcionamiento es simple y directo, el agua se aspira a través de la tubería de entrada de la bomba y luego es impulsada por un motor que genera un campo magnético a través de bobinas e imanes para mantener el impulsor girando continuamente. A medida que gira el rotor, el fluido suministrado a la bomba se mueve.



Figura 5: Electrobomba.

Fuente: Rotoplas



Las palas se encargan de empujar con fuerza el fluido para que el agua fluya rápidamente desde la entrada hasta la salida. El propósito de estas palas del impulsor es permitir que el agua ingrese al centro del rotor, creando una fuerte fuerza centrífuga debido a la compresión del líquido, lo que crea presión para que el líquido fluya rápidamente con un gran caudal, que es el propósito principal. No se trata solo de desviar el agua de un lado a otro, sino que se ahorra tiempo y varias veces para elevar el líquido de una zona de menor presión o altura a otra zona de mayor presión o altura.

Una de sus grandes ventajas es la variedad de aplicaciones, ya que las electrobombas se pueden utilizar en diversos campos e industrias, como la agricultura, el abastecimiento de agua potable, la ventilación y drenaje de pozos, la alimentación de calderas, la depuración de aguas residuales o las piscinas. Otra ventaja de las bombas eléctricas es la facilidad de operación, ya que son más fáciles de usar que otros tipos de bombas hidráulicas cuando funcionan con un sistema eléctrico.

Una bomba de agua está compuesta por las siguientes partes que hacen que permiten su funcionamiento:

2.3.4.1. Cuerpo o marco

Solo el cuerpo cubre la mayoría de los mecanismos utilizados para mover el fluido que se transporta. Por lo general, debe ser resistente a la corrosión, de acero inoxidable o de hierro fundido si no se puede sumergir.



Figura 6: Marco de una electrobomba no sumergible.
Fuente: Electrotec

2.3.4.2. Entrada y salida

Es el orificio o entrada por donde pasa el fluido y su salida.



Figura 7: Orificios de entrada y salida del líquido.
Fuente: Inoxmin

2.3.4.3. Impulsor, rotor o impulsor

Es un dispositivo que se utiliza para impulsar el fluido dentro de la carcasa. Estos pueden ser cuchillas, cuchillas, etc.

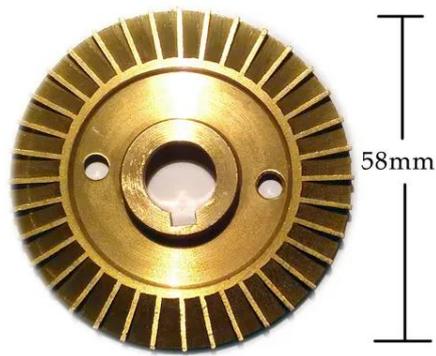


Figura 8: Impulsor de una electrobomba de ½ HP.
Fuente: Mercado libre

2.3.4.4. Juntas, soportes y anillos

Es todo lo que permite que la bomba selle correctamente y logre una cierta compresión interna.



Figura 9: Sello de impulsor.
Fuente: Rentamax

2.3.4.5. Eje impulsor

Es el eje que soporta el giro del impulsor.

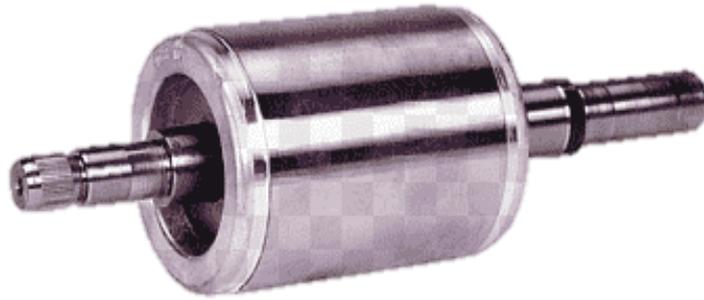


Figura 10: Eje y rotor de una electrobomba.

Fuente: Pngegg

2.3.4.6. Cojinete o cojinete

Se utiliza para soportar correctamente el eje de transmisión.



Figura 11: Cojinete o rodamiento.

Fuente: Pixabay

2.3.5. Motor

Es el dispositivo que permite que el eje se mueva, mientras que el impulsor permite que el fluido fluya de un lado a otro. Por capacidad, es capaz de movilizar la máxima cantidad de agua en el menor tiempo posible. Los motores pueden contener otros componentes especiales como ventiladores, bobinas, imanes, etc.



Figura 12: Vista interna de un motor y la carcasa del impulsor
Fuente: Truper expert

2.3.6. Reservorio o tanque de agua

Los tanques de agua son estructuras de almacenamiento que tienen dos funciones distintas: almacenar cierta cantidad de agua para satisfacer las necesidades de un grupo familiar o para el riego y/o diferentes tipos de uso que se le puede dar al agua almacenada. De hecho, en algunos lugares es común instalar un tanque de agua en el techo de la casa o edificio para que se llene y posteriormente suministrar el agua con la ayuda de la presión de la gravedad hacia el interior de la vivienda o edificio.

El diseño, construcción y materiales del tanque son muy variados, dependiendo no solo de su capacidad sino también de la ubicación que tendrá y su función, ya que existen tanques que pueden ser utilizados para almacenar sustancias químicas, alimentos, granos y mucho más. Sin embargo, estos tendrán otras características de resistencia y espesor que los hagan aptos para estas tareas. Para su adquisición es importante reconocer el tipo de uso que se le va a dar al depósito de agua para aumentar su efectividad de tales productos.



Figura 13: Reservorio o tanque de agua
Fuente: Rotoplas

2.4. FUNCIONAMIENTO DE LAS TERMAS SOLARES

Ahora, con el contexto necesario, podemos profundizar en nuestros puntos principales. Primero, debemos pensar en la idea: la calefacción solar es un calentador que se usa para calentar agua que se entregará a un tanque de agua caliente donde se puede mantener caliente hasta que se necesite.

Su funcionamiento es muy sencillo. Se colocan en el techo de la casa o del lugar donde se ubican, los paneles se encargarán de recibir la mayor cantidad de radiación posible, orientados a la línea del ecuador. Explicaremos su función en el siguiente orden:



Figura 14: Funcionamiento básico de una terma solar
Fuente: Electricasas



2.4.1. Captura

Esta placa será la encargada de captar la radiación reteniéndola y enviándola al colector para su absorción de manera eficiente en invernadero, consiguiendo así una alta temperatura concentrada.

2.4.2. Transmisión

El colector es el encargado de calentar y transferir calor al serpentín (que pertenece al sistema) a través de la placa colectora. Una bobina proporciona una salida y una entrada. La entrada recibirá agua fría que se calentará a medida que pasa y se encuentra con el colector solar.

2.4.3. Bombeo

Este movimiento será causado por una bomba, o puede ser causado por un termosifón (el líquido caliente es más liviano que el líquido frío).

2.4.4. Almacenamiento

La salida del serpentín drenará el agua. Gracias al proceso que tiene lugar en las placas colectoras solares, el agua se calienta y fluye al acumulador de agua caliente, donde se almacena y calienta para su uso posterior. El calor se mantendrá a través del aislamiento del tanque.

Como hemos visto, el bronceado no tiene por qué ser complicado. Es su simplicidad lo que hace que estas unidades funcionen tan bien como una alternativa a los sistemas tradicionales de agua caliente que usan más energía y requieren más mantenimiento.



2.5. LOS PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS TERMAS SOLARES PARA LOGRAR CALENTAR AGUA

Existen sistemas generales de calentamiento de agua que se pueden dividir en diferentes elementos básicos para que puedan adaptarse a las necesidades, requisitos y circunstancias individuales.

2.5.1. El principio pasivo

Utiliza el efecto de que el agua caliente debido a su baja densidad sube por sí sola al depósito mediante el principio del termosifón.

Así mismo, no se necesitan bombas, pero se debe colocar un tanque sobre los colectores solares para recolectar y almacenar el agua caliente.

2.5.2. El principio activo

Este principio es muy diferente al anterior, porque este principio utiliza una bomba para mover el agua caliente.

En este caso, el controlador es el que apaga la bomba cuando la temperatura dentro del colector solar es más baja que la temperatura del agua en el tanque por la noche. La ventaja de este principio es que permite colocar el tanque en cualquier lugar de la casa o negocio, generalmente en el sótano, y colocar los paneles solares en el techo.

2.5.3. Distribución en serpentín

Este es el método de distribución más simple, pero la desventaja de este sistema es la gran diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del agua en circulación, lo que permite que el usuario sienta la diferencia en su entorno.

2.5.4. Distribución en doble serpentín

A diferencia de la distribución serpentina, esta no crea una gran diferencia de temperatura entre la entrada y la salida, ya que las tuberías más frías siempre están conectadas a las tuberías más cálidas, compensando así la diferencia de temperatura que estaba presente en la distribución anterior. El inconveniente de este sistema surge a la hora de diseñar la distribución, ya que en ocasiones hay que realizar radios muy pequeños, lo que dificulta la instalación.

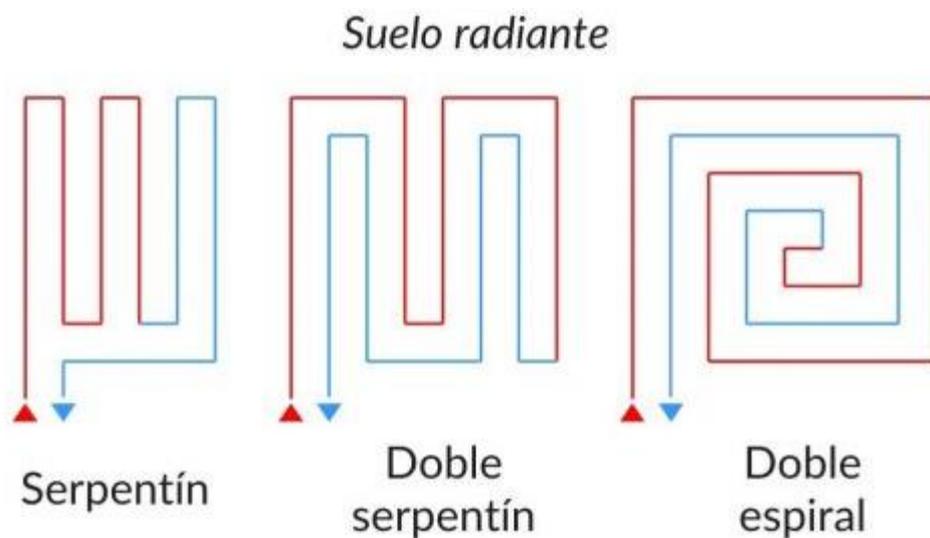


Figura 15: Tipos de instalación de serpentín
Fuente: Actitud Ecológica

2.5.5. Distribución en espiral

Al igual que la distribución de doble serpentín, no crea las notorias diferencias de temperatura en la habitación, ni crea pequeños radios durante la instalación, por lo que esta unidad se recomienda para calefacción por suelo radiante.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA

La metodología consiste en realizar el diseño de un piso caliente, donde se va montando tubos de manera que hacen un cuadrado o rectangular en forma de una espiral, llevando agua caliente (proporcionado por una terma solar) con un retorno entre línea y línea de esta manera el calor se reparte mejor en el piso; el cual se cubre con el material de acabado final del piso, que mejor cumpla su objetivo, en este caso del trabajo, se eligieron materiales del mercado local (Región Puno). Este piso tiene características particulares para que tengan la capacidad no solo de calentar el piso sino también el ambiente que lo contiene; por eso se mide las temperaturas de la superficie del piso y las temperaturas en el volumen de aire contenido en una determinada habitación o cerramiento, que nos permita analizar las variables que logren el objetivo del trabajo de investigación. Para tener las variables controladas, se realizó un prototipo del piso, que permita su análisis.

3.2. COMPONENTES DEL PISO RADIANTE

Los componentes típicos de un piso radiante para considerar en el diseño son:

- Fuente de energía calorífica
- Elementos del piso radiante
- Elementos del control del piso radiante y para la toma de datos



3.3. DISEÑO DEL PISO RADIANTE

El diseño comienza en el cálculo de la potencia necesaria para proporcionar la energía calorífica que caliente el área del piso de calefacción hasta alcanzar la temperatura de confort en el ambiente o cerramiento y Capacidad Calorífica del Piso.

Para efectos de realizar el diseño de climatizar un ambiente, es necesario determinar la distribución y utilización de cada cerramiento o ambiente porque para efectos de ahorro de energía, se prevé la calefacción según sus requerimientos, sea viviendas, oficinas, aulas, centros de salud, etc. Para el presente trabajo se determina un supuesto ambiente y una supuesta utilización, a efectos de realizar las pruebas y los cálculos respectivos en un prototipo que servirá para obtener los datos, realizar los cálculos que servirán para evaluar los resultados, para validar la hipótesis del estudio.

3.4. CARACTERÍSTICAS DE PISO RADIANTE

El piso radiante se elige de acuerdo a los materiales existentes en la zona, y que son de uso común.

El piso radiante consiste en un prototipo de 2m^2

El prototipo es un tablero de $2\text{m} \times 1\text{m}$ y está compuesto de una base de aislamiento donde se ubicará la tubería, una malla de alambre y una capa de mortero de mezcla de cemento y arena; finalmente un piso de laminado.

3.5. CÁLCULOS DEL PISO RADIANTE

El cálculo se realizará para un ambiente de 20m^2 , sin embargo, el prototipo que se realizará a una escala de $1/10$; será para 2 metros cuadrados.

Para el dimensionado de la instalación de suelo radiante se define por la Norma UNE-EN 1264 (Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrado en superficies).



El área define la cantidad de energía necesaria para calentar la superficie y el ambiente.

Área a calentar: 20 m².

Velocidad del aire: 0.20 m/s

Humedad relativa: 50%

Temperatura de confort: 23°C

La base del cerramiento es de material noble (mezcla de concreto)

La humedad relativa indica si el ambiente es húmedo o seco.

Para la temperatura óptima de confort a falta de Normativa nacional, se recurre a la Normativa RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) de España. La temperatura ambiente debe estar entre 21°C y 23°C, para condiciones normales de un cerramiento sin actividad, quiere decir que no existen muebles y si las personas están con ropa mínima o actividades habituales, la temperatura está entre 18°C y 23°C.

Para el caso de la zona de la región Puno, que tiene un clima de invierno anual por ser sierra se elige 20°C.

3.5.1. Elección del tipo de aislante

Se elige una plancha de aislante térmico de Poliestireno expandido (Tecnopor) y también del mismo material el zócalo o circulo perimetral del piso de 2,5 cm de espesor.

3.5.2. Elección del tipo de tubo

El tipo de tubo es de plástico flexible tubo PEAD (polietileno de alta densidad), reforzado por una reacción química que crea fibras largas para aumentar la resistencia del material. Ha sido aprobado en Europa y el Sur de los Estados Unidos para uso residencial en sistemas de calefacción radiante. Se coloca la tubería sobre una plancha de material aislante térmico. (E EN 1264)

Diámetro nominal: 16 mm. Espesor: 2mm λ : Conductividad 0,35 w/m°K

3.5.3. Elección del tipo de piso

El acabado final será de laminado de moqueta, por su tacto suave, su calidez y comodidad y bueno con el medio ambiente, por ser producto con fibras naturales y no provocan reacciones alérgicas.

Laminado: espesor $e= 5$ mm, λ : Conductividad $2,77$ w/m^{°K}

3.5.4. Componentes del pavimento

Tabla 1: Componentes del suelo radiante

<u>Componentes</u>	<u>Dimensiones (mm)</u>
Panel aislante (Tecnopor)	25
Tubería PEAD	18
Mortero	45
<u>Piso Laminado</u>	<u>5</u>

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.5.5. Espesor del suelo radiante:

El espesor: 75 mm (7,5 cm)

3.6. ELECCIÓN DEL TIPO DE DISTRIBUCIÓN

El sistema debe ser una distribución sencilla. La configuración elegida es tipo zigzag.

