

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE CALEFACCIÓN POR M² DE SUPERFICIE
DE PISO RADIANTE UTILIZANDO PCMS APROVECHANDO LA ENERGÍA
SOLAR TÉRMICA EN LA CIUDAD DE PUNO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

WILLY RENAN BERRIO HUARAHUARA

FREDY HANCCO MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE CALEFACCIÓN POR M2 DE SUPERFICIE DE PISO RADIANTE UTILIZANDO PCMS APROVECHANDO LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN LA CIUDAD DE PUNO”

TESIS PRESENTADO POR:

Bach. WILLY RENAN BERRIO HUARAHUARA

Bach. FREDY HANCCO MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

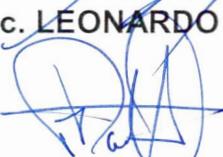


APROBADA POR:

PRESIDENTE

: 
M.Sc. LEONARDO PAYÉ COLQUEHUANCA

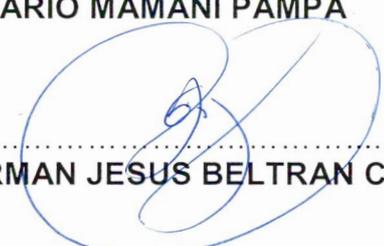
PRIMER MIEMBRO

: 
M.Sc. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. MARIO MAMANI PAMPA

DIRECTOR / ASESOR

: 
Dr. NORMAN JESUS BELTRAN CASTAÑON

PUNO – PERU

2017

Área : Energías Renovables

Tema : Calefacción por piso radiante utilizando PCM45

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir, por permitirme disfrutar cada momento de mi vida y guiarme por el camino que ha trazado para mí.

A mis padres porque fueron mi guía y apoyo para culminar mis estudios.

A mis hermanos, que me han brindado su apoyo en mi formación profesional, para lograr una de mis metas, ellos me inspiran a ser cada día mejor persona.

A mi novia y a mi hija por su apoyo incondicional, quienes me inspiran a seguir adelante.

A los docentes de la carrera profesional de ingeniería mecánica eléctrica por su esfuerzo y dedicación en la formación de buenos profesionales,

A mis compañeros de trabajo, porque de ellos adquirí conocimientos y experiencias laborales.

Fredy Hanco Mamani

A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir, por permitirme disfrutar cada momento de mi vida y guiarme por el camino que ha trazado para mí.

A mi madre, Lucia Huarahuara Huarahuara, y a mi padre, Ángel Berrio Huarahuara, a ellos agradecerles por su apoyo incondicional.

A mis hermanos, que me han brindado su apoyo en mi formación profesional, para lograr una de mis metas, ellos me inspiran a ser cada día mejor persona

A mi novia, que han colaborado y brindado su apoyo incondicional en mi formación académica, profesional para lograr una de mis metas.

A los docentes de la carrera de ingeniería mecánica eléctrica por su esfuerzo y dedicación en la formación de buenos profesionales.

Willy Renán Berrio Huarahuara

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A los ingenieros Alejandro Salinas Mena y Norman Beltrán Castañón, director y asesor de tesis respectivamente. Por brindarme su valiosa colaboración y amistad desinteresada en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Fredy Hanco Mamani

El más sincero agradecimiento a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por brindarme una formación académica y ética que me permitirá ser competente en el ámbito profesional.

A los ingenieros Norman Jesús Castañón y Alejandro Salinas Mena, director y asesor de tesis respectivamente. Por brindarme su valiosa colaboración y amistad desinteresada en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

Por último un agradecimiento especial a mi Madre, padre, abuelitos, familia, amigos y demás personas ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, fue lo que me hizo ir hasta el final y culminar con éxito una etapa de mi vida.

Willy Renán Berrio Huarahuara

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	12
INDICE DE ANEXOS.....	13
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	14
RESUMEN.....	16
ABSTRACT	17
CAPÍTULO I.....	18
1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	20
1.4. HIPÓTESIS.....	21
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	21
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	22
CAPÍTULO II	23
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1. ANTECEDENTES.....	23
2.1.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	23
2.2. ENERGÍA SOLAR	27
2.2.1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	27
2.2.2. CALOR.....	28
2.3. MATERIAL DE CAMBIO DE FASE (PCM).....	30

2.3.1. TIPOS DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE.....	31
2.3.2. APLICACIONES.....	34
2.3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	36
2.3.4. ENCAPSULADO	36
2.3.5. CENTRO TECNOLÓGICO DE COMPONENTES (CTC) Y LOS PCM.	36
2.4. TRANSFERENCIA DE CALOR	38
2.4.1. TIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	38
2.5. CAMBIOS DE FASE.....	42
2.6. LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES.....	43
2.7. DENSIDAD.....	45
2.8. CALOR ESPECÍFICO.....	45
2.8.1. INERCIA TÉRMICA.....	46
2.9. LA CAPACIDAD CALORÍFICA.....	46
2.10. COLECTORES SOLARES.....	48
2.10.1. TIPOS DE COLECTORES SOLARES	48
2.10.2. COLECTORES DE PLACA PLANA CON CUBIERTA	48
2.10.3. COLECTORES CPC ESTACIONARIOS.....	49
2.10.4. COLECTORES DE PLACA PLANA SIN CUBIERTA	50
2.10.5. COLECTORES DE TUBOS DE VACÍO	50
2.11. CALEFACCIÓN.....	53
2.11.1. CONFORT TÉRMICO.	53
2.11.2. CALEFACCIÓN SOLAR.....	54
2.11.3. SISTEMA DE CALEFACCIÓN CON AIRE	54
2.11.4. SISTEMA DE CALEFACCIÓN CON AGUA	55
2.11.5. SUELO RADIANTE CON DIFUSORES	59
2.12. CONFIGURACIÓN DEL CIRCUITO DE TUBERÍAS.....	60
2.12.1. DISTRIBUCIÓN EN SERPENTÍN	60

2.12.2. DISTRIBUCIÓN EN DOBLE SERPENTÍN	61
2.12.3. DISTRIBUCIÓN EN ESPIRAL.....	62
2.13. COMPONENTES DEL PISO RADIANTE.....	62
2.13.1. BOMBA DE RECIRCULACIÓN	62
2.13.2. AISLAMIENTO TÉRMICO	63
2.13.3. TUBO DE COBRE.....	63
2.13.4. PURGADORES.....	63
CAPITULO III	64
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
3.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN O ÁMBITO DE ESTUDIO.....	64
3.1.1. UNIDAD DE ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN	64
3.2. MÉTODO DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.3. TIPO, TÉCNICAS, E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.3.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.4. EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	66
3.4.1. DIAGRAMA DE INSTALACIÓN.....	66
3.4.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	66
3.4.3. EQUIPOS.....	71
CAPITULO IV.....	74
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.1. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL	74
4.2. CALCULO DE LA DENSIDAD EL PCM 45	90
4.3. CALCULO DEL CALOR ESPECÍFICO DEL PCM 45.....	91
4.4. CALCULO DE COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD DEL PCM 45...94	
4.5. CALCULO DE LAS RESISTENCIAS DEL TUBO CONCÉNTRICO	95

4.7.	TRANSFERENCIA DE CALOR DEL PISO RADIANTE	98
4.9.	TRANSFERENCIA DE CALOR EN LAS PAREDES DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL.	101
4.10.	CALCULO DE LA LONGITUD DE LA TUBERÍA:.....	103
4.11.	ESQUEMA GENERAL DETALLADO	104
4.12.	CÁLCULO DEL CAUDAL Y VELOCIDAD DEL AGUA.....	104
4.12.1.	CALCULO DE CAUDAL DE AGUA MODO EXPERIMENTAL	104
4.13.	COSTOS.....	105
4.13.1.	COSTO PISO RADIANTE	105
4.13.2.	COSTO DEL COLECTOR SOLAR.....	106
4.14.	ENSAYO DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL:.....	107
4.16.	INTERPRETACIÓN DE LAS Y GRAFICAS	115
4.17.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	117
4.18.	RESULTADOS DE NOCHE:	119
4.19.	RESULTADOS DE DÍA:	119
4.20.	AHORRO DE ENERGÍA EN COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS CONVENCIONALES:.....	120
4.21.	DISCUSIÓN	122
	CONCLUSIONES	125
	RECOMENDACIONES	126
	REFERENCIAS.....	127
	ANEXOS	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferencias entre calor latente y calor sensible	29
Figura 2: Clasificación de las sustancias usadas para almacenamiento térmico	31
Figura 3: Muestra la relación entre la temperatura y calor de fusión para los PCM disponibles	31
Figura 4: Evolución de los trabajos científicos en el campo de los PCM a nivel mundial. Un incremento significativo se produce a partir del año 2005.	37
Figura 5: Montaje experimental de los dos sistemas idénticos de depósito de ACS conectado al colector solar, donde uno de ellos integra PCM	37
Figura 6: Estructura de un Colector de placa plana	48
Figura 7: Marcha de Rayos en un colector tipo CPC (Gentileza AO Sol)	49
Figura 8: Foto de un colector solar tipo CPC estacionario	49
Figura 9: Esquema de un colector de placa plana sin cubierta	50
Figura 10: Principio de Funcionamiento Tubo de Flujo Directo	51
Figura 11: Principio. Funcionamiento del Tubo de Calor	52
Figura 12: Perfil de temperaturas de distintos sistemas de calefacción.	53
Figura 13: Hypocausto de Normandia.....	55
Figura 14: Instalación de un sistema de suelo radiante con energía solar.....	56
Figura 15: Corte transversal de una instalación de suelo radiante.....	57
Figura 16: Superficie emisora del suelo radiante con difusores.	59
Figura 17: Vista transversal de la capa emisora.	60
Figura 18: Configuración en serpentín.	61
Figura 19: Configuración en doble serpentín.	61
Figura 20: Configuración en espiral.	62
Figura 21: Bomba de recirculación de agua caliente.	63
Figura 22: Diagrama de instalación.....	66
Figura 23: Bomba Toyota TF 2A	68
Figura 24: Muestra de una Capsula de PCM 45 de Parafina	69
Figura 25: Aislantes Térmicos del prototipo del piso radiante	70
Figura 26: Vista de paredes del prototipo	71
Figura 27: Termómetro con pinza para medir Líquidos.....	71
Figura 28: Termómetro digital para medir la temperatura del tubo	72