Espacio de salto: 10 cm.

Adecuado para lugares pequeños sin gran demanda de calor.

Se comienza por un extremo y se van montando líneas de tubo, dejando espacio para el retorno entre línea y línea. De esta manera, el calor está mejor repartido, ya que van paralelos un tubo más frío con otro más caliente. Este sistema es el más idóneo y sencillo de instalar. Las curvas son de 90°, adecuado para separaciones de tubo pequeñas.

Se elige el sistema en zigzag de la forma siguiente:

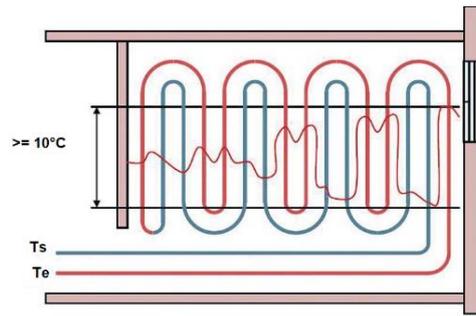


Figura 16: Distribución en zigzag del suelo radiante
Fuente: Mundo HVAC&R.

3.7. CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL CIRCUITO

La longitud L de cada circuito, se calcula por el área necesaria a calentar y la distancia al colector:

$$L = \frac{A}{e} + 2 \cdot L_c$$

Donde:

A = área a calefactar cubierta por el circuito (m^2)

e = distancia o paso entre tubos (m)

L_c = distancia entre el colector y el área a calefactar (m)

$$A = 20m^2$$

$$L = (20/0,2) + 2 \times 6 = 112m.$$

Según la Norma UNE-EN 1264. El intervalo está entre 50 y 100 metros. La óptima es 85 metros. En este caso la longitud del circuito se debe dividir en dos circuitos.

En el caso del prototipo la longitud es: $L = (2/0,1) = 20 m$

Longitud de Tubería de PEAD para agua caliente: 6m.

3.7.1. Temperatura de diseño

La temperatura ambiente (T_a); es de: $12^\circ C$ (ciudad de Puno)

3.8. CÁLCULO DE LA ENERGÍA O FLUJO CALORÍFICO

El flujo calorífico (Q) depende del coeficiente de transferencia de calor por convección (h), área del suelo (A), la temperatura media superficial del suelo (T_{ms}) y la temperatura interior de diseño del local (T_i)

La energía necesaria en watts:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_{ms} - T_i)$$

h : es el coeficiente de transmisión de calor entre una superficie sólida y un fluido como resultado de dos componentes, el coeficiente de transmisión por radiación y el coeficiente de transmisión por convección por diferencia de temperaturas.

Tabla 2: Magnitudes esperables según el tipo de convección

<u>Tipo de convección</u>	<u>Coficiente de transmisión</u>
libre de un gas (aire)	$h \geq [5 \text{ w}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)]$
forzada de un gas	$h \geq [50 \text{ w}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)]$
libre de un líquido	$h \geq [500 \text{ w}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)]$
forzada de un líquido	$h \geq [5000 \text{ w}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)]$
<u>de un cambio de fase</u>	$h \geq [50000 \text{ w}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)]$

Elaborado por el equipo de trabajo.

h : para una superficie (suelo) y gas (aire) en el rango de temperatura ambiente varía: de 10 a 12 $\text{W}/\text{m}^2 \times \text{K}$.

$$Q = h \cdot A \cdot (T_i - T_0)$$

3.8.1. Temperatura interior de diseño del local (T_i)

Para efectos de cálculo la temperatura interior se debe considerar no llegar a la temperatura de condensación, por lo que se debe controlar la temperatura de rocío del aire y considerar para efectos de cálculo una temperatura de aire seco, para lo que el agua en

la tubería debe alcanzar un máximo de temperatura de 46°C. Norma UNE-EN 1264. Esta temperatura se denomina temperatura Operativa del local.

Para los diferentes ambientes interiores se aconseja las siguientes temperaturas interiores:

Tabla 3: Temperaturas de interiores

Cocina	Comedores y dormitorios	Salas y estar	Pasillos	Baños
18°C	18°C – 20°C	20°C – 22°C	18°C	22°C – 24°C

Fuente: Mundo HVAC&R.

Tabla 4: Temperaturas óptimas para sistemas de calefacción piso radiante.

Sistema de Calefacción (°C)	Ta	Tt	Ts	Tp	Trm	v	To
Suelo radiante	20	20	27	20	23.5	0,05	22

Fuente: Mundo HVAC&R.

3.8.2. Cálculo de la temperatura operativa

La temperatura operativa es la que debería tener una estancia para que el cuerpo humano al intercambiar su temperatura corporal por convección y radiación tenga la cantidad de energía necesaria para estar confortable.

Temperatura operativa es el promedio ponderado de la temperatura del aire seco (T_a) y la temperatura radiante media (T_{rm}) de los cerramientos.

Se considera que un ambiente a climatizar, no es un lugar vacío, si no tendrá artefactos, muebles y diferentes objetos cuya temperatura está en constante interacción con el medio ambiente local, paredes, piso, cielo raso, ventanas, paredes. Esta serie de temperaturas, en orden estricto, es variable y difícil de controlar, porque la temperatura operativa será

el resultado de la interacción de calor de los cuerpos que dependen de las formas de transmisión del calor por radiación y por conducción.

Para efectos de cálculo la temperatura del ambiente debe ser la temperatura radiante media. (mundohvacr.com.mx, 2023).

$$T_o = \frac{T_{rm} + T_a}{2}$$

La temperatura radiante media, T_{rm} , depende del grado de intercambio de calor por radiación entre las paredes (temperatura superficial de las paredes T_{p1} , T_{p2} , T_{p3} y T_{p4}), temperatura superficial del suelo (T_s) y temperatura superficial del techo (T_t) en °C del entorno, en la proporción que actúan.

$$T_{rm} = \frac{T_s + 0,15 \cdot (T_{p1} + T_{p2} + T_{p3} + T_{p4}) + 0,4 \cdot T_t}{2}$$

Donde:

T_{rm} = temperatura radiante media ponderada de las superficies del local (°C)

T_s = temperatura superficial del suelo (°C)

T_p = temperatura superficial de las paredes 1, 2, 3 y 4 (°C)

T_t = temperatura superficial del techo (°C)

Esta ecuación predomina el calor con las paredes y el techo y podemos suponer que la temperatura superficial de las paredes y techo es igual a la temperatura ambiente del aire interior T_a .

Si la velocidad del aire es baja (0,2 m/s) o si la diferencia entre la temperatura radiante media y la temperatura del aire es pequeña (entre menos de 4 °C), la temperatura operativa puede calcularse como la media aritmética entre la temperatura radiante media y la temperatura (seca) del aire:

$$T_o = \frac{T_a + T_a}{2} \quad T_o = \frac{12 + 12}{2}$$

$T_o = 12^\circ\text{C}$

T_o = temperatura operativa ($^{\circ}\text{C}$)

T_a = temperatura del aire ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

3.8.3. Cálculo del flujo calorífico

El flujo calorífico (en W/m^2) del local se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_i - T_o)$$

Donde: h : para una superficie suelo (madera o similar) y gas (aire) está en el rango de temperatura ambiente de 10 a 12 $\text{W}/\text{m}^2 \times ^{\circ}\text{K}$.

Elegimos: 12 $\text{W}/\text{m}^2 \times ^{\circ}\text{K}$

$$Q = 12 \times 2 \times (20 - 12) = 192 \text{ w}$$

3.8.4. Cálculo de la temperatura media superficial pavimento: T_{ms}

La temperatura media superficial del pavimento (T_{ms}) es la temperatura superficial del piso o pavimento. Varía entre 29 y 39 $^{\circ}\text{C}$. Norma UNE-EN 1264 (Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrado en superficies).

$$\frac{Q}{A} = h \cdot (T_{ms} - T_i)$$

$$T_{ms} = \frac{Q/A}{h} + T_i$$

$$T_{ms} = 96/12 + 20 = 28 \text{ } ^{\circ}\text{c}$$

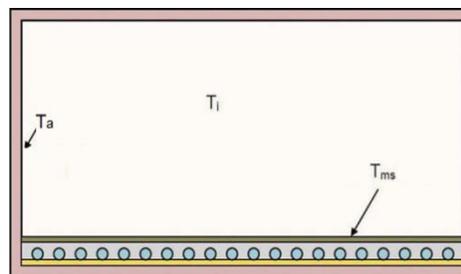


Figura 17: Condiciones de diseño típicas en un suelo radiante. Flujo calorífico
Fuente: Mundo HVAC&R.

La temperatura interna depende del área a calentar del local por metro cuadrado de superficie.

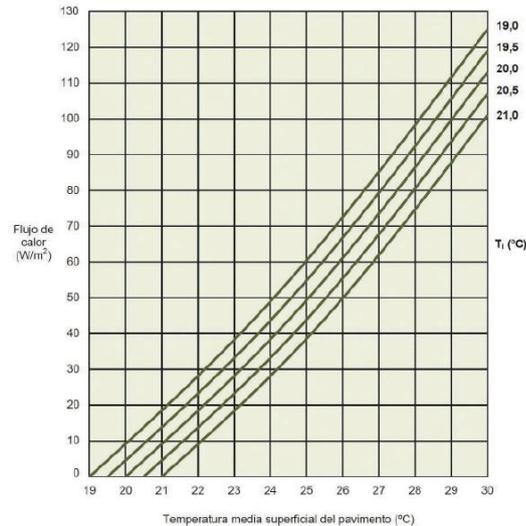


Figura 18: Temperatura media superficial del pavimento.

Fuente: Mundo HVAC&R.

Donde: T_i (Temperatura de diseño del local) en función del flujo calorífico (q_a) y de la temperatura media superficial del pavimento (T_{ms}).

La figura muestra las temperaturas medias superficiales del pavimento (T_s) en función de (q_a) y de (T_i), considerando una separación de 10 cm y un salto térmico de 10 °C.

3.8.5. Cálculo de la temperatura de impulsión

La temperatura media del agua en las tuberías emisoras (T_{ma}) depende del flujo calorífico (q_a), la temperatura interior de diseño (T_i) y del coeficiente de transmisión térmica (U):

$$q = h \cdot (T_{ms} - T_i) = W/m^2$$

$$q = \frac{Q}{A}$$

$$q = 192/2 = 96 W/m^2$$

$$q_A = U \cdot (T_{ma} - T_i)$$

$$T_{ma} = \frac{q_A}{U} + T_i$$

Donde el flujo calorífico (q_A) está dado en W/m^2 .



Salto térmico (ΔT). El salto térmico entre la temperatura del agua de impulsión (T_{imp}) y la temperatura del agua de retorno (T_{ret}) se fija para el caso del presente trabajo en 5°C (significa que a una variación entre la temperatura de entrada y de salida es de 5°C), el sensor hace circular nueva agua caliente. Considerando un salto térmico (ΔT) debe ser $\leq 10^{\circ}\text{C}$.

Coefficiente de transmisión

La temperatura media del agua que servirá para proporcionar la energía necesaria para calentar el suelo radiante, y que proporcione una temperatura superficial de 28°C . se calcula por la capacidad de transmisión térmica que tengan los materiales que componen el piso y de cada Resistencia Térmica de los materiales.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Donde:

R = Resistencia térmica ($\text{W}/^{\circ}\text{K}$)

e = espesor de la capa (m)

λ = conductividad térmica del material de la capa ($\text{W}/\text{m}\times^{\circ}\text{K}$)

El coeficiente de transmisión térmica de la capa que está sobre los tubos de agua (U, en $\text{W}/\text{m}^2\times\text{K}$), se calcula mediante la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{\sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h}}$$

Donde:

e = espesor de la capa (m)

λ = conductividad térmica del material de la capa ($\text{W}/\text{m}\times\text{K}$)

h = coeficiente de transmisión de calor del suelo (entre 10 y 12 $\text{W}/\text{m}^2\times\text{K}$)

La conductividad térmica aporta la cantidad de calor en julios transportada por segundo junto a una longitud de un metro a una diferencia de temperatura de un grado. La

conductividad térmica es necesaria para verificar el aislamiento térmico de los elementos de construcción.

Tabla 5: Propiedades térmicas de los materiales

Material	Densidad kg / m ³	Conductividad térmica λ: W / (m · °K)	Capacidad calorífica J / (kg °K)
Mortero			
cemento-arena	1800...2000	0,6...1,2	840
Cloruro de polivinilo (PEAD)	1400...1600	0,15...0,2	—
Madera			
Contrachapada	250...900	0,11...0,24	1600
Madera laminada (LVL)	700	0,22	1600 (*)

Fuente: (Propiedades de Materiales, 2023)

(*) Tablero contrachapado, paneles de madera sólida (OSB) y maderas chapadas laminares (LVL) (cte, 2023)

Tabla 6: Características del suelo radiante.

Componente	Diámetro nominal	Espesor	Conductividad
Tubo flexible PEAD	18 mm.	e: 4 mm	λ: 0,35 w/m°K
Material aislante		e: 25 mm	λ : 0,031 w/m°K
Grosor de Mortero		e: 45 mm	λ : 0,9 w/m°K
Suelo (laminado)		e: 5 mm	λ : 0,22 w/m°K

Elaborado por el equipo de trabajo.

(*) λ: Conductividad o coeficiente de transmisión de calor proporcionada por el fabricante para Polietileno de Alta Densidad (PEAD) (aisoutnovation, 2023)

$$U = \frac{1}{\frac{e_{Laminado}}{\lambda_{Laminado}} + \frac{e_{mortero}}{\lambda_{mortero}} + \frac{e_{tubo}}{\lambda_{tubo}} + \frac{1}{h}}$$

$$U = \frac{1}{\left(\frac{7}{0,22} + \frac{20}{0,9} + \frac{4}{0,35}\right) \times 10^{-3} + \frac{1}{12}}$$

$$U = 1 / (0,0318 + 0,022 + 0,011 + 0,083) = 1/0148$$



$$U = 6,756$$

$$T_{ma} \frac{q_A}{U} + T_i$$

$$T_{ma} = 96/6,756 + 28 = 42,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Aproximando: Tubo = 42°C

3.8.6. Temperatura de impulsión

$$T_{imp} = T_{ma} + \frac{\Delta T}{2}$$

$$T_{imp} = 42^\circ\text{C} + 5/2 = 44,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La temperatura de retorno:

$$T_{ret} = T_{imp} - \Delta T$$

$$T_{ret} = 42,0 - 2,5 = 39,5^\circ\text{C}$$

3.9. DISEÑO DE LA FUENTE DE ENERGÍA

La fuente de energía son paneles de calentamiento de agua por efecto térmico solar con un termo de almacenamiento. Este Sistema está en función del tamaño del piso radiante. Con las consideraciones teóricas del piso radiante diseñado, se elige un panel de tubos de vacío de vidrio para el calentamiento de agua por la energía térmica solar; su ubicación es en la ciudad de Puno como lugar de prueba y con la orientación hacia la dirección norte.

3.10. CÁLCULO DEL CAUDAL DE AGUA

Cálculo del agua necesaria en la tubería:

Longitud del circuito x área del tubo.

$$V = 26 \text{ m} \times \pi \times (0,016/2 \text{ m})^2$$



$$V = 0,0052 \text{ m}^3 = 5,2 \text{ litros}$$

Energía requerida

$$Q = 192 \text{ w}$$

Caudal de agua

El caudal de agua, necesaria para la circulación del agua caliente a través del circuito de calefacción por suelo radiante. Este caudal depende de la potencia térmica emitida y del salto térmico entre la impulsión y el retorno del circuito:

Masa de agua necesaria:

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

Donde:

\dot{m} = caudal de agua (kg/s» L/s)

\dot{Q} = potencia térmica emitida (W)

c_{pw} = calor específico del agua (4,180 J/kg×K)

$T_{imp} - T_{ret}$ = salto térmico del agua (entre 5 °)

$$\dot{m} = 192 \text{ w} / (4,180 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}) (5^\circ\text{C}) = 12,63 \text{ Kg} = 12,63 \text{ lts} = 0,013 \text{ m}^3$$

3.11. CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Demanda energética (E). Energía necesaria para elevar la temperatura de la masa de agua (M) desde la temperatura del agua fría (Ti) hasta la temperatura de consumo final (Tf).

$$Q = M C_p (T_f - T_i)$$

$$E = M C_p (T_f - T_i)$$

E : Demanda energética (KJ)

$$M = 12,63 \text{ Kg}$$

$$C_p (\text{agua}) = 4,18 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$



$$T_f = 42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_i = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = (12,63 \text{ Kg}) (4,18 \text{ Kj/ (Kg }^\circ\text{C)}) (42 - 12 \text{ }^\circ\text{C/día}) = 1689,39 \text{ Kj/Día}$$

3.12. CÁLCULO DEL COLECTOR SOLAR

Se elige un colector de tubos de vacío.

Eficiencia de un colector de tubos de vacío: $\alpha_s = \eta = 0,734$

A) **Cálculo de la Radiación Promedio.** Se obtiene de los valores de radiación en el lugar donde se efectúa la instalación, durante un año en (Kwh/m²/día).

Tabla 7: Valores de radiación mensual promedio FS, para la ciudad de Puno.

Site	Lat	Long	Ele	Yr	I	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Avg	Sr
Abancay	13,63 S	72,88	2398	2	I	5,42	4,89	5,03	4,94	4,72	4,56	4,81	5,11	5,08	5,86	5,97	5,33	5,14	H
Puno	15,83 S	70,03	3875	2	I	5,69	5,22	5,28	5,28	4,97	4,78	5,0	5,61	5,78	6,39	6,61	5,67	5,52	H
PuntadeCotes	17,68 S	71,38	15	2	I	6,67	6,36	6,61	5,19	4,14	3,25	3,0	3,67	3,42	4,58	6,36	6,28	4,96	P
Querococha	9,68S	77,35	3935	1	I	4,33	4,22	4,56	4,83	4,72	4,61	5,0	5,25	5,17	4,67	5,31	4,64	4,78	H
Quillabamba	12,83 S	72,72	1660	2	I	4,44	4,33	4,72	4,25	4,33	4,22	4,44	4,44	4,5	4,89	4,97	4,56	4,51	H
Salcedo	15,32 S	70,02	3852	3	I	5,47	5,11	5,11	5,14	4,83	4,61	4,69	5,28	5,5	6,17	5,36	5,64	5,34	H

Fuente: SENAMHI.

Radiación mensual promedio:

De los valores de radiación mensuales se hace un promedio:

$$H_p = \frac{5,69 + 5,22 + 5,28 + 5,28 + 4,97 + 4,78 + 5,00 + 5,61 + 5,78 + 6,39 + 5,61 + 6,39 + 6,61 + 5,67}{7}$$

7

$$H_p = 5,52 \text{ Kwh/m}^2$$

3.12.1. Cálculo del área de captación solar

A) **El área de captación de la radiación** o irradiación solar está dada por la ecuación:

$$A_{cap} = \frac{E}{H_p \cdot \alpha_s}$$

Donde:



E = energía necesaria para calentar el agua: 1 689,39 Kj/Día

Hp = Irradiación solar HS: 5,52 KwH/m²

$$A_{cap} = \frac{1\,689,39\text{ Kj}}{5,52\text{ (Kw-h/m}^2) \times 0,734\text{ (3600s/h)}} = \frac{1\,689,39}{14\,586,05} = 0,115\text{ m}^2$$

1 Kw-h = 3 600 Kj

$$A_e = \frac{d_e \cdot \pi \cdot L}{2}$$

$$A_t = \frac{0,058 \times 3,14 \times 1,75}{2} = 0,1594\text{ m}^2$$

3.12.2. Cálculo del número de tubos

$$N_t = \frac{A_{cap} \cdot C_s}{A_t}$$

1) Coeficiente de utilización = 1

$$N_t = \frac{0,115 \times 1}{0,1594} = 0,72\text{ tubo.}$$

$$0,1594\text{ m}^2$$

$$N_t = 1\text{ tubo}$$

Se elige el más próximo del mercado: Colector de 8 tubos

Nº colectores: 1

3.12.3. Características de la terma solar.

Número de tubos: 8

Capacidad del termo: 80 litros.

Con un dispositivo de purga o aliviadero de presión.

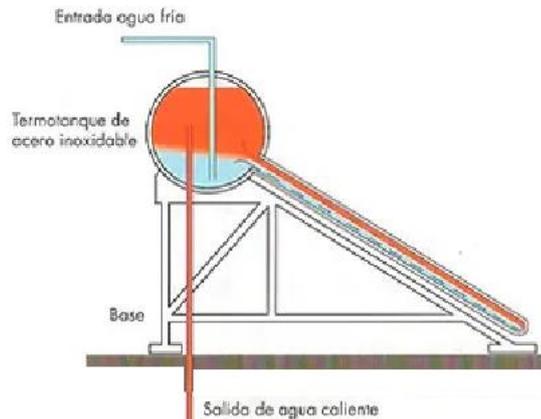


Figura 19: Dimensiones del panel de captación térmico solar
Fuente: JASOLAR.

3.13. DISEÑO DE LA REGULACIÓN O CONTROL

El sistema de control comúnmente se desarrolla con un PLC, que está conectado a sensores de temperatura y de presión, los que comunican al controlador el tiempo que deben hacer actuar el cambio del líquido transportador de calor del piso radiante, abriendo las válvulas de agua caliente y fría y activando el motor de la bomba para que circule un nuevo caudal de agua caliente por las tuberías del suelo radiante y así mantener la temperatura dentro de los márgenes. En el presente trabajo por motivos de estudio se ha instalado sensores de temperatura en la tubería, sobre el piso radiante y en el ambiente del cerramiento, para controlar la transmisión del calor del fluido a la superficie del piso acabado y la temperatura del cerramiento a calentar, por lo que se ha realizado el control manualmente.

La regulación y Control del sistema de piso radiante, se ubica en una caja de control, esta constituye de un tablero de madera, donde se instala un presostato, una llave de paso de agua caliente, una llave de paso de agua fría, el Interruptor termomagnético de encendido y apagado de la bomba de agua.

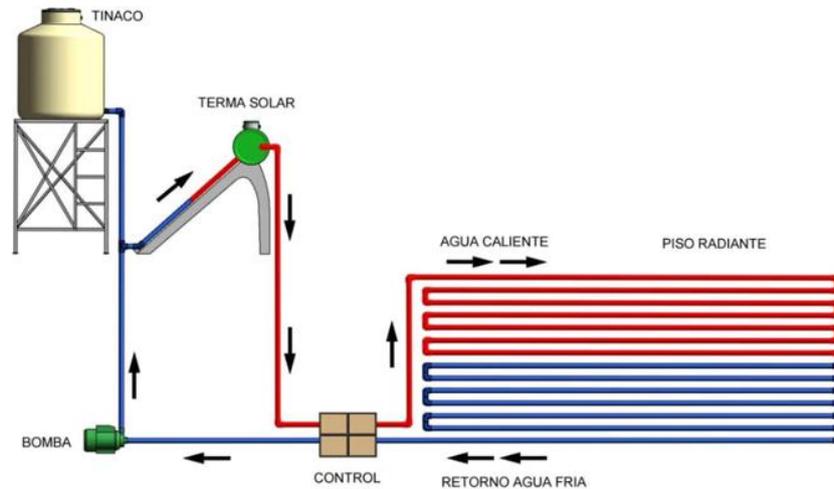


Figura 20: Esquema del sistema de control suelo radiante
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14. PROCESO DE ELABORACIÓN DE MÓDULO DE SUELO RADIANTE

3.14.1. Construcción de la base de módulo

Se optó por usar un material aislante térmico (para disminuir las pérdidas de calor por debajo del módulo) y económico, se usó triplay tipo OSB (Oriented Strand Board) de 15 mm. de espesor, este es un tablero formado por trozos de madera, mezcladas con adhesivos fenólicos y prensados a alta temperatura y presión.



Figura 21: Construcción de la base de módulo.
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14.2. Aislamiento térmico de módulo

Para conseguir un aislamiento térmico máximo y evitar una pérdida de energía térmica por los diferentes lados del módulo y conseguir que la energía térmica producida

por el serpentín de agua se distribuya con mayor eficiencia hacia el suelo radiante, se decidió el material para usar el Poliestireno Expandido o comúnmente conocido como Tecnopor dado que este es un gran aislante térmico y asequible para la población local.



Figura 22: Aislamiento térmico del módulo
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14.3. Segundo aislamiento térmico de módulo

Se eligió poner un segundo aislamiento térmico para conseguir un máximo de eficiencia para el módulo de suelo radiante, el material asignado para el segundo aislamiento fue papel espuma con recubrimiento de aluminio, material diseñado especialmente para evitar el paso de energía térmica.



Figura 23: Instalación del aislamiento térmico del módulo
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14.4. Elaboración del serpentín del módulo

Para la elaboración del serpentín del módulo se eligió un material resistente a agua relativamente a altas temperaturas aproximadamente superiores a 70 grados centígrados y que sea un buen conductor térmico para aprovechar la energía térmica del agua en circulación, el material designado para usar fue una tubería de presión de plástico flexible de alta temperatura comúnmente llamado tubo PEAD (Polietileno de Alta Densidad), caracterizado por su ligereza, su flexibilidad, incluso con temperaturas bajas y su alta resistencia a los impactos, este material cuenta con garantía de pruebas precisas tanto de durabilidad como de rendimiento.



Figura 24: Instalación del serpentín en el módulo
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14.5. Vaciado de concreto tipo mortero

Se hizo un vaciado de concreto (tipo mortero) para cubrir y proteger de agente exteriores al serpentín de tuberías, se usó mortero de cemento un material de construcción obtenido al mezclar arena y agua con cemento, que actúa como conglomerante entre los distintos materiales del módulo de Suelo Radiante.



Figura 25: Colocación del mortero de cemento
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14.6. Instalación de suelo de melamina o laminado

Para cubrir el mortero de cemento se optó por instalar un suelo de melamina o suelo laminado, dado que estas piezas están diseñadas para recubrir el suelo, son similar a la madera, pero relativamente más económicos, fáciles de instalar con una gran resistencia al uso y, sobre todo al desgaste.



Figura 26: Instalación de suelo de melamina o laminado
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14.7. Instalación de un punto de control de caudal para serpentín

Se realizó la instalación de un punto de control de entrada y salida de caudal para el serpentín, este actuaría para regular el caudal del módulo y así mantener la disipación de energía térmica del serpentín de manera uniforme y evitar un caudal turbulento que afectaría la eficiencia del módulo.



Figura 27: instalación de llaves de entrada y salida de agua caliente
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14.8. Instalación de electrobomba

Se instaló una Electrobomba diseñado para bombear líquidos neutros y limpios, sin sólidos, a temperaturas inferiores a 80 grados centígrados con las siguientes características:

- Potencia: 0,37 KW / 0,5 HP
- Voltaje: 220 V
- Amperaje: 1,75 A



Figura 28: Instalación de Electrobomba
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14.9. Instalación de terma solar

Se realizó la instalación de una terma solar para usar la energía solar y convertirla en energía térmica para calentar el agua para posteriormente almacenar el agua caliente en el tanque de agua, para luego trasladar usar este elemento en el serpentín del suelo radiante.



Figura 29: Instalación de Terma Solar
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14.10. Instalación de reservorio de agua

Se instaló un reservorio de agua para mantener en constante suministro de agua a la terma solar, esto con el propósito de mantener una funcionalidad continua del módulo a pesar de no contar con el servicio de agua del sistema público



Figura 30: Tanque de agua
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.14.11. Instalación de un sensor de temperatura en el tanque de agua

Se procedió a instalar un sensor de temperatura en el tanque de agua de la terma solar para tener conocimiento de la temperatura y nivel de agua en el tanque de agua, este sensor posee una precisión de temperatura de ± 2 grados centígrados.



Figura 31: Instalación de un Sensor de Temperatura en el Tanque de Agua
Elaborado por el equipo de trabajo.

3.15. DATOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

En la siguiente tabla se muestra la temperatura máxima, mínima y humedad relativa y absoluta que se dieron en los días que se realizó la recolección de datos en el módulo.

Tabla 8: Datos de temperatura y humedad relativa

FECHA	Temperatura Promedio (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Especifica (g/kg)	Humedad Relativa (%)
7/05/2023	10,68	10,63	-0,05	5,37	65,81
24/05/2023	13,88	13,45	-0,42	4,09	46,12
16/06/2023	15,2	12,06	-3,13	3,11	44,81

Elaborado por el equipo de trabajo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DATOS DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE PISO RADIANTE

El prototipo está ubicado dentro de un cuarto típico de material noble, sin carga de muebles u otros objetos (vacío) de 5x4m, totalmente cerrado.

El prototipo que se diseñó es a una escala de 1/10; y está compuesto de una fuente de energía calorífica, el piso radiante y un tablero de control para su operación y toma de datos.

- Área del pavimento: 2 m².
- Velocidad del aire: 0,20 m/s
- Humedad relativa: 50%
- Temperatura de confort: 20°C

Para el caso de la zona de la región Puno, que tiene un clima de invierno anual por ser sierra.

4.2. CARACTERÍSTICAS DE PISO RADIANTE

El prototipo se realizó sobre un tablero de 2mx1m y está compuesto de una base de aislamiento de Poliestireno Expandido (Tecnopor) donde se coloca la tubería de PEAD, en forma de zigzag, seguidamente se cubre con una malla de alambre para la adhesión del concreto el que cubre completamente a la tubería y finalmente se coloca el acabado de laminado. Los terminales de entrada y salida de agua caliente que están conectados a la fuente de energía calorífica que es una terma solar, y es también donde se ubican en un tablero de control con unas llaves de paso, un control de presión y un

interruptor térmico magnético para el encendido y apagado de la bomba, como se ve en el esquema siguiente:

4.3. ESQUEMA DE INSTALACIÓN

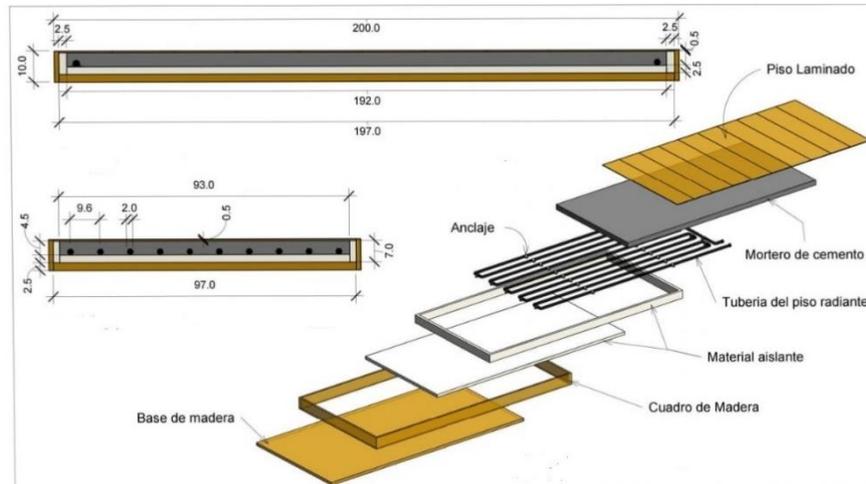


Figura 32: Esquema de instalación del piso radiante
Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 9: Características del suelo radiante.