Figura 29: termómetros laser	73
Figura 30: Higrómetro digital y termómetro con sonda	73
Figura 31: Fotografía del rollo de tubería de cobre flexible	77
Figura 32: Fragmento de Poliestireno expandido.....	78
Figura 33: Fotografía del rollo de lana de vidrio	80
Figura 34: Bomba Toyota TF 2A	87
Figura 35: Diagrama de flujo	88
Figura 36: Matriz morfológica.....	89
Figura 37: Balanza Electrónica	90
Figura 38: Diagrama de prueba para obtener el calor específico.....	93
Figura 39: Grafico de carga del PCM 45 y descarga del agua a 82° C.....	93
Figura 40: Diagrama de resistencia en los tubos de cobre	95
Figura 41: Circuito térmico de los tubos de cobre	95
Figura 42: Diagrama de resistencias en el piso radiante	98
Figura 43: Circuitos de transferencia de calor en la pared.....	101
Figura 44: Esquema de disposición de la tubería en el Piso Radiante	103
Figura 45: Esquema de capas de aislamientos del piso radiante	104
Figura 46: Ubicación de sensores.....	107
Figura 47 Curvas de temperatura de carga y descarga durante una noche (12horas) del prototipo experimental (18 de mayo del 2017).....	111
Figura 48: Curvas de humedad durante una noche de funcionamiento del prototipo experimental (12HORAS) (18 de mayo del 2017).....	112
Figura 49: Curvas de temperatura de carga y descarga durante una día (12HORAS) del prototipo experimental (20 de mayo del 2017)	113
Figura 50: Curvas de humedad durante un día de funcionamiento del prototipo experimental (12HORAS) (20 de mayo del 2017).....	114
Figura 51: Análisis de entrega de calor del PCM	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los PCM orgánicos	33
Tabla 2: Valores típicos de energía almacenada de parafinas con temperatura de fusión próxima a la temperatura de confort	34
Tabla 3: Ventajas y desventajas de los distintos PCM	36
Tabla 4: Materiales de construcción y aislamientos térmicos	44
Tabla 5: Lista de Materiales y sus propiedades	47
Tabla 6: Componentes del piso radiante	70
Tabla 7: Componentes de las paredes del prototipo	70
Tabla 8: Tipos de tubería para la elección del material	74
Tabla 9: Tipos de aislantes para piso radiante	77
Tabla 10: Tipos de piso	81
Tabla 11: Características de los materiales de la pared	83
Tabla 12: Opciones de colectores solares	84
Tabla 13: Pruebas realizadas para obtener el calor específico del Pcm45	92
Tabla 14: Conductividad térmica de diferentes PCMs	94
Tabla 15: Conductividad térmica de los materiales utilizados	98
Tabla 16: Componentes de la pared	101
Tabla 17: Costos de materiales del piso radiante	105
Tabla 18: Precio del colector solar	106
Tabla 19: Resultados de pruebas realizados durante la noche	115
Tabla 20: Resultados de pruebas realizados durante el día	115
Tabla 21: Diferencias entre otros sistemas de calefacción	122

INDICE DE ANEXOS

Anexo N° 01.....	132
Anexo N° 02.....	142
Anexo N° 03.....	145
Anexo N° 04.....	148
Anexo N° 05.....	149
Anexo N° 06.....	150
Anexo N° 07.....	151
Anexo N° 08.....	152
Anexo N° 09.....	154

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
q'_x	Flujo de calor.
k	Coefficiente de conductividad térmica.
A	Área.
L	Longitud.
T	Temperatura.
h	Coefficiente de transferencia de calor por convección.
Q	Calor.
σ	Constante de Stefan-Boltzmann.
ε	Coefficiente de Emisividad.
t	Coefficiente de transmisión.
Go	Constante solar.
I	Radiación solar incidente en la superficie terrestre.
n	Número de horas de sol brillante.
N	Número máximo de horas de sol en la loca
m	Masa de agua a calentar
Cp	Calor específico.
η	Eficiencia del sistema.
n1	Número de horas de trabajo del colector solar.
Q	Carga por transmisión.
U	Coefficiente global de transmisión de calor.
T_{ext}	Temperatura exterior.
T_{int}	Temperatura interior.
ΔT	Diferencia de temperaturas.
Σ	Sumatoria de áreas
ΣR	Sumatoria de resistencias.
Ls	Longitud del serpentín.

\dot{m}	:	Flujo másico.
V_{prom}	:	Velocidad promedio.
ρ	:	Densidad.
Re	:	Número de Reynolds.
μ	:	Viscosidad dinámica.
D_i	:	Diámetro interior.
Pr	:	Número de Prandtl.
N	:	Número de Nusselt.
r_i	:	Radio interior.
r_o	:	Radio exterior.
α	:	Coefficiente de difusividad térmica.
γ	:	Viscosidad cinemática.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis busca mostrar una forma de calefacción diferente llamada Calefacción por Piso Radiante, utilizando PCM 45 en el interior de unos tubos concéntricos, que consiste en instalar tuberías cobre, en el interior del suelo, El agua caliente circula a temperaturas que oscilan entre 60°C y 70°C por el centro interior de las tuberías la cual eleva la temperatura del PCM 45 Mediante la transferencia de calor se eleva la temperatura de la superficie del piso hasta 29 °C y por consiguiente la del ambiente a 1 metro de altura se registra 20°C a 21°C, cuyas temperaturas mantienen las condiciones de confort térmico, Por ello, el objetivo principal de esta tesis es diseñar un PISO RADIANTE para poder mejorar la calidad de vida de las personas en la población de puno. El “Piso Radiante” será diseñado para las condiciones de la Ciudad de Puno, ubicado en el departamento de Puno, a una altitud media de aproximadamente 3827msnm. Concluyendo la investigación de esta tesis se podrá demostrar que el Prototipo si funciona ya que se ha podrá instalar y realizar algunas pruebas de funcionamiento en la zona, Se conseguirá mantener la temperatura del prototipo de 20 a 21°C con un tiempo duración de 2 a 2.5 horas con una Carga de 25 minutos promedio, estos resultados nos conllevara a tener un ahorro energético significativo, además que dicho sistema resultara amigable con el medio ambiente ya que no se emplea combustibles fósiles, y por ende un significativo ahorro en la economía por concepto de consumo energético.

Palabras clave: PCM, piso radiante, calefacción, flujo de calor, confort térmico.

ABSTRACT

The present work of thesis aims to show a different form of heating called Heating by Radiant Floor using PCM 45 inside concentric tubes, which consists of installing copper pipes, inside the floor, Hot water circulates at temperatures ranging between 60 ° C and 70 ° C by the inner center of the pipes which raises the temperature of the PCM 45 By means of the transfer of heat the temperature of the surface of the floor rises to 29 ° C and consequently the one of the environment to 1 meter of Height is recorded 20 ° C to 21 ° C, whose temperatures maintain the conditions of thermal comfort. Therefore, the main objective of this thesis is to design a RADIANT FLOOR to be able to improve the quality of life of people in the population of Puno. The "Radiant Floor" will be designed for the conditions of the City of Puno, located in the department of Puno, at an average altitude of approximately 3827msnm. Concluding the investigation of this thesis will be able to demonstrate that the Prototype if it works since it will be able to be installed and to realize some tests of operation in the zone, It will be able to maintain the temperature of the prototype of 20 to 21 ° C with a time duration of 2 a 2.5 hours with an average load of 25 minutes, these results will lead us to have a significant energy saving, in addition that said system will be friendly with the environment since it is not used fossil fuels, and therefore a significant saving in the economy by concept Of energy consumption.

KEY WORDS: PCM: underfloor heating, heating, heat flow, Thermal comfort.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, durante la estación de invierno, en las zonas altas de nuestra región Puno se ha presentado cambios climatológicos muy bruscos, el cual está relacionado con el descenso de las temperaturas hasta condiciones extremas, llegando incluso a registrarse temperaturas por debajo de los 0°C.

Para hacer frente a esta amenaza que se repite todos los años, se está proponiendo una alternativa de solución de larga duración y técnicamente viable para la zona, se trata de instalar un sistema de piso radiante utilizando materiales de cambio de fase (PCM). El cual acumulara calor latente con fines de transferir al piso radiante, y a si calefactar la zona de habitabilidad del poblador, usando una energía renovable como es la energía solar para el funcionamiento del sistema de calefacción de sus viviendas.

La tesis ha sido estructurada en cuatro capítulos, en el primero, se describe las condiciones climatológicas, la situación en que se encuentra la ciudad de Puno y los problemas que generan en la salud de las bajas temperaturas. En el segundo capítulo se muestra las diferentes formas de transferencia de calor involucradas en el diseño del sistema a instalar, tales como la conducción, convección y radiación; también se muestran algunas consideraciones para obtener el confort térmico, además se muestran las partes que constituyen el Piso Radiante, sus formas constructivas, ventajas y desventajas. En el tercer capítulo se muestra el procedimiento de diseño y Montaje, para poder calcular y seleccionar los distintos componentes que se encuentran en Piso Radiante, basándonos de la Metodología enseñada en los cursos de Termodinámica, Transferencia de calor, proyectos de ingeniería para finalmente poder calcular parámetros que desconoce del PCM 45 y conocer el precio real

de la instalación (sin mano de obra, solo materiales y componentes) que son mostrados en el cuarto capítulo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las zonas alto andinas de nuestro país, son unas de las más olvidadas; no solo ello, sino también son las zonas donde las personas poseen menos recursos económicos. La temperatura baja hasta por debajo de los 15°C, los pobladores sufren en épocas de invierno muy duras haciendo que los pobladores posean una baja calidad de vida.