<u>Componente</u>	<u>Diámetro nominal</u>	<u>Espesor</u>	<u>Conductividad</u>
Tubo flexible PEAD	18 mm.	e: 4 mm	λ : 0,35 w/m°K
Grosor de Mortero		e: 45 mm	λ : 0,9 w/m°K
Material aislante		e: 25 mm	λ : 0,031 w/m°K
<u>Suelo (laminado)</u>		e: 5 mm	λ : 0,22 w/m°K

Elaborado por el equipo de trabajo.

Espesor del de suelo radiante:75 mm (7,5 cm)

4.4. TIPO DE DISTRIBUCIÓN

Tipo zigzag:

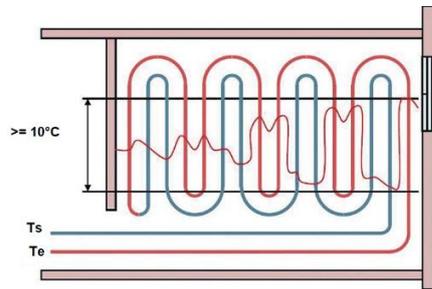


Figura 33: Distribución en zigzag del suelo radiante
Fuente: Mundo HVAC&R.

- Espacio de salto: 10 cm.
- Longitud del circuito: 20 m
- Longitud de Tubería de PEAD de conexión al tablero: 6m.

4.5. TEMPERATURAS DE DISEÑO

- Temperatura del medio ambiente del aire seco (T_a): 12°C,
- Temperatura radiante media del cerramiento (T_{rm}): 12°C
- Temperatura operativa: $T_o = 12^\circ\text{C}$
- Temperatura interior de diseño del local (T_i): 20°C
- Temperatura media superficial del pavimento (T_{ms}): 28°C
- Temperatura del agua en las tuberías (T_{ma}): 42,0 °C
- Temperatura de impulsión (T_{imp}): 44,5 °C
- Temperatura de retorno $T_{ret} = 39,5^\circ\text{C}$

4.6. ENERGÍA DEL FLUJO CALORÍFICO (Q)

- Coeficiente de transmisión h por convección. Madera a aire: 12 W/m²×°K.
- Volumen de agua: 0,013 m³ = 13,0 litros



- Energía requerida: $Q = 192 \text{ w}$
- Salto térmico del agua: 5°

4.7. FUENTE DE ENERGÍA

- Panel solar de 5 tubos térmicos
- Capacidad de 50 lts

4.8. RESULTADOS

Para las mediciones se instalaron instrumentos de medición de temperatura en el prototipo ubicados en el tanque de la terma, en la tubería de entrada del piso radiante, en la superficie del pavimento del piso radiante y en el ambiente.

Los datos se obtuvieron en un intervalo de 15 minutos, 30 minutos y 1 hora para analizar el comportamiento térmico del piso radiante y la capacidad de aumentar la temperatura del ambiente del piso radiante.

Con estas mediciones se obtuvieron los siguientes resultados. Temperatura media y reales del prototipo.

Tabla 10: Cuadro comparativo de valores de diseño y valores reales

Temperaturas ($^\circ\text{C}$)	Ta	Ti	Tms	Tma
Diseño	12	20	28	42
Real	12	18	26,1	36,1

Elaborado por el equipo de trabajo.

4.9. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS

Para alcanzar los objetivos del diseño del piso radiante es necesario climatizar un ambiente, al analizar el diseño se obtienen los resultados del rendimiento que se muestran en las siguientes gráficas lineales.

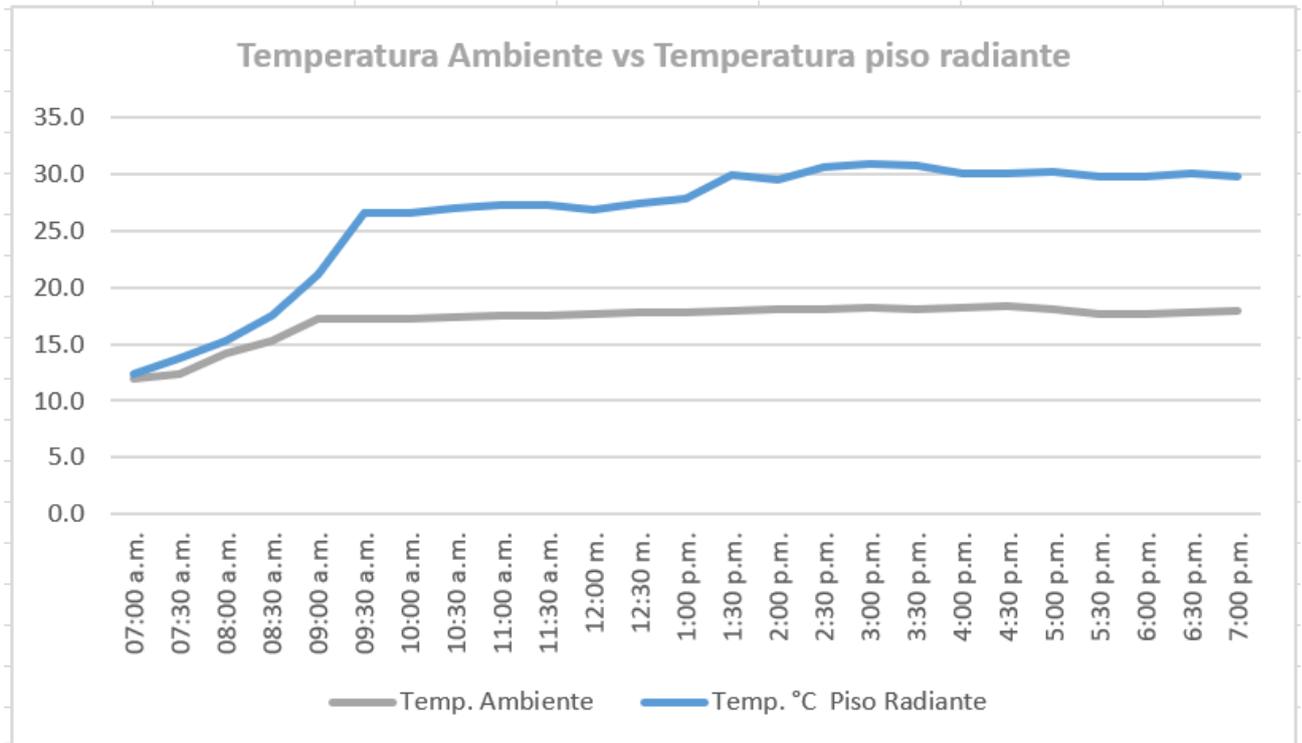


Figura 34: Gráfico de comparación de temperatura del ambiente con temperatura piso radiante.

Elaborado por el equipo de trabajo.

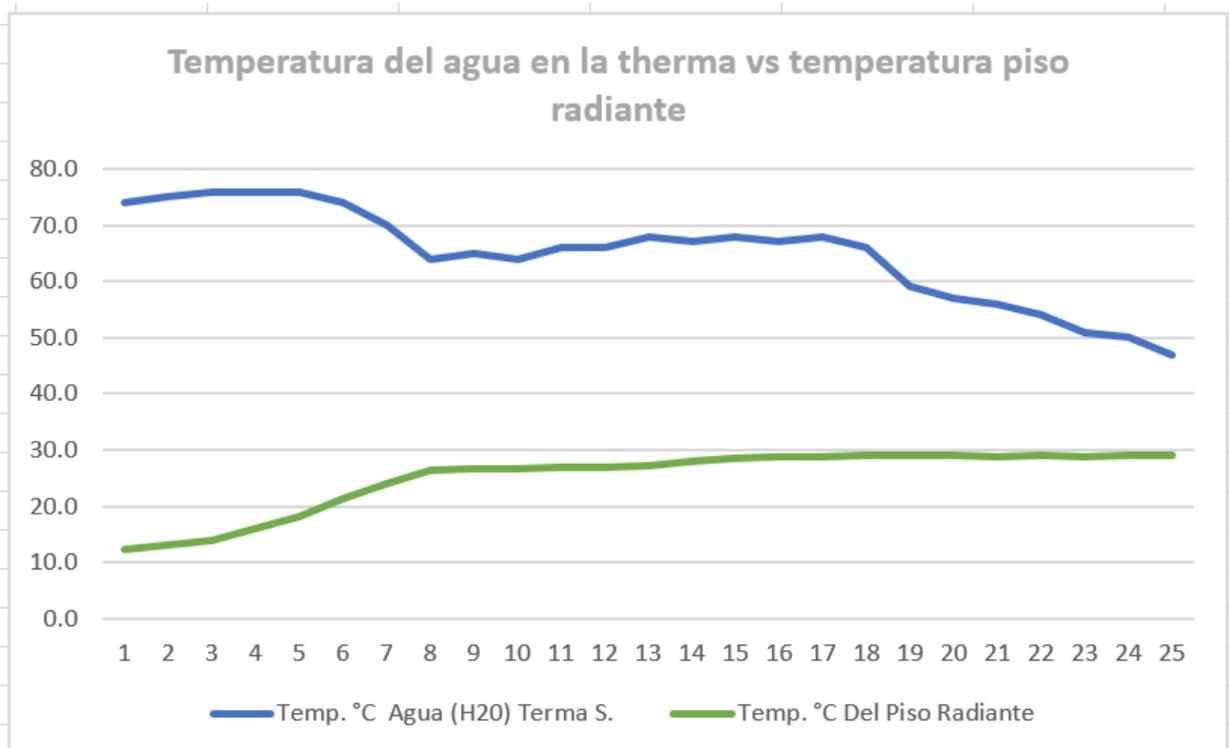


Figura 35: Comparación temperatura de la therma con temperatura piso radiante.

Elaborado por el equipo de trabajo.

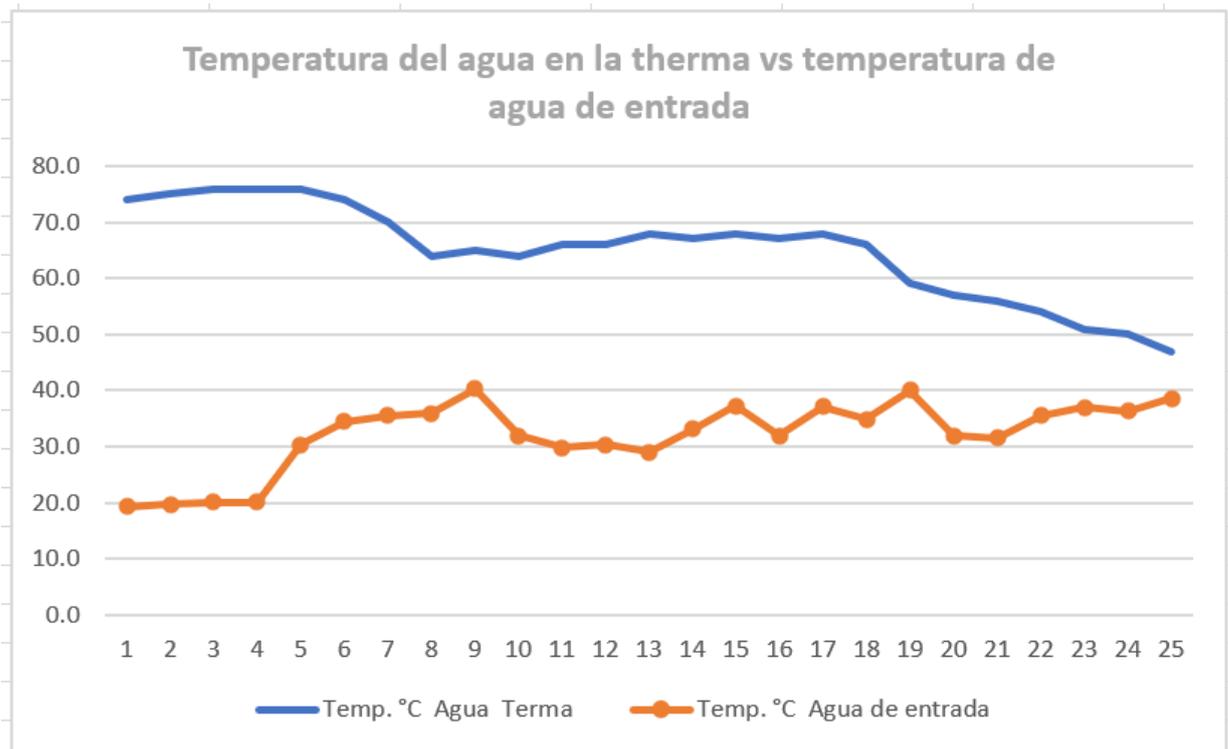


Figura 36: Comparación temperatura de therma con la temperatura del agua de entrada.
Elaborado por el equipo de trabajo.

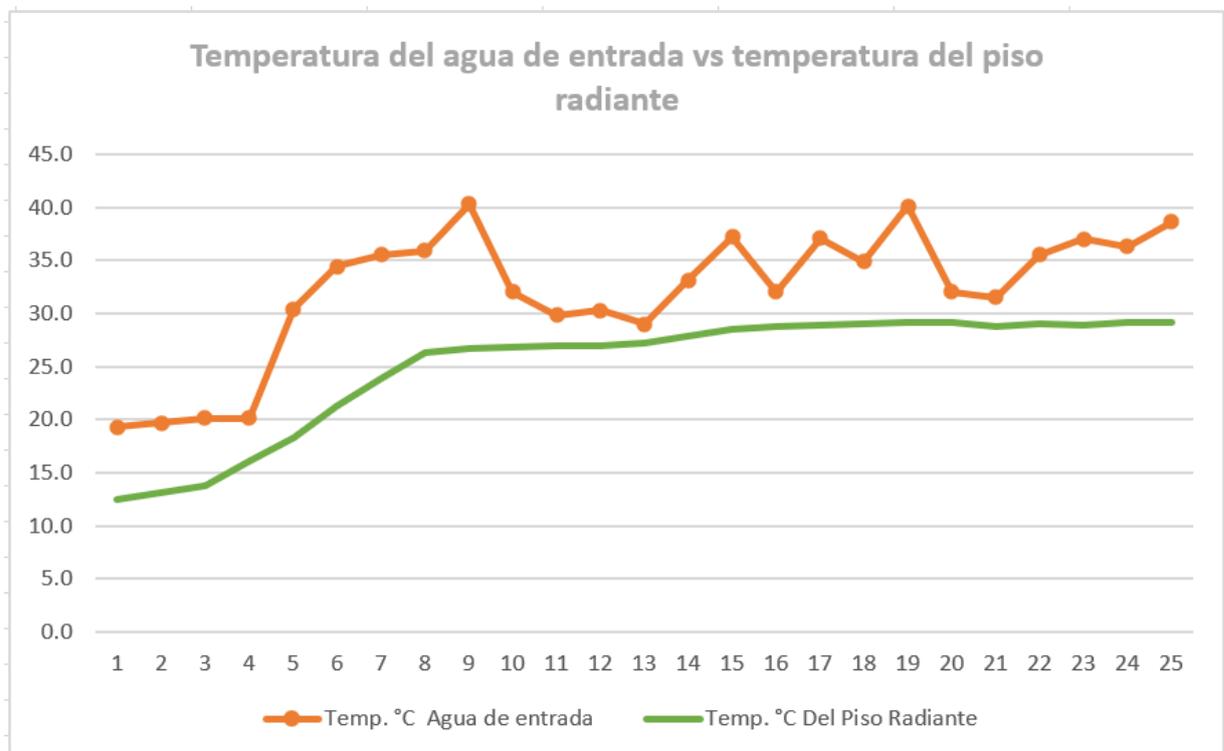


Figura 37: Comparación de temperatura del ambiente con temperatura del piso radiante.
Elaborado por el equipo de trabajo.