La ciudad de Puno está ubicada en la sierra sudeste del país, a una altitud media de 3827 msnm, donde la población sufre de bajas temperaturas principalmente en épocas de invierno llegando a veces hasta debajo de los 0°C. El fenómeno del fríaje se presenta con descensos extremos, iniciando en el mes de mayo, junio, julio y agosto.

Ante dicho problema, muchas personas adoptan ciertas medidas para luchar contra las bajas temperaturas, algunas de ellas son: sistemas de calefacción por radiadores, estufas, etc. en algunos casos es necesarios fuentes de energías eléctricas que no existen en algunas zonas.

La necesidad de implementación de sistemas térmicos de calefacción en las zonas afectadas basados en energías renovables es la motivación principal de esta tesis.

Por ende, en la presente investigación diseñaremos un prototipo experimental de un sistema de calefacción por piso radiante utilizando PCM, por sus condiciones climáticas, el departamento de Puno es un buen punto para el desarrollo de este estudio basado en calefacción por energías renovables.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar un sistema de calefacción por piso radiante utilizando materiales de cambio de fase (PCMs), determinando los parámetros técnicos operativos de los materiales que permitan mejorar el sistema, para habitabilidad y confort térmico.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Diseñar un prototipo de 1m² e implementación de sus componentes de un sistema de calefacción por piso radiante utilizando PCMs, que permita determinar las propiedades del material de cambio de fase, para mejorar el funcionamiento del sistema de calefacción.
- b) Determinar los factores termodinámicos del ambiente y materiales a fin de mantener la temperatura del ambiente que permita su viabilidad técnica económica como propuesta de alternativa de desarrollo.
- c) Analizar los resultados que se obtendrá del uso del sistema de calefacción de piso radiante utilizando PCMs, a fin de denotar la eficiencia del proceso aplicado.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Las bajas temperaturas que se registran en las zonas altas de la ciudad Puno, generan muchos problemas de salud en la población. La calefacción por piso radiante es una alternativa eficiente de aprovechar la mayor radiación en la ciudad de Puno respecto a nuestra ubicación geográfica y favorables

condiciones de radiación solar, realizando instalaciones que sean eficientes y duraderas, alcanzando un importante ahorro energético.

El presente estudio revela su importancia en la aplicación de un sistema de calefacción por piso radiante utilizando PCMs, este sistema es considerado como uno de los métodos de mayor eficacia al compararlos con otros sistemas convencionales, determinadas a cumplir el mismo proceso, los denominados sistemas convencionales tienden a calentar el ambiente desde un inicio hasta un determinado tiempo a calentar, la bomba de recirculación también funcionara dicho tiempo, lo cual implica un mayor consumo energético para su funcionamiento. Y debido a que el consumo es mayor se propone una alternativa instalando tubos concéntricos contenidos de PCMs de parafina para la acumulación de calor y así reducir los costos de funcionamiento. De ahí la relevancia por obtener parámetros de funcionamiento y propiedades de los materiales del sistemas de calefacción que distribuyan la temperatura de una manera homogénea.

Para poder determinar los parámetros y propiedades de los materiales será necesario además de diseñar implementar, ensayar a través de un prototipo experimental de 1m^2 de superficie con la cual se obtendrá el salto térmico deseado para fines de calefacción.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Mediante el diseño e implementación del prototipo experimental para calefacción por piso radiante se podrá determinar los parámetros de los materiales que permitan mejorar la eficiencia y el funcionamiento del sistema para habitabilidad y confort térmico.

1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- a) El diseño del prototipo experimental del sistema de calefacción nos permitirá determinar las propiedades del material de cambio de fase para mejorar el funcionamiento del sistema de calefacción.

- b) Determinando los valores termodinámicos del ambiente del prototipo experimental se podrá comprobar el mejoramiento del sistema utilizando materiales de cambio de fase para su viabilidad técnica económica.

- c) Una vez obtenido los resultados de los ensayos del sistema de calefacción analizaremos el consumo energético de funcionamientos a diferencia de otros sistemas convencionales ya existentes.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

a) A NIVEL NACIONAL TENEMOS LOS SIGUIENTES ESTUDIOS

Benavente Vilca, D. A., & Sucari Roque, H. B. (2016). Diseño y Construcción de un Módulo de Suelo Radiante Utilizando GAS Natural en la Ciudad de Juliaca. Uancv [Http://repositorio.uancv.edu.pe/](http://repositorio.uancv.edu.pe/). Retrieved from <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/757>

El proyecto titulado: “diseño y construcción de un módulo de suelo radiante utilizando gas natural en la ciudad de Juliaca”, trata sobre el diseño y construcción de un suelo radiante que permita la utilización del calor excedente de los sistemas térmicos y aprovechar las pérdidas para transformarlas en energía. Se define como un “Sistema de calefacción por el suelo, en lo cual los tubos transportan agua con o sin aditivos como fluido calefactor, están ocultos bajo dicho suelo. El agua es calentada, para luego ser transportada por las tuberías que se encuentran en el suelo.

En el mes de agosto llega una temperatura de -5°C a 17°C , hace demasiado frío, pero con el prototipo de suelo radiante se llegó a una temperatura dentro del rango de 18°C a 29°C . El prototipo de suelo radiante utiliza gas natural porque emite en su combustión el 25% a 30% menos de CO_2 que los productos derivados del petróleo, también emite entre un 40% a 50% menos de CO_2 que el carbón, no contiene azufre, por eso el gas natural es considerado como el más limpio de los combustibles fósiles.

Paredes Pérez, A. M. (2016). Estudio y diseño de una vivienda rural en el departamento de Puno utilizando materiales de cambio de fase para fines de confort.

La presente tesis tiene como objetivo principal mejorar la calidad de vida del poblador alto andino analizando los diferentes materiales existentes para abaratar los costos de energía eléctrica por concepto de calefacción. Y almacenamiento en forma de calor latente mediante materiales de cambio de fase en particular. Se han estudiado diferentes posibilidades de integración de materiales de cambio de fase en el almacenamiento de calor, y su interacción con ellos. Se ha elegido una sal hidratada como material más adecuado para desarrollar un tanque de almacenamiento de energía térmica por su disponibilidad, profusa utilización en el campo de almacenamiento de energía calorífica y bajo coste.

Oliva, O., & Alfonso, D. (2011). Diseño energético de un suelo radiante para una sala de 12 m² ubicada a 4000 msnm en Langui-Cuzco.

El presente trabajo de tesis busca mostrar una forma de calefacción diferente llamada Calefacción por Suelo Radiante, que consiste en instalar tuberías de un material termoplástico, denominado PEX, en el interior del suelo; por estas tuberías circula agua caliente la cual eleva la temperatura del suelo y por ende de la habitación. Al final del trabajo realizado en la presente tesis se ha podido concluir que el sistema si funciona ya que se ha podido instalar y hacer algunas pruebas de funcionamiento en la zona, además que dicho sistema resulta amigable con el medio ambiente ya que no se emplea combustibles fósiles, si no, se emplean únicamente energías renovables.

La temperatura alcanzada no fue la deseada (se alcanzó 13°C, lo deseado era 18°C), esto se debió a que el agua de ingreso al sistema no ingresaba la temperatura que se esperaba. El costo del sistema es elevado (8318.00 nuevos soles), un público objetivo podrían ser los hoteles ecológicos, que realizan sus actividades contaminando lo mínimo posible el medio ambiente.

b) A NIVEL INTERNACIONAL TENEMOS LOS SIGUIENTES ESTUDIOS

Lara, S., & Jefferson, E. (2016). Diseño y construcción de un sistema de calefacción de suelo radiante hidráulico aplicado a criadero porcino del barrio "La Delicia" del cantón Salcedo (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica - Ecuador).

En el presente proyecto se construyó un sistema de calefacción porcina de suelo radiante hidráulico, diseñado con materiales que se los puede adquirir fácilmente en el país y con características bio ecológicas, centrándose al estudio de las variables de funcionamiento como lo son la conductividad térmica en los materiales utilizados y el aislamiento de calor a fin de promover confort térmico en los organismos de estudio. Por medio de ensayos de placa caliente se determinó la conductividad térmica de diferentes aislantes, seleccionando el que mejor se adapte al funcionamiento del sistema. Para la construcción se seleccionó una tubería de polietileno y un aislamiento de aglomerado de cascarilla de arroz con resina de polivinilo.

El salto térmico calculado es de 10 °C y el obtenido es de 2.5 °C, este salto térmico se da debido a que el circuito no cuenta de mucha longitud, siendo un valor muy importante ya que nos da a conocer que no se necesita de mucha energía para recalentar el agua de circulación generando un ahorro significativo para el funcionamiento.

Aguilar, A., & Remigio, Á. (2013). Diseño de un Sistema de Climatización para El Refugio del Chimborazo (Bachelor's thesis).

El desarrollo de este trabajo, Diseño de un Sistema de Climatización para el Refugio del Chimborazo, surge de la necesidad de brindar un ambiente de confort a los turistas y deportistas que frecuentan los refugios del Chimborazo, para lo cual se ha decidido implementar un sistema de climatización que se convierta en una prioridad, debido a las condiciones climáticas que se tiene en las faldas del volcán Chimborazo, por su altitud

y situación geográfica, posee bajas temperaturas inferiores a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con una humedad relativa promedio del 60%.

La emisión térmica por suelo radiante es uniforme, ya que toda la superficie del piso irradia calor. De este modo desaparecen las “zonas frías y calientes”, como sucede con otros sistemas de calefacción. Además se consigue un ahorro energético considerable respecto a otros sistemas tradicionales al no tener una acumulación de calor en la parte alta de los locales calefactados, se reducen considerablemente las pérdidas de calor a través del techo.

Rodríguez Calva, E. P., & Solís Córdova, F. D. (2013). Diseño, Construcción e Instalación de un Sistema de Calefacción con Energía Solar – Ecuador.

El objetivo principal es diseñar, construir e instalar un sistema de calefacción con energía solar. Se diseñó en base a una variante de la calefacción de un sistema por piso radiante, que consiste en instalar sobre un piso semi terminado un circuito de tuberías de cobre asentado sobre placas el aluminio, todo soportado sobre una capa de aislante térmico (espuma de poliuretano) para minimizar el flujo de calor hacia el suelo; la superficie emisora de calor colocada es de madera. Por la tubería circula agua caliente a temperaturas que oscilan entre $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mediante los diferentes mecanismos de transferencia de calor se eleva la temperatura de la superficie del piso hasta $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y por consiguiente la del ambiente a 1,5 metros de altura se registra $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, cuyas temperaturas mantienen las condiciones de confort térmico y con ello mejorar la calidad de vida de los usuarios.

Domínguez Alonso, M., & Cubillos Arias, F. (2012) MADRID. VIVIENDA UNIFAMILIAR DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO CON ACUMULACIÓN DE CALOR EN CAMBIO DE FASE.

Se describe y analiza una vivienda unifamiliar recientemente construida en Madrid, en donde se ha tenido presente la reducción del consumo energético, introduciendo junto a la energía solar, la bomba de calor, suelo

radiante, recuperadores de calor, sistemas de refrigeración por agua, la inercia térmica, tanto en la construcción como en un acumulador de calor con materiales de cambio de fase (PCM).

Se trata de un tanque vertical cilíndrico de 1.200 litros de capacidad en el que se han introducido 330 placas eutécticas de 1,5 litros de capacidad cada una, rellenas con material de cambio de fase a 32° (en total, unos 375 kg) y separadas 1 cm entre ellas para facilitar el intercambio de energía con el fluido portante, en este caso agua corriente; la capacidad térmica aproximada es de 20 kWh, por lo que podría cubrir las necesidades térmicas a plena carga durante 5 horas.

2.2. ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que podrían ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad.

Las diferentes tecnologías solares se pueden clasificar en pasivas o activas según cómo capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos para recolectar la energía.

2.2.1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya

sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

2.2.2. CALOR

El calor es el proceso de intercambio de energía térmica que se transfiere entre dos sistemas o un sistema y sus alrededores, debido a una diferencia de temperatura. También se denomina calor a la energía en tránsito que se reconoce solo cuando se cruza la frontera de un sistema termodinámico. Una vez dentro del sistema, o en los alrededores. El término calor, por tanto, se debe de entender como transferencia de calor y solo ocurre cuando hay diferencia de temperatura y en dirección de mayor a menor. De ello se deduce que no hay transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura entonces están en equilibrio térmico.

2.2.2.1. CALOR LATENTE

El calor latente es la energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización). Se debe tener en cuenta que esta energía en forma de calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura. El calor que causa estos cambios de estado sin cambio de temperatura se llama calor latente.

Antiguamente se usaba la expresión calor latente para referirse al calor de fusión o de vaporización. Latente, en latín, quiere decir escondido, y se llamaba así porque, al no notarse un cambio de temperatura mientras se produce el cambio

de fase (a pesar de añadir calor), este se quedaba escondido. La idea proviene de la época en la que se creía que el calor era una sustancia fluida denominada calórico. Por el contrario, el calor que se aplica cuando la sustancia no cambia de fase y aumenta la temperatura, se llama calor sensible.

2.2.2.2. CALOR SENSIBLE

Cuando se calienta una sustancia y su temperatura aumenta, a este aporte de calor se llama calor sensible. Asimismo, cuando se extrae calor de una sustancia y su temperatura desciende, a este calor extraído también se le llama calor sensible. El calor que produce un cambio de temperatura de una sustancia se llama calor sensible. Se ha establecido que todas las sustancias puras pueden cambiar de estado. Los sólidos se vuelven líquidos, los líquidos se vuelven gases, etc. Se requiere la adición o extracción de calor para producir estos cambios.

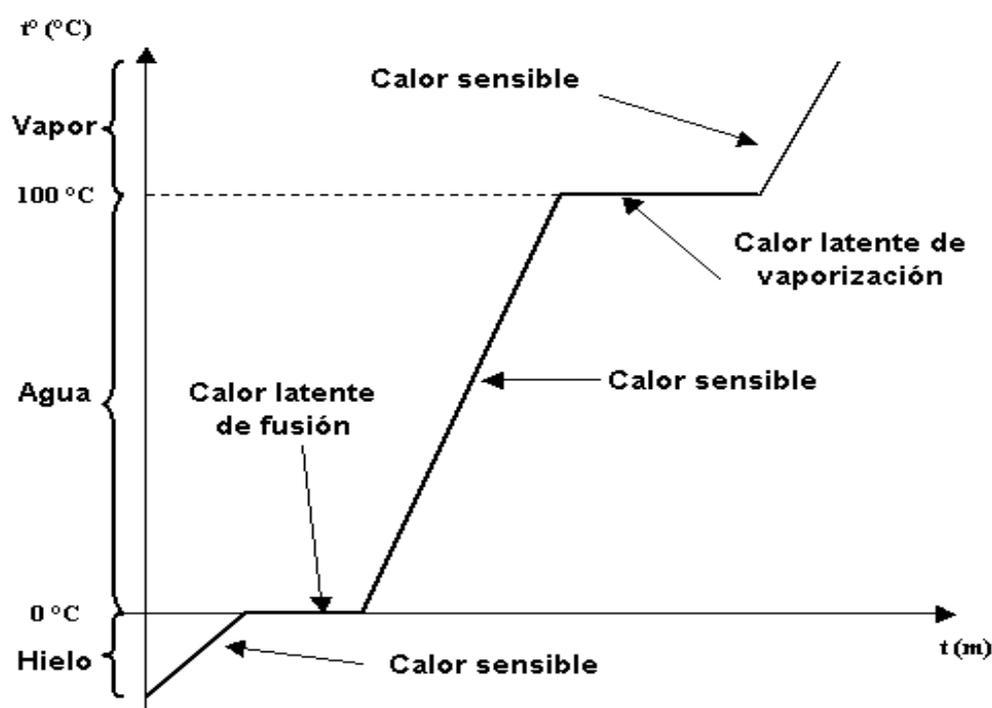


Figura 1: Diferencias entre calor latente y calor sensible

Fuente: ("Calor Sensible y Calor Latente - Ciclo de Refrigeración," n.d.)

2.3. MATERIAL DE CAMBIO DE FASE (PCM)

Los materiales con cambio de fase (Phase Change Material-PCM) son materiales con un alto calor latente que, a la temperatura de cambio de fase (sólido ↔ líquido), son capaces de almacenar o liberar grandes cantidades de energía (hasta 100 veces más que si emplea el calor sensible). El interés de este tipo de materiales radica en que, durante el cambio de fase, la temperatura se mantiene constante mientras que el material va absorbiendo o liberando energía. La temperatura de cambio de fase es característica de cada PCM. Se trata de materiales inteligentes (smart materials) y pasivos, los cuales actúan de manera reversible en base a la condiciones térmicas del entorno. En general son materiales de bajo coste.

Esta forma de almacenamiento posee grandes ventajas frente a las otras:

- Gran densidad de almacenamiento, muy superior a la de calor sensible y similar a la de las reacciones termoquímicas, por lo que se elimina la necesidad de construcción de grandes instalaciones.
- Reducción de las pérdidas energéticas derivadas de la variación de temperatura (necesaria en la forma de almacenamiento sensible).
- Posibilidad de selección de la temperatura de trabajo (proceso de carga y descarga energética del material) según las necesidades.
- La densidad de almacenaje de calor es muy superior. Por ejemplo el agua líquida, su calor específico es 4,19 kJ/kg°C y el calor latente de fusión sólido-líquido (hielo) es 334,24 kJ/kg. Por consiguiente la densidad de calor almacenado por calor latente a 0 °C es equivalente al calor que almacena el agua al pasar de 0 a 80 °C por calor sensible.
- El calor liberado/almacenado se realizará a temperatura constante.

2.3.1. TIPOS DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE

Los materiales de cambio de fase líquido-sólido más comunes en el rango de temperaturas 20 °C y 80 °C son las ceras de parafina, sales hidratadas, mezclas eutécticas y ácidos grasos.