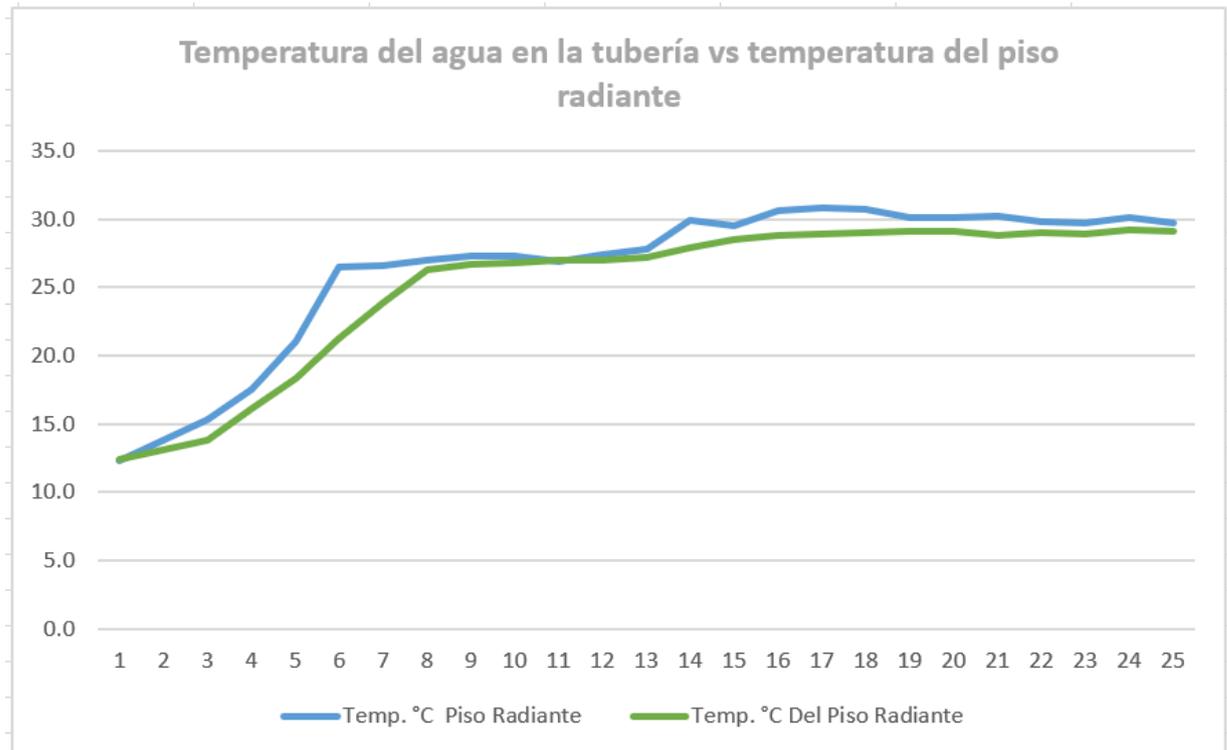


Figura 38: Comparación de temperatura en la tubería con temperatura del piso radiante.
Elaborado por el equipo de trabajo.



4.10. COSTOS Y PRESUPUESTOS PARA ELABORACION DE MODULO

Los mencionados costos de los materiales y equipos utilizados en el módulo de suelo radiante están dados según los precios actuales del año en curso, los cuales se detallan a continuación.

N°	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
1	Terma solar (8 tubos)	unidad	1	S/ 1,400.00	S/ 1,400.00
2	Tablero de madera oriented standard board (1.22 x 2.44 x 15 mm)	unidad	1	S/ 145.00	S/ 145.00
3	Sensor de temperatura para terma	unidad	1	S/ 80.00	S/ 80.00
4	Poliestireno expandido (1m ² x 25mm)	unidad	1	S/ 14.00	S/ 14.00
5	Tubo polietileno de alta densidad - PEAD (100m x 18mm)	unidad	1	S/ 70.00	S/ 70.00
6	Piso laminado (2m ² x 5mm)	unidad	1	S/ 70.00	S/ 70.00
7	Electrobomba ½ Hp	unidad	1	S/ 150.00	S/ 150.00
8	Tubería de agua caliente ½ In	unidad	5	S/ 36.00	S/ 180.00
9	Mortero	unidad	1	S/ 30.00	S/ 30.00
10	Tuberías tipo codo de pvc ½ In	unidad	36	S/ 0.83	S/ 29.88
11	Cinta teflón	unidad	20	S/ 0.62	S/ 12.40
12	Unión universal ½ In	unidad	6	S/ 3.00	S/ 18.00
13	Codo polietileno de alta densidad - PEAD ½ In	unidad	12	S/ 1.00	S/ 12.00
14	Manómetro de presión 0 a 6 BAR	unidad	1	S/ 25.00	S/ 25.00
15	Llave de paso	unidad	6	S/ 6.00	S/ 36.00
16	Termómetros para medición	unidad	2	S/ 90.00	S/ 180.00
17	Malla de acero	m ²	2	S/ 6.00	S/ 12.00
18	Pliego de aluminio	m ²	2	S/ 15.00	S/ 30.00
19	Tanque de agua (1100L)	unidad	1	S/ 600.00	S/ 600.00
20	Anclajes o abrazaderas de ½ In	docena	4	S/ 6.00	S/ 24.00
21	Otros	gbl	2	S/ 150.00	S/ 300.00
				Total	S/ 3418.28



4.11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA ELABORACIÓN DE LA TESIS

Se menciona el cronograma de las principales actividades realizadas durante el proceso de elaboración de tesis.

Actividades	Abr-23				May-23				Jun-23				Jul-23			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recolección de información, antecedentes y referencias.																
Planteamiento de problema.																
Diseño de módulo (Suelo radiante).																
Cotización y adquisición de materiales para la elaboración de módulo.																
Construcción de módulo (Suelo radiante).																
Recolección de datos.																
Análisis de resultados.																
Elaboración de conclusiones.																
Elaboración de borrador de tesis.																
Entrega de borrador de tesis.																



V. CONCLUSIONES

Primero. Se logró diseñar un sistema de calefacción para ambientes empleando un suelo radiante alimentado con energía solar, teniendo como muestra un prototipo.

Segundo. Se obtuvo mediante una terma solar, la energía necesaria para alimentar con agua caliente al circuito del suelo radiante que logró mantener una temperatura media de $18,3^{\circ}\text{C}$, dentro del ambiente, donde se probó el módulo, en un periodo desde las 7:00 horas a.m. hasta las 18:00 horas p.m. temperaturas medias en el piso radiante de $29,3^{\circ}\text{C}$, en la tubería de 41°C y en la terma de hasta 76°C , considerando que la temperatura externa ambiente está entre los $10,6^{\circ}\text{C}$ en cielo nublado y los $13,9^{\circ}\text{C}$ a pleno sol.

Tercero. Se logró utilizar materiales, que son alcanzables en la región, para realizar el proyecto de piso radiante en viviendas de la ciudad de Puno, por lo que los resultados obtenidos, son válidos para continuar con próximos trabajos similares.



VI. RECOMENDACIONES

Primero. Este proyecto de un sistema de calefacción se realizó utilizando energía solar, por ende, se recomienda realizar estudios de proyectos teóricos - experimentales para determinar que este sistema de calefacción podría realizarse con otros tipos de energías renovables a disposición del lugar.

Segundo. Realizar construcción del módulo de suelo radiante reduciendo costos, pero aumentando o igualando la eficiencia del módulo actual.

Tercero. Promover el uso la idea principal del proyecto de suelo radiante por energía solar y aplicar este proyecto en diferentes tipos de construcciones de la ciudad de Puno como son: edificios, viviendas, colegios, etc.

Cuarto. Realizar experimentos con diferentes materiales, pero usando el mismo principio de este proyecto y así mejorar o igualar la eficiencia del módulo actual.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Propiedades (2023) Propiedades de Materiales. <https://material-properties.org/es/cloruro-de-polivinilo-densidad-resistencia-punto-de-fusion-conductividad-termica/>

Mundohvac&r (2023). mundohvacr.com.mx.

Calefacción por suelo radiante (2023) criterios de diseño y cálculo.

mundohvacr.com.mx.

Aisoutnovation (2023) Características de tuberías.

<https://aisoutnovation.com/caracteristicas-de-las-tuberias-pex/cte> (2023)

propiedades de materiales. <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=6>

Pixabay (2023) Terma solar. <https://pixabay.com/es/photos/calentador-de-agua-solar-solar-agua-331316/>

Electrotoc (2023) Colectores de una terma. <https://electrotec.pe/blog/termasolar>

Istock (2023) Tanque de almacenamiento.

<https://www.istockphoto.com/es/search/2/image?phrase=tanque%20termico>

Istok (2023) Tuberías del sistema.

<https://www.istockphoto.com/es/search/2/image?family=creative&phrase=suelo%20termico>

Rotoplas (2023) Electrobomba. www.rotoplas.com.pe/bomba-periferica-de-1-2-hp/p

Electrotec (2023) Marco de una electrobomba no sumergible.

<https://electrotec.pe/blog/BombasPerifericasYCentrifugas>

Inoxmin (2023) Orificios e entrada y salida del líquido. <https://www.inoxmim.com/wp-content/uploads/2018/12/inoxmim2-600x600.jpg>



Mercado libre (2023) Impulsor de una electrobomba de ½ HP.

https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-671277161-impulsor-para-bomba-periferica-12hp-orange-pumps-op-2001-_JM#position=4&search_layout=grid&type=item&tracking_id=227ce6b0-9b96-4328-90d3-e13f23855deb

Rentamax (2023) Sello de Impulsor. <https://rentamaxcr.com/1910-empaque-check-succion-bomba-de-agua-caudal-2-rentamaxcrcom.html>

Pngegg (2023) Eje y Rotor de la Electrobomba.

<https://e7.pngegg.com/pngimages/427/462/png-clipart-induction-motor-squirrel-cage-rotor-electromagnetic-coil-shaded-pole-motor-moteur-asynchrone-cage-auto-part-thumbnail.png>

Pixabay (2023) Cojinete o Rodamiento. <https://pixabay.com/es/photos/rodamiento-de-bolas-cojinete-513462/>

Made in China (2023) Panel de Control. https://es.made-in-china.com/co_chziri/product_Control-Panel-with-HMI-to-Control-Multi-Motors-and-Pumps_rugeeuong.html

Truper expert (2023) Vista interna de un motor y la carcasa del impulsor.

<https://www.truper.com/bomba-electrica-periferica-para-agua-1-2-hp-truper-expert.html>

Rotoplas (2023) Vista interna de un motor y la carcasa del impulsor.

<https://www.rotoplas.com.pe/tanque-agua-garantia-vida-750-litros-instalacion-full/p>



Electricasas (2023) Funcionamiento básico de una terma solar.

<https://www.electricasas.com/calentador-solar-de-agua/>

Actitud Ecologica (2023) Tipos de instalación de serpentín.

<https://actitudecologica.com/climatizacion/suelo-radiante/>

Características del suelo radiante. (2023). ¹ (*)Tabla de coeficientes de conductividad

térmica de materiales, fórmulas (techinfus.com)

ANEXOS

ANEXO A. Toma de datos

Tabla 11: Recopilación de datos Abril - 2023

Hora	Temperatura de Agua	Temperatura Ambiente	Temperatura Suelo Radiante
07:00 a.m.	40,0	16,8	25,8
08:00 a.m.	45,0	17,9	26,9
09:00 a.m.	52,0	18,9	28,5
10:00 a.m.	58,0	19,7	29,1
11:00 a.m.	58,0	20,3	29,1
12:00 m.	55,0	21,3	31,8
1:00 p.m.	53,0	21,9	32,0
2:00 p.m.	45,0	23,9	28,7
3:00 p.m.,	41,0	25,8	29,9
4:00 p.m.	38,0	26,3	28,1
5:00 p.m.	35,0	26,1	27,3
6:00 p.m.	31,0	25,9	25,9
7:00 p.m.	26,0	25,4	23,1

Elaborado por el equipo de trabajo.

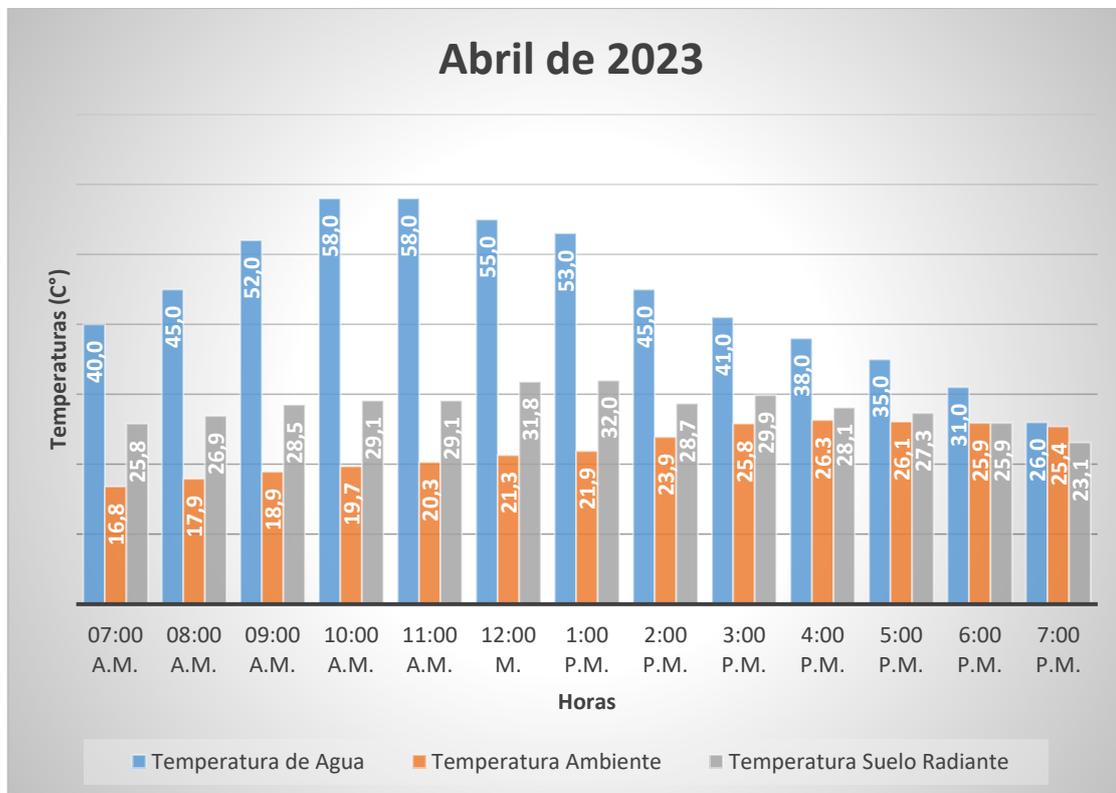


Figura 39: Gráfico de datos del abril 2023

Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 12: Recopilación de datos Mayo - 2023

Hora	Temperatura de Agua	Temperatura Ambiente	Temperatura Suelo Radiante
07:00 a.m.	74,0	12,0	12,4
08:00 a.m.	76,0	14,2	13,8
09:00 a.m.	76,0	17,2	18,3
10:00 a.m.	70,0	17,3	23,9
11:00 a.m.	65,0	17,5	26,7
12:00 m.	66,0	17,6	27,0
1:00 p.m.	68,0	17,8	27,2
2:00 p.m.	68,0	18,1	28,5
3:00 p.m.	68,0	18,2	28,9
4:00 p.m.	59,0	18,2	29,1
5:00 p.m.	56,0	18,1	28,8
6:00 p.m.	51,0	17,7	28,9
7:00 p.m.	47,0	17,9	29,1

Elaborado por el equipo de trabajo.

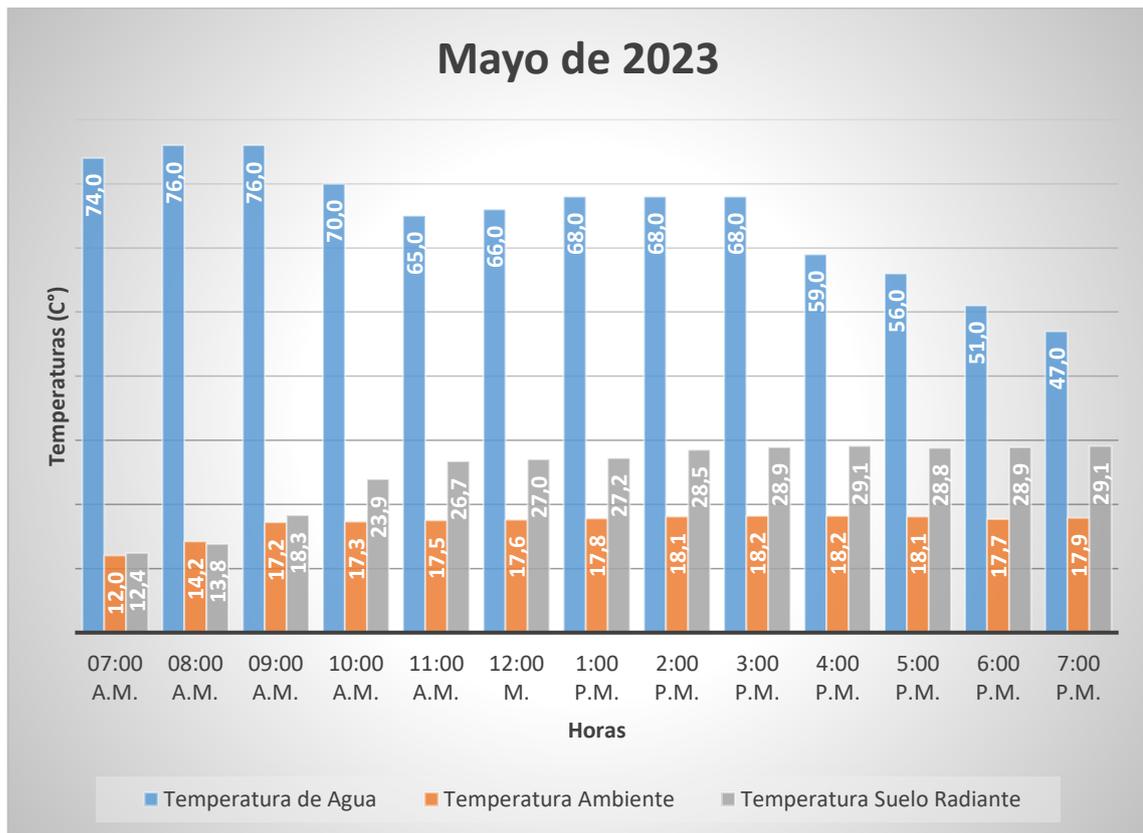


Figura 40: Gráfico de datos del mayo 2023

Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 13: Recopilación de datos Junio - 2023

Hora	Temperatura de Agua	Temperatura Ambiente	Temperatura Suelo Radiante
07:00 a.m.	74,0	11,8	12,4
08:00 a.m.	76,0	12,4	13,8
09:00 a.m.	76,0	13,1	18,3
10:00 a.m.	70,0	17,3	23,9
11:00 a.m.	65,0	17,5	25,1
12:00 m.	66,0	18,2	25,5
1:00 p.m.	68,0	17,9	25,7
2:00 p.m.	68,0	18,1	25,1
3:00 p.m.	68,0	18,2	26,7
4:00 p.m.	59,0	18,2	29,1
5:00 p.m.	56,0	18,1	28,8
6:00 p.m.	51,0	17,7	28,9
7:00 p.m.	47,0	17,9	29,1

Elaborado por el equipo de trabajo.

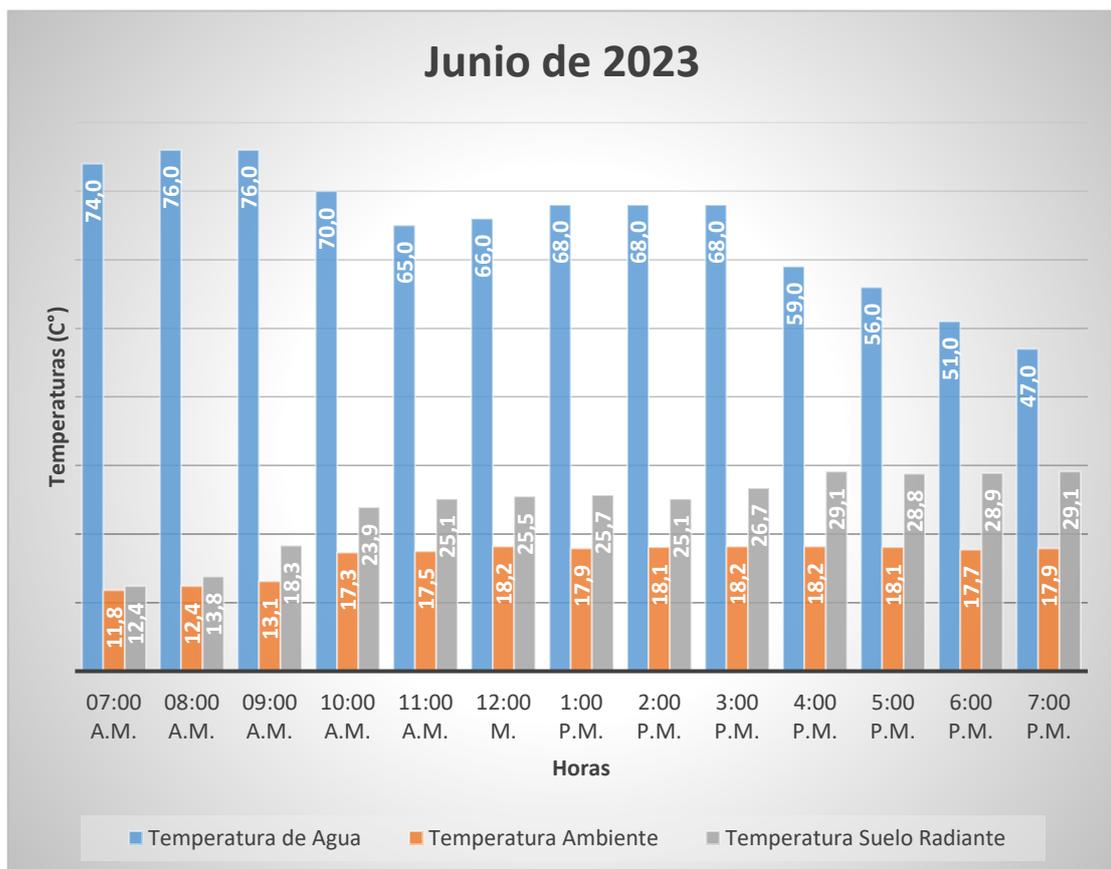


Figura 41: Gráfico de datos del junio 2023

Elaborado por el equipo de trabajo.

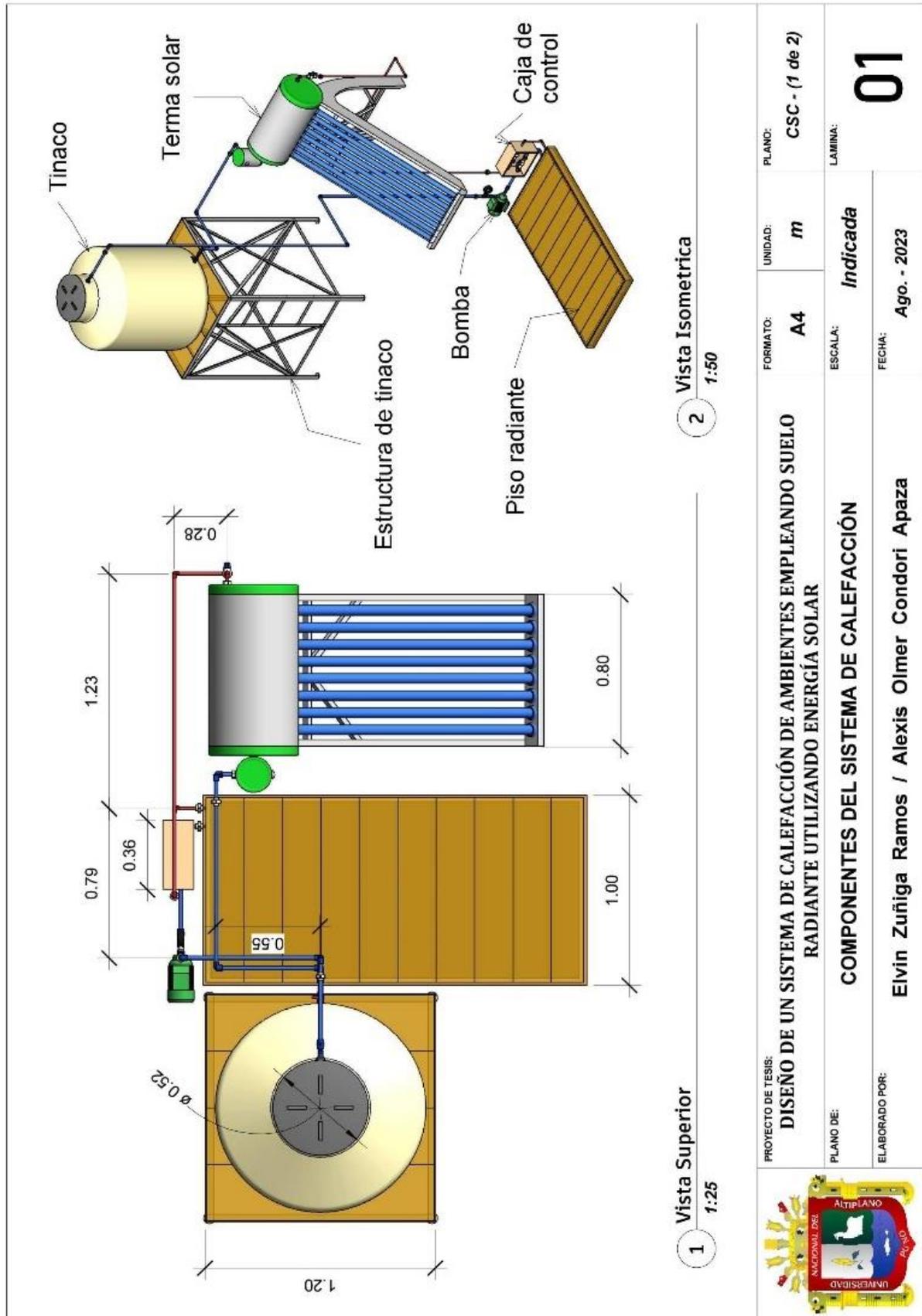


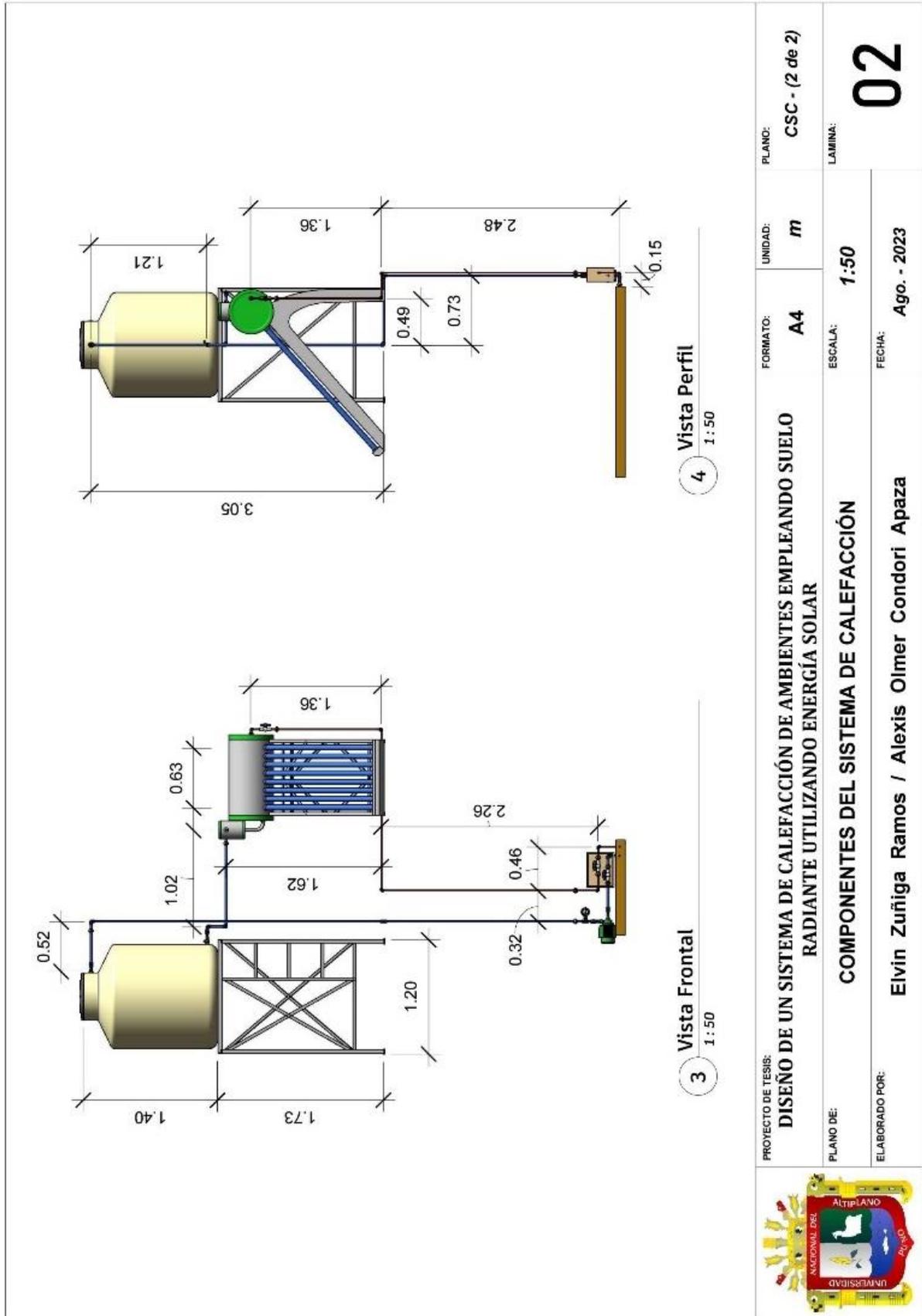
Figura 42: Componentes del módulo de suelo radiante.
Fuente: Elaboración propia