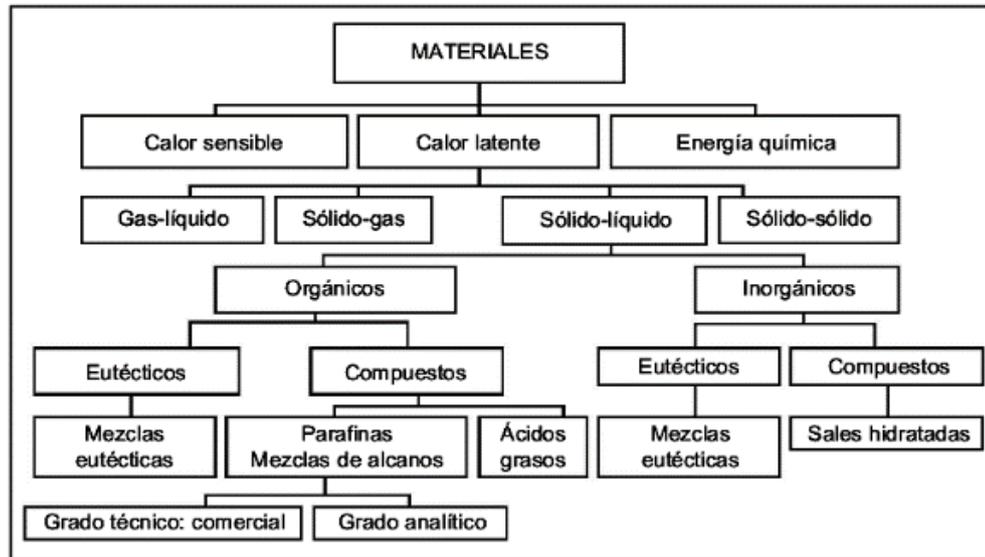


Figura 2: Clasificación de las sustancias usadas para almacenamiento térmico

Fuente: (Oliver, Neila, & García-Santos, 2012b)

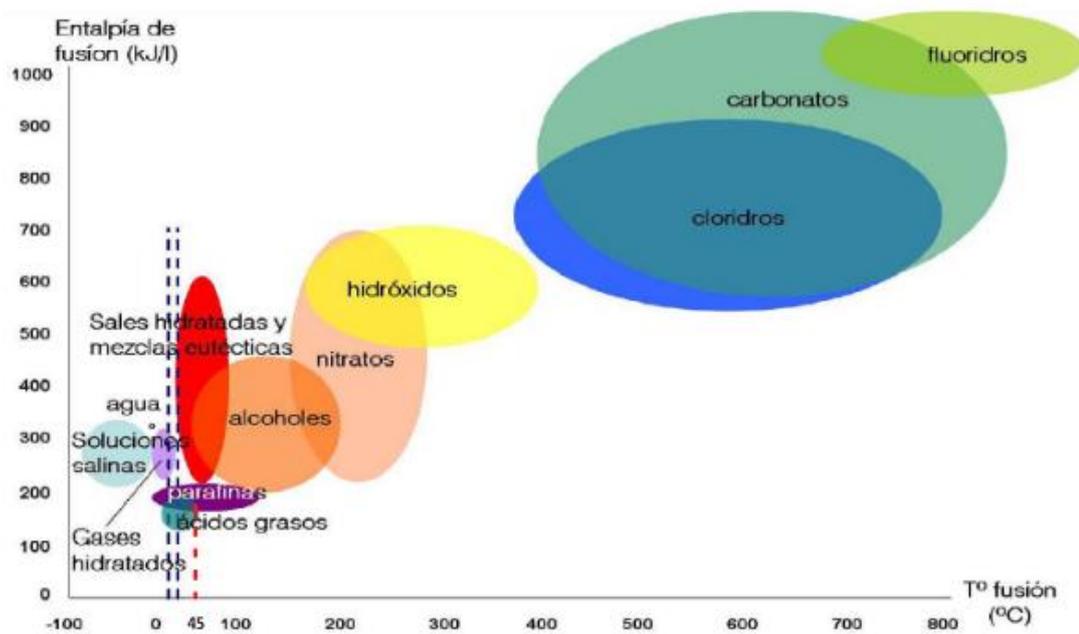


Figura 3: Muestra la relación entre la temperatura y calor de fusión para los PCM disponibles

Fuente: (Oliver, Neila, & García-Santos, 2012a)

Los ácidos grasos tienen, al igual que las ceras de parafina, un calor latente de aproximadamente 200 kJ/kg, pero son más caros.

2.3.1.1. PCM inorgánicos: sales hidratadas

Estos materiales sales hidratadas, como la sal de Glauber fueron muy estudiados en las primeras etapas de investigación de PCM, por su bajo coste y su capacidad de almacenamiento de grandes cantidades de calor por unidad de volumen, en comparación con las sustancias orgánicas, que las convierten en candidatos idóneos para sus múltiples aplicaciones en el ámbito del almacenamiento de energía solar. Lane en su trabajo realiza una extensa revisión sobre los materiales de cambio de fase y en especial sobre las sales hidratadas.

2.3.1.2. PCM orgánicos: parafinas, ácidos grasos y mezclas orgánicas

Los PCM orgánicos poseen unas características que los hacen muy útiles en su aplicación en determinados elementos constructivos para almacenamiento de calor latente. Son más estables químicamente que las sustancias inorgánicas, funden y solidifican convenientemente, sin necesidad de agentes nucleadores (sustancia química para crear núcleos y formar cristales dentro del polímero) y no sufren sub enfriamiento o histéresis (cuando el PCM líquido se enfría por debajo del punto de solidificación. Esto ocurre por la formación de estructuras cristalinas durante un estado termodinámicamente meta estable). Los ácidos grasos cuestan el doble que las parafinas según Schroeder y Gawron.

2.3.1.2.1. PCM de Parafinas

Las parafinas son esencialmente un alcalino sólido refinado. Muestran dos rangos de enfriamiento: un rango más estrecho para un breve periodo de tiempo, y un rango más extenso que ocurre durante un periodo más amplio.

Ambos se interpretan como una transición de líquido a amorfo-sólida y amorfo-sólida a cristalino-sólida, respectivamente. Parte del calor latente total de fusión se almacena en la sustancia durante cada una de estas transiciones. Es importante destacar la gran diferencia entre el rango de temperatura de congelación medido experimentalmente y los datos disponibles.

Desde un punto de vista práctico de su aplicación en sistemas de calefacción y refrigeración pasiva, son más interesantes las parafinas comerciales y las ceras de parafina, debido a su temperatura de fusión, como puede verse en la Tabla N° 1. Estos materiales se producen a gran escala y se utilizan ampliamente en varios campos.

Tabla 1: Características de los PCM orgánicos

Ventajas	Inconvenientes
Fáciles de usar	Calor latente y entalpía bajos
Estabilidad térmica y química	Baja conductividad térmica
No sufren sub enfriamiento	Amplio rango de fusión
No necesitan agente nucleador para solidificar	Cambios de volumen durante el cambio de fase
No corrosivos	Reacción potencial con hormigón
Reciclables y ecológicamente inocuos	Potencialmente combustibles

Fuente:(Oliver et al., 2012b)

Las aplicaciones de las ceras de parafina han sido las más analizadas. Los resultados demostraban que la combinación de un sistema prototipo y enfriamiento nocturno proporciona un índice de almacenamiento térmico apropiado para evitar el sobrecalentamiento en condiciones habituales de verano.

Tabla 2: Valores típicos de energía almacenada de parafinas con temperatura de fusión próxima a la temperatura de confort

PCM	Temp. fusión (°C)	Q fusión (kJ/kg)	Fuente
Hexadecano	18	236	Darkwa K, Kim JS
Heptadecano	22	214	Darkwa K, Kim JS
Octadecano	28	244	Darkwa K, Kim JS
Parafina	20–60	200	Hawes, Feldman et al.
RT25	25	147	Weinlader H, et al 2005

Fuente: (A, F, & Santos, 2010).

2.3.1.3. PCM de Ácidos grasos

Los ácidos grasos, derivados de productos animales y vegetales, están constituidos por una larga cadena alifática, más de 12 carbonos. Su cadena alquílica puede ser saturada o insaturada.

Su forma general es: $R - COOH$, donde el radical R es una cadena alquílica larga. La mayoría de los ácidos grasos naturales posee un número par de átomos de carbono, esto es debido a que son biosintetizados a partir de acetato (CH_3CO_2), el cual posee dos átomos de carbono.

2.3.2. APLICACIONES

Las principales aplicaciones que tienen estos materiales vienen definidas por:

- Su alta capacidad de almacenaje de energía en forma de calor. Almacenar calor en un momento determinado para disponerlo más tarde. Esto permite obtener una gestión térmica más eficiente. Por ejemplo en un sistema colector solar, durante el día se almacenaría el exceso de calor y se dispondría por la noche y justo al día siguiente cuando no hay radiación solar.

- Sus prestaciones como termorregulador para reducir las oscilaciones térmicas de un espacio, en torno a la temperatura de cambio de fase del PCM. Con esto se consigue reducir la dependencia con los sistemas de climatización convencionales y por tanto un ahorro energético. Por ejemplo en viviendas para reducir las oscilaciones de temperatura en torno a la temperatura confort (22 °C).
- Almacenaje térmico de energía solar.
- Almacenaje pasivo en edificios, para obtener temperaturas de confort constantes.
- Para enfriamiento (banco de hielo).
- Obtención de agua caliente sanitaria (ACS).
- Mantenimiento de temperaturas constantes en habitaciones con ordenadores y dispositivos eléctricos.
- Protección térmica de alimentos durante el transporte.
- Protección térmica de productos agrícolas (vino, leche, verduras, etc.).
- Protección térmica de dispositivos electrónicos, evitando sobrecalentamientos.
- Aplicaciones médicas: protección térmica para el transporte de sangre, mantenimiento de la temperatura de la mesa de operaciones, terapias de frío-calor.
- Refrigerante de máquinas.
- Obtención de confort térmico en vehículos.
- Amortiguación de los picos de temperaturas exotérmicos en reacciones químicas.

2.3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Los PCM se pueden agrupar principalmente en dos grandes familias: materiales orgánicos e inorgánicos. Ambos casos presentan ventajas y desventajas en relación a las características que debe tener un PCM.

Tabla 3: Ventajas y desventajas de los distintos PCM

PCM INORGÁNICO	VENTAJAS	PCM ORGÁNICO
+	Calor latente	-
+	Densidad	-
+	Conductividad térmica	-
-	Estabilidad termo-química	+
-	Corrosivo	+
-	Disponibilidad y precio	+

Fuente: (Martínes Ángel Y., 2012)

2.3.4. ENCAPSULADO

Para el empleo de los materiales con cambio de fase en aplicaciones, es necesario encapsular el PCM con el fin de evitar pérdidas cuando el material cambie de estado (fase líquida). Existen principalmente dos posibilidades: macro encapsulado y micro encapsulado.

Por otro lado, los PCM se han micro encapsulado, facilitando su incorporación en diferentes matrices como una carga/aditivo. Por ejemplo en cementos, yeso, plásticos, etc.

2.3.5. CENTRO TECNOLÓGICO DE COMPONENTES (CTC) Y LOS PCM

Aunque el campo de los PCM se inicia a finales de los años 70, un incremento significativo de trabajos científicos-tecnológicos, a nivel mundial, ha tenido lugar en los últimos 8 años. Por lo tanto se trata de una tecnología incipiente y con

gran recorrido, donde ya existen trabajos científicos y además empiezan a surgir importantes empresas que comercializan estos nuevos materiales, como BASF.

- Aplicaciones de PCM en sistemas industriales.
- Desarrollo de nuevos PCM con altas prestaciones.

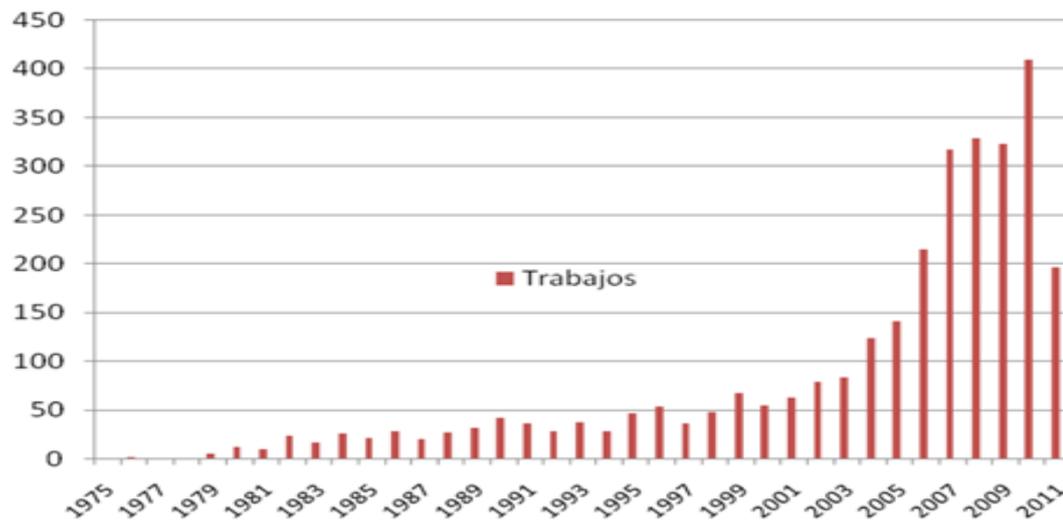


Figura 4: Evolución de los trabajos científicos en el campo de los PCM a nivel mundial. Un incremento significativo se produce a partir del año 2005.

Fuente: (Martínes Ángel Y., 2012)



Figura 5: Montaje experimental de los dos sistemas idénticos de depósito de ACS conectado al colector solar, donde uno de ellos integra PCM

Fuente: (Martínes Ángel Y., 2012)

2.4. TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es el proceso de propagación del calor en distintos medios. La parte de la física que estudia estos procesos se llama a su vez Transferencia de calor o Transmisión de calor. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos o regiones lo suficientemente próximas, la transferencia de calor no puede ser detenida, solo puede hacerse más lenta.

2.4.1. TIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En general, se reconocen tres modos distintos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación, aunque en rigor, solo la conducción y radiación debieran considerarse formas de transmisión de calor, porque solo ellas dependen exclusivamente de un desequilibrio térmico para producirse. Para que se produzca convección, tiene que haber un transporte mecánico de masa además de una diferencia de temperatura, sin embargo, teniendo en cuenta que la convección también transfiere energía de zonas con mayor temperatura a zonas con menor temperatura, normalmente se admite el modo transferencia de calor por convección.

2.4.1.1. Conducción térmica:

La conducción de calor o transmisión de calor por conducción es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para

conducir el calor es la conductividad térmica. La propiedad inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

$$Q = \frac{kA}{x} (T_1 - T_2) \dots \dots \dots (\text{Ec. 1})$$

Donde:

Q : Flujo de calor

$\frac{kA}{x}$: Es el calor transmitido por unidad de tiempo. (w/m)

k : Es la conductividad térmica. (W/m°K)

A : Es el área de la superficie de contacto. (m²)

x : Es el espesor del material. (m)

(T₁ - T₂) : Es la diferencia de temperatura entre el foco caliente y el frío (°K)

La cantidad de calor que se transfiere por conducción, viene dada por la ley de Fourier. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal, es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo.

2.4.1.2. Convección térmica

La convección es una de las formas de transferencia de calor. Se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales, la evaporación del agua o fluidos. La convección en sí es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido. Por ejemplo, al pasar mediante bombas o al calentar agua en una cacerola, el agua en contacto

con la base de la cacerola asciende, mientras que el agua de la superficie, desciende y ocupa el lugar que dejó la caliente.

El intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico (convección mecánica, forzada o asistida).

Ley de enfriamiento de newton

$$q_c = h_c A(T_s - T_{f,\infty}) \dots \dots \dots (Ec. 2)$$

Donde:

- h_c : Conductancia convectiva térmica unitaria o coeficiente de transferencia de calor por convección en la interface líquido-sólido. (W/ m²°K)
- A : área superficial en contacto con el fluido en (m²)
- T_s : Temperatura de la superficie, (°K)
- $T_{f, \infty}$: Temperatura del fluido no perturbado lejos de la superficie transmisora del calor (°K)

2.4.1.3. Radiación térmica:

Se denomina radiación térmica o radiación calorífica a la emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada. En lo que respecta a la transferencia de calor la radiación relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de 0,1 μm a 1000 μm, abarcando por tanto la región infrarroja del espectro electromagnético.

La materia en un estado condensado (sólido o líquido) emite un espectro de radiación continuo. La frecuencia de onda emitida por radiación térmica es una función de densidad de probabilidad que depende solo de la temperatura.

Los cuerpos negros emiten radiación térmica con el mismo espectro correspondiente a su temperatura, independientemente de los detalles de su composición. Para el caso de un cuerpo negro, la función de densidad de probabilidad de la frecuencia de onda emitida está dada por la ley de radiación térmica de Planck, la ley de Wien da la frecuencia de radiación emitida más probable y la ley de Stefan-Boltzmann da el total de energía emitida por unidad de tiempo y superficie emisora (esta energía depende de la cuarta potencia de la temperatura absoluta).

La cantidad de energía que abandona una superficie en forma de calor radiante depende de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. Un radiador perfecto o cuerpo negro emite una cantidad de energía radiante de su superficie por unidad de tiempo q_r dada por la ecuación.

$$q_r = \sigma A(T^4) \dots \dots \dots (\text{Ec. 3})$$

Donde:

- σ : Es la constante de Stefan boltzmann. ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/ m}^2 \text{ K}^4$)
- A : Área de la superficie (m^2)
- T : temperatura de la superficie ($^\circ\text{K}$)

Para evaluar la transferencia neta de energía radiante requiere una diferencia en la temperatura superficial de dos o más cuerpos entre los cuales tiene lugar el intercambio. Si un cuerpo negro irradia a un recinto que lo rodea completamente y cuya superficie es también negra (es decir absorbe toda la energía radiante que incide sobre él, la transferencia neta de energía radiante por unidad de tiempo viene dada por:

$$q_r = \sigma A(T_1^4 - T_2^4) \dots \dots \dots (\text{Ec. 4})$$

Donde: T_1 : Temperatura del cuerpo negro en Kelvin

T_2 : Temperatura superficial del recinto en Kelvin

Si a una temperatura igual a la de un cuerpo negro emiten una fracción constante de la emisión del cuerpo negro para cada longitud de onda, se llaman cuerpos grises. Un cuerpo gris emite radiación según la expresión

$$q_r = \varepsilon \sigma AT^4 \dots\dots\dots(\text{Ec. 5})$$

El calor radiante neto transferido por unidad de tiempo por un cuerpo gris a la temperatura T_1 a un cuerpo negro que le rodea a la temperatura T_2 es:

$$q_r = \sigma A \varepsilon (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots(\text{Ec. 6})$$

Dónde: ε_1 es la emitancia de la superficie gris, igual a la relación entre la emisión de la superficie gris y la emisión de un radiador perfecto a la misma temperatura.

2.5. CAMBIOS DE FASE

En la naturaleza existen estados usuales de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Al aplicarle calor a una sustancia, ésta puede cambiar de un estado a otro. A estos procesos se les conoce como cambios de fase. Los posibles cambios de fase son:

- de estado sólido a líquido, llamado fusión,
- de estado líquido a sólido, llamado solidificación,
- de estado líquido a gaseoso, llamado evaporación o vaporización,
- de estado gaseoso a líquido, llamado condensación,
- de estado sólido a gaseoso, llamado sublimación progresiva,

- de estado gaseoso a sólido, llamado sublimación regresiva o deposición.
- de estado gaseoso a plasma, llamado ionización.
- de estado plasma a gaseoso, llamado Des ionización.

2.6. LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES

La conductividad térmica es una propiedad intrínseca de los materiales que valora la capacidad de conducir el calor a través de ellos. El valor de la conductividad varía en función de la temperatura a la que se encuentra la sustancia, por lo que suelen hacerse las mediciones a 300 K con el objeto de poder comparar unos elementos con otros.