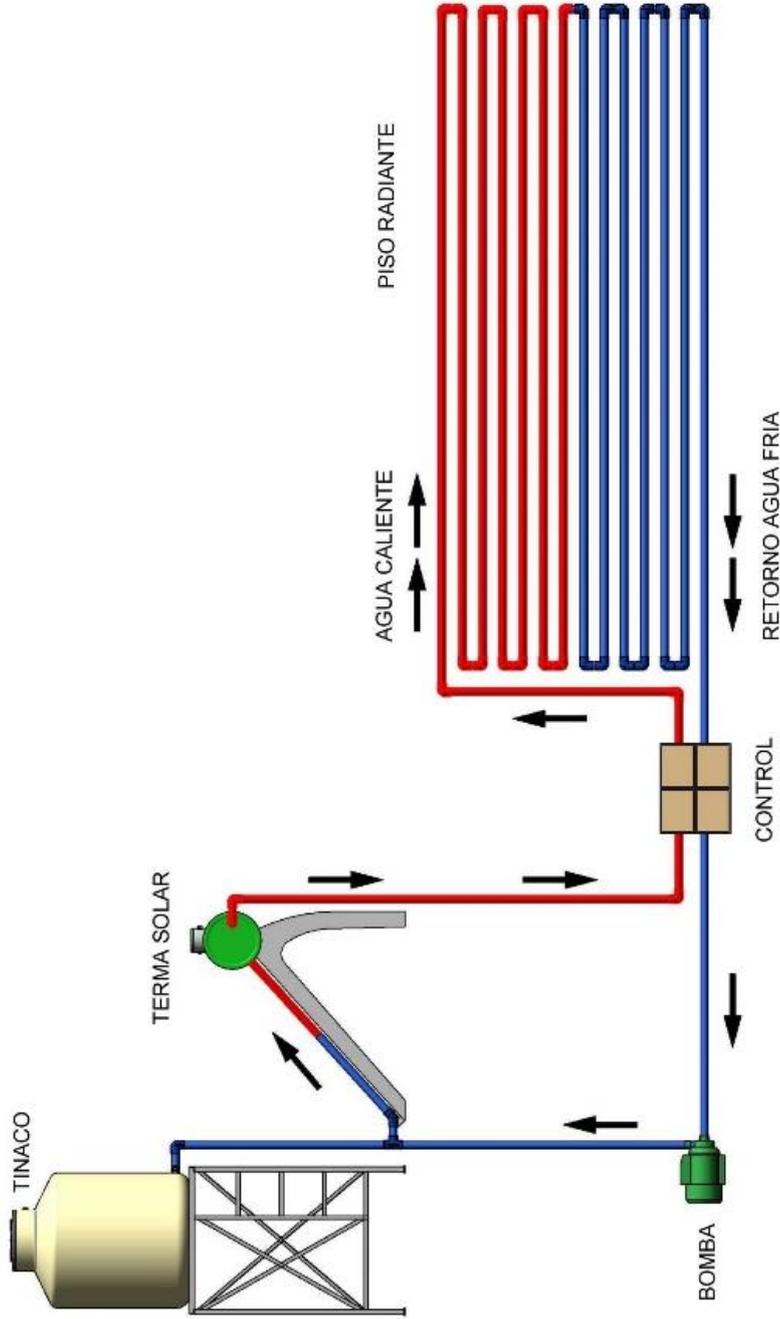


Figura 43: Instrumentos de medición
Fuente: Elaboración propia

ANEXO B. Planos

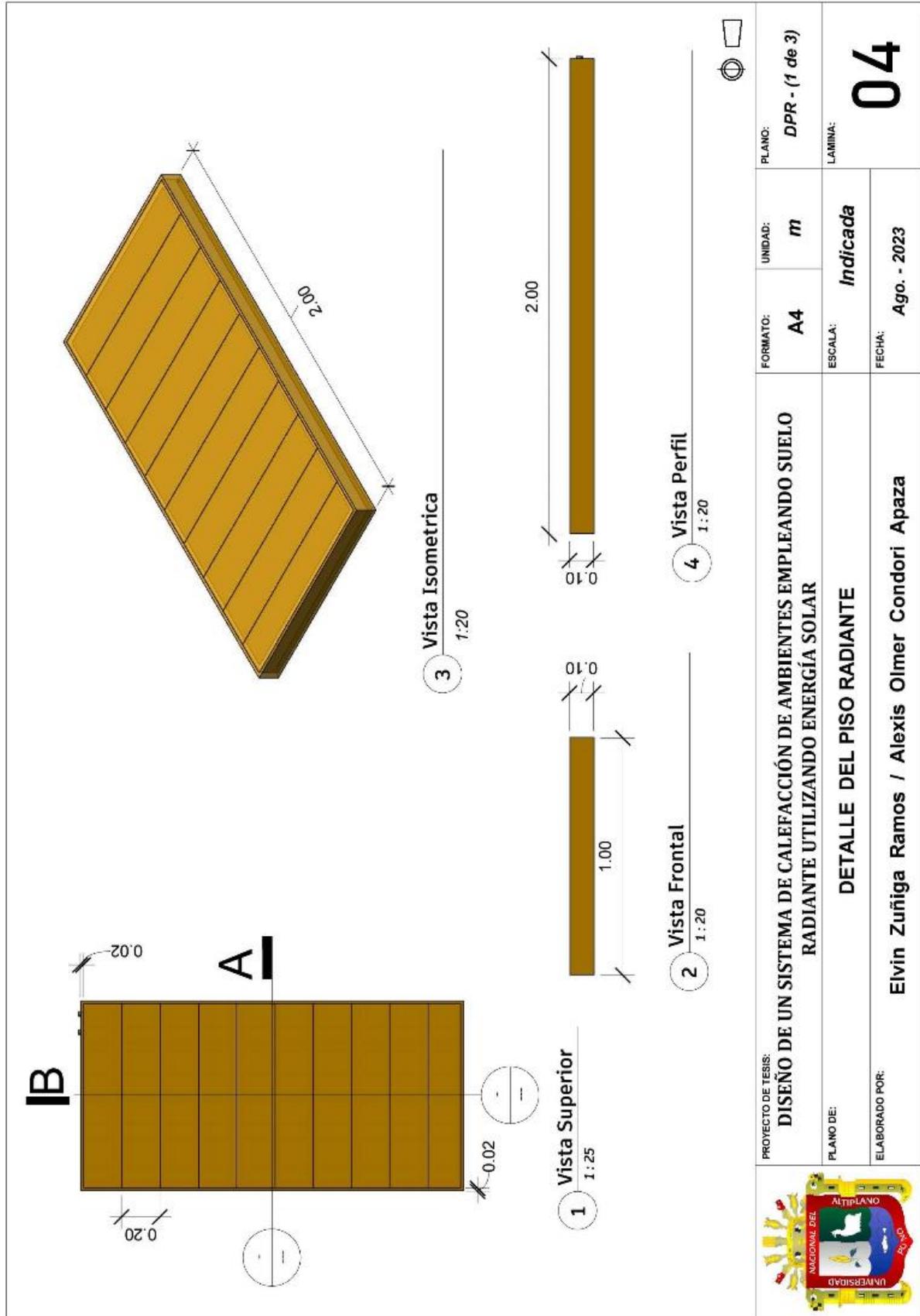






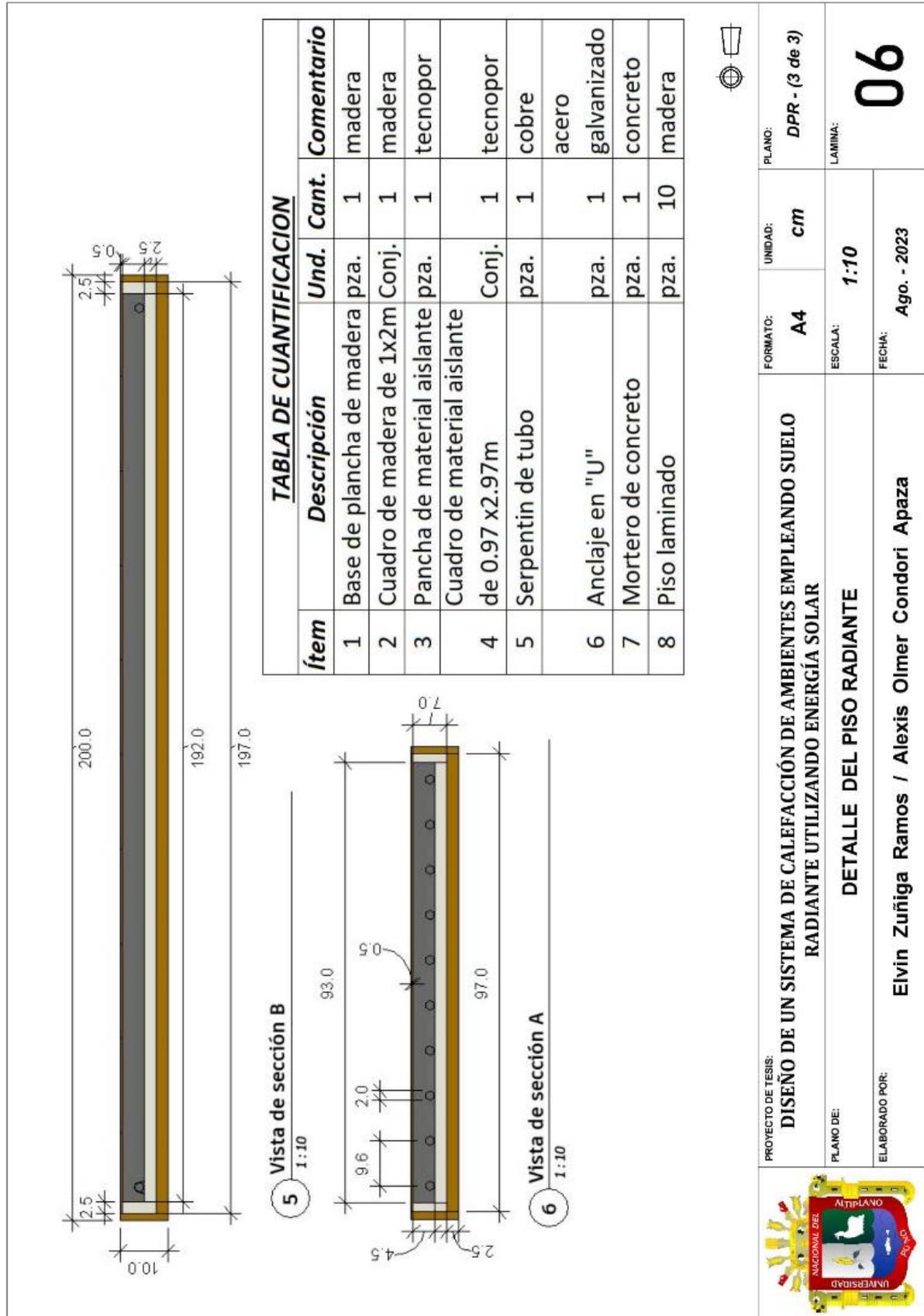
1 Esquema
1 : 50

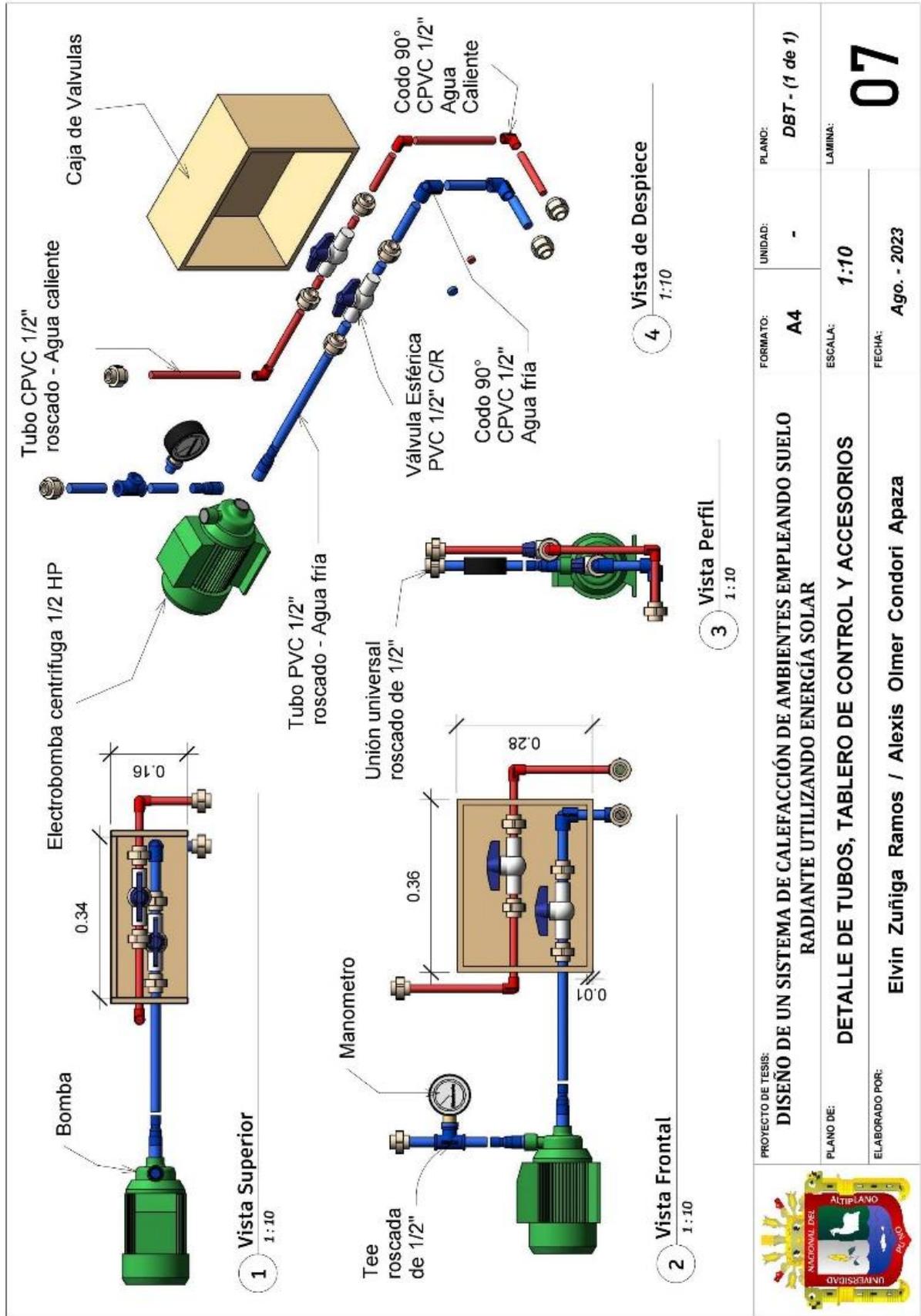
	PROYECTO DE TESIS: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AMBIENTES EMPLEANDO SUELO RADIANTE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR	FORMATO: A4	UNIDAD: -	PLANO: El - (1 de 1)
	PLANO DE: ESQUEMA DE INSTALACION DE PISO RADIANTE	ESCALA: 1:50	FECHA: Ago. - 2023	LAMINA: 03
ELABORADO POR: Elvin Zuñiga Ramos / Alexis Olmer Condori Apaza				



7 Despiece 1:25

PROYECTO DE TESIS: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AMBIENTES EMPLEANDO SUELO RADIANTE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR	FORMATO: A4	UNIDAD: -	PLANO: DPR - (2 de 3)
PLANO DE: DETALLE DEL PISO RADIANTE	ESCALA: Indicada	LAMINA: 05	
ELABORADO POR: Elvin Zuñiga Ramos / Alexis Olmer Condori Apaza		FECHA: Ago. - 2023	





PROYECTO DE TESIS:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AMBIENTES EMPLEANDO SUELO RADIANTE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR

PLANO DE:
DETALLE DE TUBOS, TABLERO DE CONTROL Y ACCESORIOS

ELABORADO POR:
Elvin Zuñiga Ramos / Alexis Olmer Condori Apaza

FORMATO:
A4

ESCALA:
1:10

FECHA:
Ago. - 2023

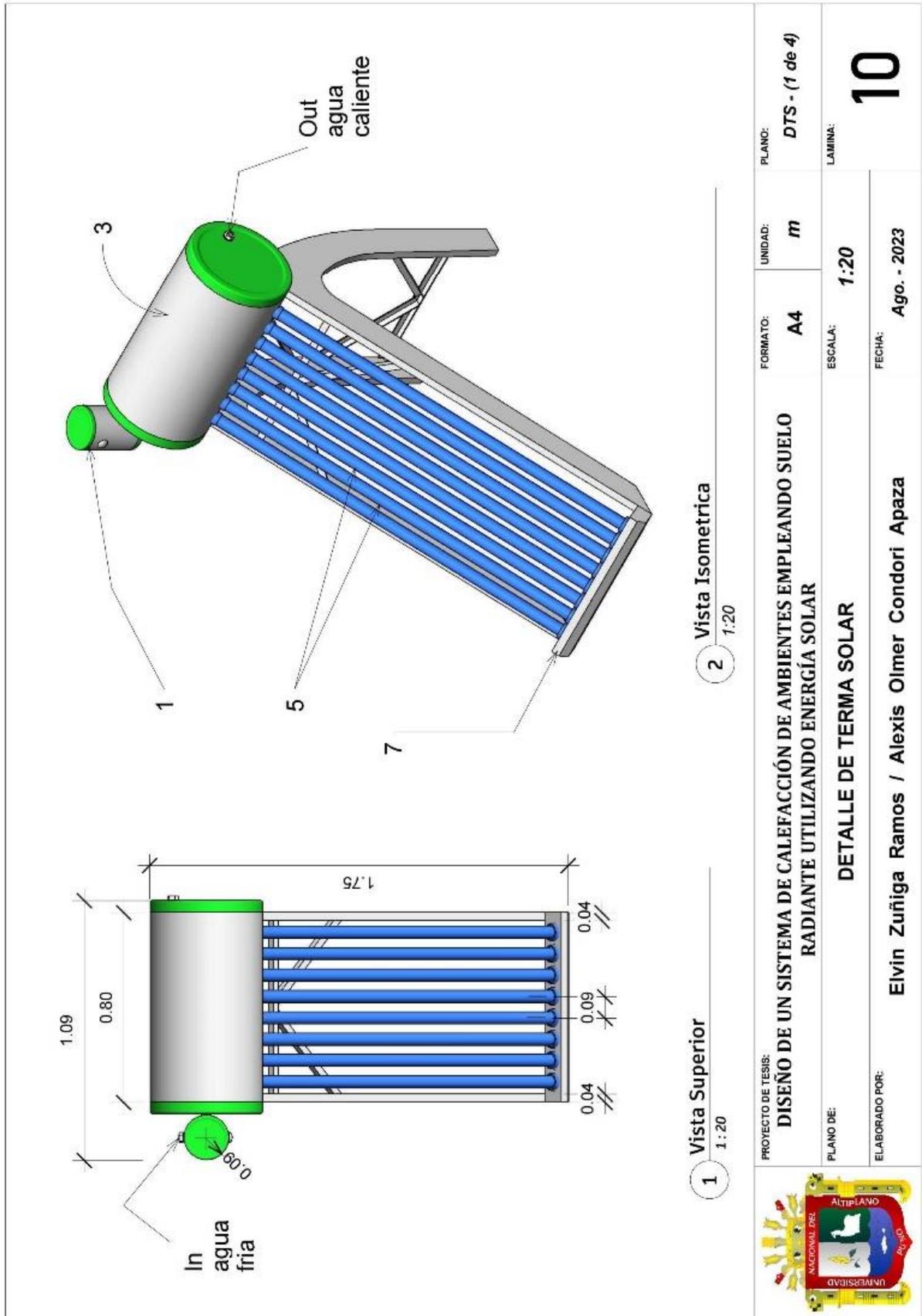
UNIDAD:
-

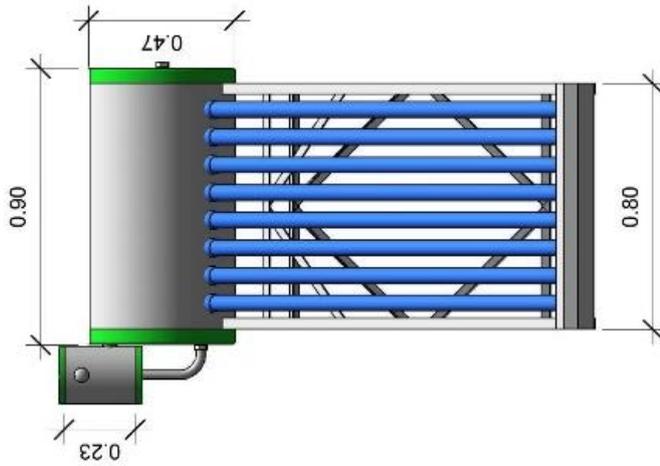
PLANO:
DBT - (1 de 1)

LAMINA:
07

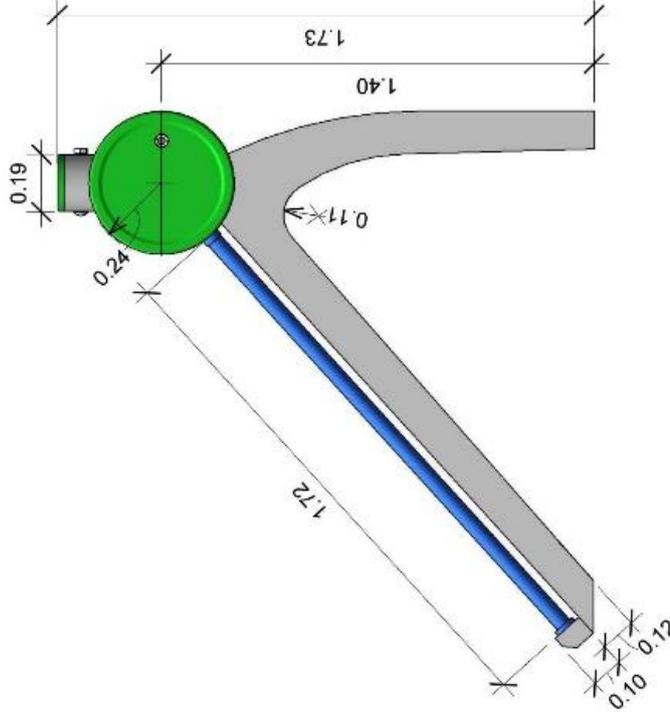
4 Despiece

PROYECTO DE TESIS: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AMBIENTES EMPLEANDO SUELO RADIANTE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR	FORMATO: A4	UNIDAD: -	PLANO: DB (1 de 2)
PLANO DE: DETALLE DE BOMBA	ESCALA: 1:2	LAMINA: 08	
ELABORADO POR: Elvin Zuñiga Ramos / Alexis Olmer Condori Apaza			





3 Vista Frontal
1:20



4 Vista Perfil
1:20



PROYECTO DE TESIS:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AMBIENTES EMPLEANDO SUELO
RADIANTE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR**

PLANO DE:

DETALLE DE TERMA SOLAR

ELABORADO POR:

Elvin Zuñiga Ramos / Alexis Olmer Condori Apaza

FORMATO:

A4

UNIDAD:

m

PLANO:

DTS - (2 de 4)

ESCALA:

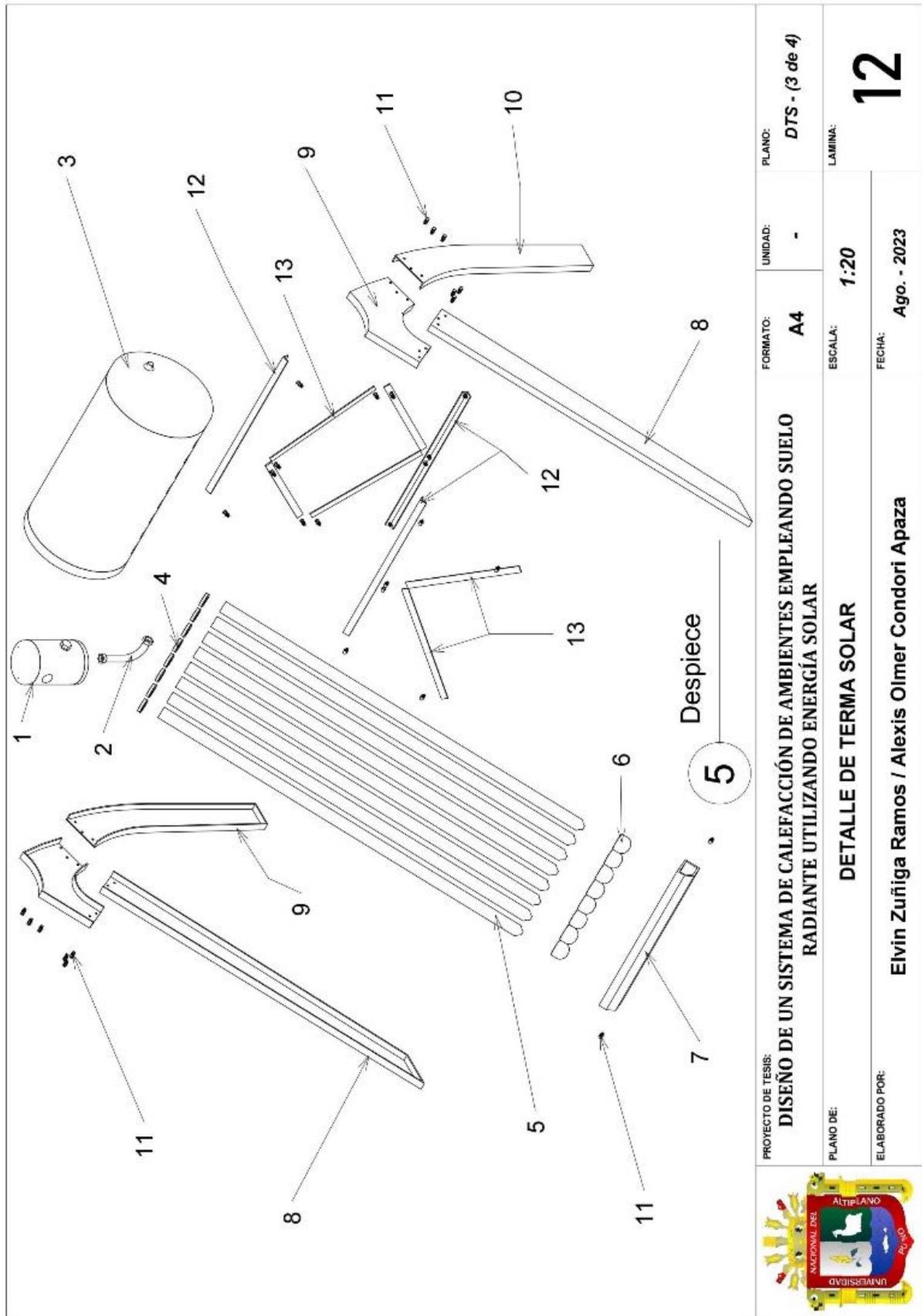
1:20

LAMINA:

11

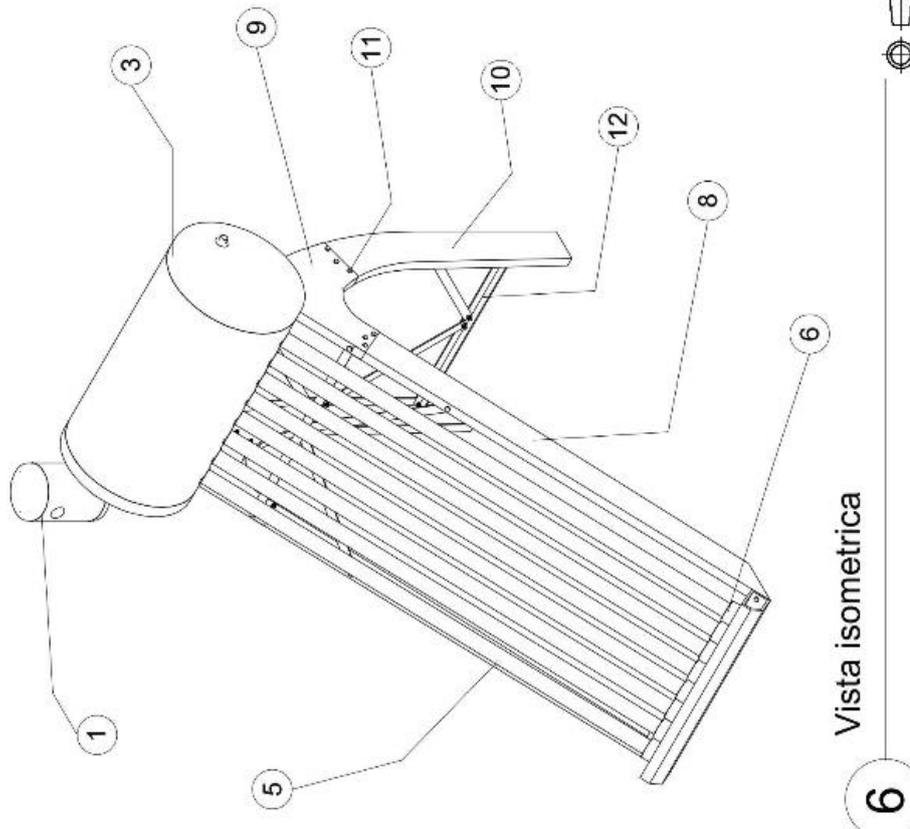
FECHA:

Ago. - 2023



	PROYECTO DE TESIS: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AMBIENTES EMPLEANDO SUELO RADIANTE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR	FORMATO: A4	UNIDAD: -	PLANO: DTS - (3 de 4)
	PLANO DE: DETALLE DE TERMA SOLAR	ESCALA: 1:20	LAMINA: 12	
ELABORADO POR: Elvin Zurñiga Ramos / Alexis Olmer Condori Apaza		FECHA: Ago. - 2023		

TABLA DE CUANTIFICACION				
Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Comentario
1	Tanque auxiliar de control	Pza.	1	acero inoxidable
2	Tubo de abasto metalico	Pza.	1	Acero Inoxidable
3	Termo tanque de almacenamiento	Pza.	1	acero inoxidable
4	Anillo anti-polvo	Pza.	8	NBR Caucho Nitrilico
5	Tubo al vacio solar	Pza.	8	vidrio de borosilicato
6	Base de pie de tubo al vacio	Pza.	8	PVC
7	soporte de tubos al vacio	Pza.	1	Acero galvanizado
8	Barra inclinada lateral	Pza.	2	Acero galvanizado
9	Soporte base de termo tanque	Pza.	2	Acero galvanizado
10	Barra curvo trazara	Pza.	2	Acero galvanizado
11	perno con tuerca de 10x50mm	Pza.	32	Acero galvanizado
12	Angulo estructural de 20x20x2mm	Pza.	3	Acero galvanizado
13	Platina de 20x2mm	Pza.	6	Acero galvanizado



6

Vista isometrica

PROYECTO DE TESIS: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AMBIENTES EMPLEANDO SUELO RADIANTE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR	FORMATO: A4	UNIDAD: -	PLANO: DTS - (4 de 4)
PLANO DE: DETALLE DE TERMA SOLAR	ESCALA: 1:20	LAMINA: 13	
ELABORADO POR: Elvin Zuñiga Ramos / Alexis Olmer Condori Apaza	FECHA: Ago. - 2023		



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo **Elvin Zuñiga Ramos**, identificado con DNI: 72252155 y **Alexis Olmer Condori Apaza**, identificado con el DNI:70201092, mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, **Programa de Segunda Especialidad**, **Programa de Maestría o Doctorado**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación** denominada:
“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AMBIENTES, EMPLEANDO SUELO RADIANTE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR”

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno...6.de septiembre del 2023

Elvin Zuñiga Ramos
DNI:72252155



Huella

Alexis Olmer Condori Apaza
DNI:70201092



Huella



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

Por el presente documento, Yo **Elvin Zuñiga Ramos**, identificado con DNI: **72252155** y **Alexis Olmer Condori Apaza**, identificado con el DNI: **70201092** en mi condición de egresado de:

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

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AMBIENTES, EMPLEANDO SUELO RADIANTE UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR”

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

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

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

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

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

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

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

Puno, ...6 de septiembre del 2023


Elvin Zuñiga Ramos
DNI:72252155



Huella


Alexis Olmer Condori Apaza
DNI:70201092



Huella