Es elevada en metales y en general en cuerpos continuos, y es baja en los gases (a pesar de que en ellos la transferencia puede hacerse a través de electrones libres) y en materiales iónicos y covalentes, siendo muy baja en algunos materiales especiales como la fibra de vidrio, que se denominan por eso aislantes térmicos. Para que exista conducción térmica hace falta una sustancia, de ahí que es nula en el vacío ideal, y muy baja en ambientes donde se ha practicado un vacío elevado.

Tabla 4: Materiales de construcción y aislamientos térmicos

Material	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/(kg·K))	Conductividad térmica(W/(m·K))	Difusividad térmica (m ² /s) (x10 ⁻⁶)
Agua	1000	4186	0,58	0,139
Aire	1,2	1000	0,026	21,67
Arena húmeda	1640	-	1,13	-
Arena seca	1400	795	0,33-0,58	0,296-0,521
Asfalto	2120	1700	0,74-0,76	0,205-0,211
Baldosas cerámicas	1750	-	0,81	-
Bloques cerámicos	730	-	0,37	-
Cartón	-	-	0,14-0,35	-
Cemento (duro)	-	-	1,047	-
Cobre	8900	389	372-385	107,45-111,20
Corcho	120	-	0,036	-
Espuma de vidrio	100	-	0,047	-
Fibra de vidrio	220	795	0,035	0,200
Hormigón	2200	837	1,4	0,761
Ladrillo al cromo	3000	840	2,32	0,921
Ladrillo común	1800	840	0,8	0,529
Ladrillo de magnesita	2000	1130	2,68	1,186
Lana de vidrio	100-200	670	0,036-0,040	0,537-0,299
Madera	840	1381	0,13	0,112
Madera de abedul	650	1884	0,142	0,116
Madera de alerce	650	1298	0,116	0,137
Mortero de yeso	1000	-	0,76	-
Placas de yeso	600-1200	-	0,29-0,58	-
Tecnopor	1050	1200	0,034 - 0,046	0,125
Porcelana	2350	921	0,81	0,374
Vidrio	2700	833	0,81	0,360
Yeso	1800	837	0,81	0,538

Fuente: (“Propiedades térmicas de materiales,” n.d.)

2.7. DENSIDAD

La densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. Usualmente se simboliza mediante la letra rho ρ del alfabeto griego. La densidad media es la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(\text{Ec. 7})$$

Donde:

ρ : densidad del fluido (Kg/ m³)

m : masa del material (Kg)

V : volumen del material (m³)

2.8. CALOR ESPECÍFICO

La capacidad calorífica específica, calor específico o capacidad térmica específica es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad, ésta se mide en varias escalas. En general, el valor del calor específico depende del valor de la temperatura inicial. Se le representa con la letra c

De forma análoga, se define la capacidad calorífica como la cantidad de calor que se debe suministrar a toda la masa de una sustancia para elevar su temperatura en una unidad (kelvin o grado Celsius).

$$C_{e2} = \frac{m_1 \times C_{e1} \times \Delta T_1}{m_2 \times \Delta T_2} \dots\dots\dots(\text{Ec. 8})$$

Donde:

C_e : calor específico de la sustancia (W/m)

m : masa de la sustancia (Kg)

ΔT : diferencia de temperatura (°K)

2.8.1. INERCIA TÉRMICA

Es la propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que lo cede o absorbe. Depende de la masa térmica, del calor específico de sus materiales y del coeficiente de conductividad térmica de estos.

El término Inercia Térmica es usado frecuentemente al modelar procesos de transferencia de calor y es una propiedad relacionada con la conductividad térmica. Por ejemplo, con las expresiones este material tiene una alta inercia térmica, o la inercia térmica juega un papel importante en este sistema se quiere decir que hay efectos dinámicos que prevalecen en el modelo, y que por lo tanto aplicar un cálculo estático producirá resultados erróneos.

La inercia térmica de un material se define como la raíz cuadrada del producto entre la conductividad térmica y la capacidad calorífica volumétrica. Donde esta última es el producto de la densidad y el calor específico.

En fórmulas:

$$I = \sqrt{k\rho c_v} \dots\dots\dots (Ec. 9)$$

Donde:

I: inercia térmica

K: conductividad térmica (W/m°K)

ρ : densidad (Kg/ m³)

Cv: calor específico (KJ/Kg°K)

2.9. LA CAPACIDAD CALORÍFICA

Es la capacidad térmica de un cuerpo es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta. En una forma más rigurosa, es la energía necesaria para aumentar la temperatura de una determinada sustancia en una

unidad de temperatura.¹ Indica la mayor o menor dificultad que presenta dicho cuerpo para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Puede interpretarse como una medida de inercia térmica. Es una propiedad extensiva, ya que su magnitud depende, no solo de la sustancia, sino también de la cantidad de materia del cuerpo o sistema; por ello, es característica de un cuerpo o sistema particular.

Por ejemplo, la capacidad calorífica del agua de una piscina olímpica será mayor que la de un vaso de agua. En general, la capacidad calorífica depende además de la temperatura y de la presión.

Tabla 5: Lista de Materiales y sus propiedades

Material	Calor específico kcal/kg °C	Densidad kg/m³	Capacidad calorífica volumétrica kcal/m³ °C
Agua	1	1000	1000
Acero	0,12	7850	950
Tierra seca	0,44	1500	660
Granito	0,19	2645	529
Madera	0,57	750	430
Ladrillo	0,20	2000	400
Madera de pino	0,6	640	384
Piedra arenisca	0,17	2200	374
Piedra caliza	0,22	2847	484
Hormigón	0,16	2300	350
Mortero de yeso	0,2	1440	288
Tejido de lana	0,32	111	35
Poliestireno expandido	0,4	25	10
Poliuretano expandido	0,38	24	9
Fibra de vidrio	0,19	15	2,8
Aire	0,24	1,2	0,29

Fuente: (Krane & Krane, 2002)

2.10. COLECTORES SOLARES

Un captador solar, también llamado colector solar o panel solar térmico, es cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica. Los colectores se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y agua caliente sanitaria, y los colectores de alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir vapor que mueve una turbina que generará energía eléctrica.

2.10.1. TIPOS DE COLECTORES SOLARES

2.10.2. COLECTORES DE PLACA PLANA CON CUBIERTA

Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y de una placa absorbidora de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector

Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30-70 °C.

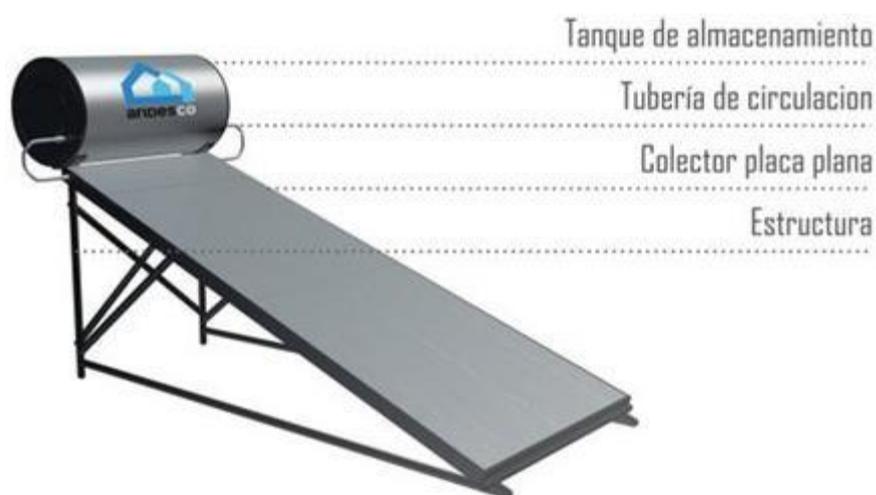


Figura 6: Estructura de un Colector de placa plana

Fuente: ("large_5.jpg (530×405)," n.d.)

2.10.3. COLECTORES CPC ESTACIONARIOS

Su funcionamiento e instalación es exactamente la misma que los colectores de placa plana convencionales. Estos colectores poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo Concentradores Parabólicos Compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y un mayor rendimiento. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección logrando una minimización de las pérdidas y alcanzando un rendimiento cercano al 50%

Son colectores concentradores, de alto rendimiento y alta calidad, de patente portuguesa

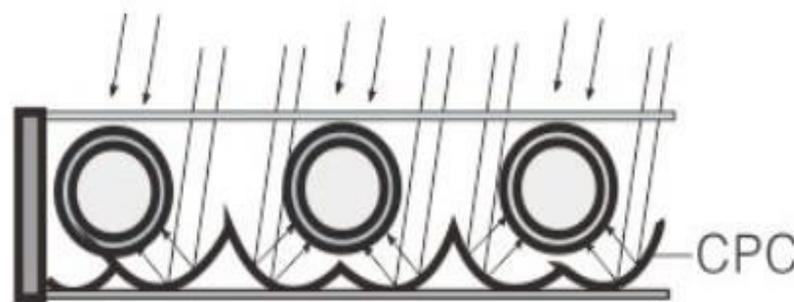


Figura 7: Marcha de Rayos en un colector tipo CPC (Gentileza AO Sol)

Fuente: (Placco, n.d.)

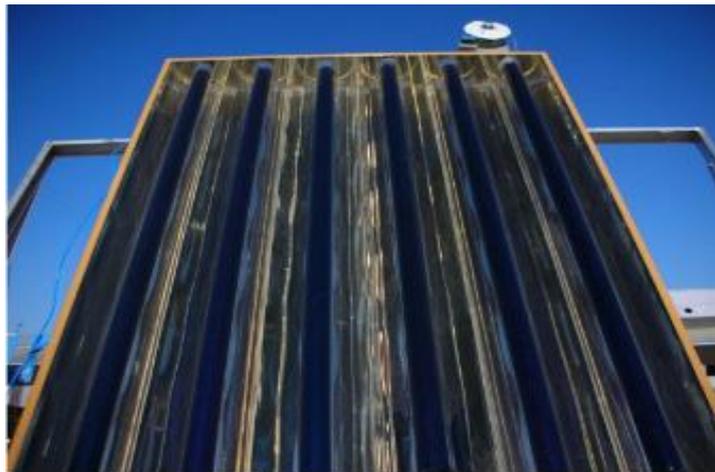


Figura 8: Foto de un colector solar tipo CPC estacionario

Fuente: ("Colector Tipo CPC," n.d.)

2.10.4. COLECTORES DE PLACA PLANA SIN CUBIERTA

Este tipo de colectores, sencillos y baratos, consisten en un absorbedor pero carecen de la cubierta transparente. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20 °C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura. Actualmente, son utilizados para la calefacción de piscinas al aire libre, pero existen otros mercados, incluidos los de calefacción de temporada en las piscinas cubiertas, calefacción de agua para lavar coches, y calefacción del agua utilizada en piscicultura. También existe un mercado potencial de estos colectores para calentamiento de agua en lugares remotos, como campamentos de verano.

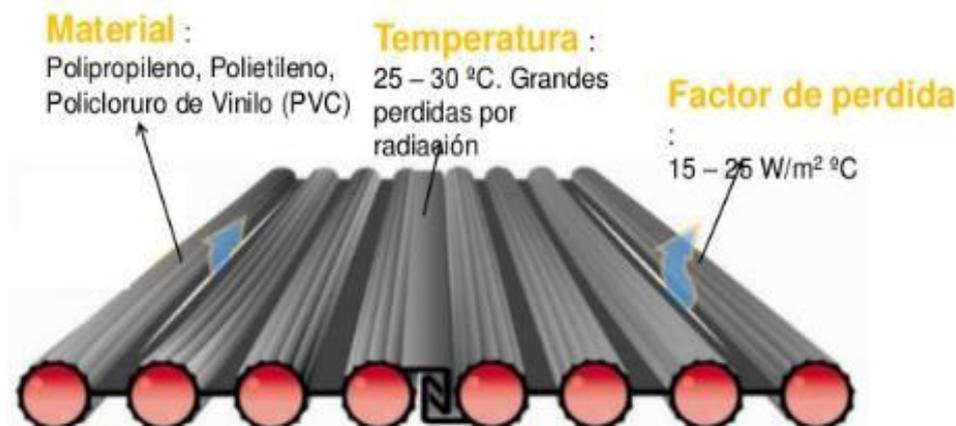


Figura 9: Esquema de un colector de placa plana sin cubierta

Fuente: ("Modulo 2 conceptos básicos de sistemas solares.," n.d.)

2.10.5. COLECTORES DE TUBOS DE VACÍO

Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados) cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calo-portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura.

Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día. Estos colectores son hasta unos 30% más eficientes que los colectores planos.

Existen Dos tipos:

- De flujo directo.
- Con tubo de calor (heat pipe)

2.10.5.1. De Flujo Directo

Estos consisten en un grupo de tubos de vidrio dentro de cada uno de los cuales hay una aleta de aluminio absorbedor, conectada a un tubo de metal (normalmente cobre) o tubo de vidrio. La aleta posee un recubrimiento selectivo que absorbe la radiación solar, e inhibe la pérdida de calor radiativo. El fluido de transferencia de calor es el agua y se distribuye a través de las tuberías, una para la entrada del líquido y el otro para la salida de fluidos. Los colectores de tubos de vacío de corriente directa vienen en varias variedades de acuerdo al tipo de tubería utilizada.

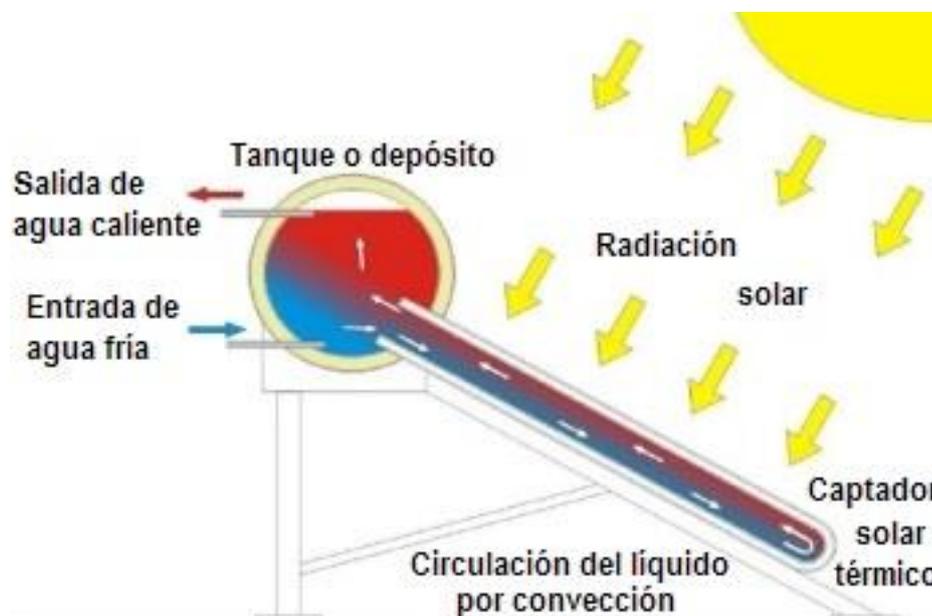


Figura 10: Principio de Funcionamiento Tubo de Flujo Directo
Fuente: ("Como-funciona-un-calentador-solar.jpg (264×191)," n.d.)

2.10.5.2. Con Tubo de Calor (Heat Pipe)

En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido vaporizante que no puede salir del interior del tubo y que funciona como caloportador. Este fluido se evapora por efecto de la radiación solar, asciende hasta el extremo superior del tubo que se encuentra a temperatura inferior, esto hace que el vapor se condense, ceda su energía y retorne a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad a la parte inferior del tubo, donde al recibir más radiación, vuelve a evaporarse y comienza un nuevo ciclo

Los tubos de calor son considerados como los “superconductores” del calor, debido a su muy baja capacidad calorífica y a su excepcional conductividad (miles de veces superior a la del mejor conductor sólido del mismo tamaño). El uso del tubo de calor está muy extendido en la industria y, basándose en este principio de funcionamiento se fabrican los actuales colectores de vacío con tubo de calor.

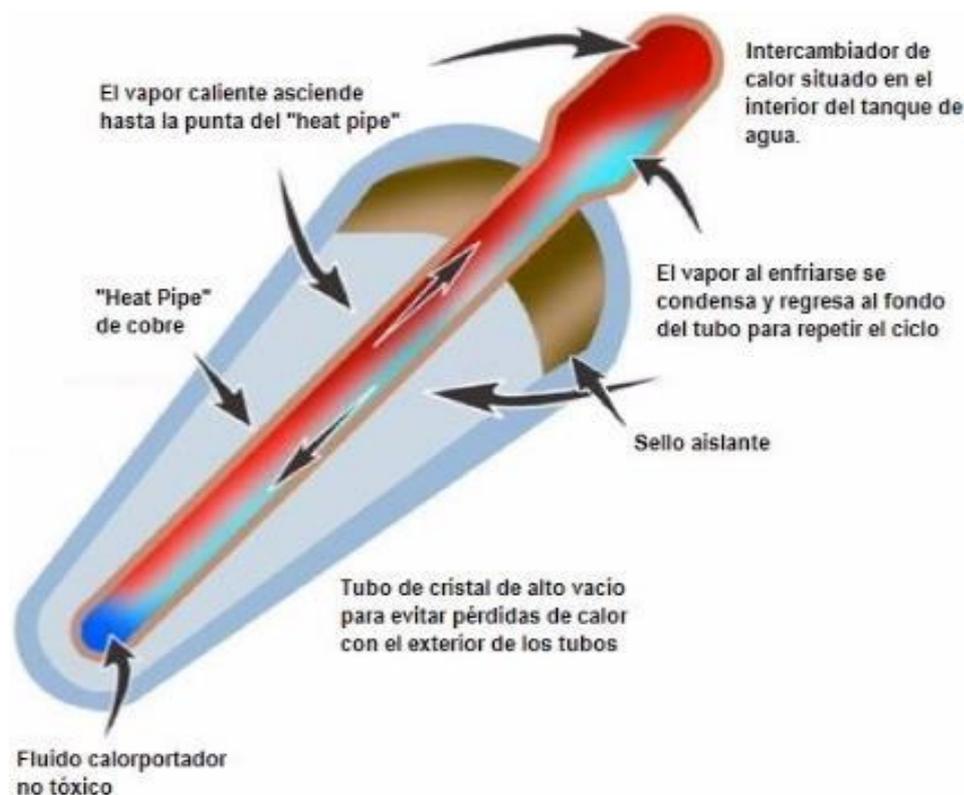


Figura 11: Principio. Funcionamiento del Tubo de Calor

Fuente: ("Energías Renovables & El Ahorro Energetico," n.d.)

2.11. CALEFACCIÓN.

La calefacción es un sistema que tiene como función calentar el interior de las casas o edificios cuando el clima esta frío, un sistema de calefacción siempre es requerido para pasar el invierno, aunque en tiempos remotos se utilizaba el fuego para calentar el hogar, pero este ha sido desplazado por este sistema, pero en algunos hogares aún se utilizan las famosa chimeneas para calentar la habitación habitada.

2.11.1. CONFORT TÉRMICO.

Una de las definiciones del confort térmico es dada por el reglamento nacional de edificaciones D.S. N° 006-2014-VIVIENDA, “Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética”, es decir, se tiene que alcanzar una sensación de bienestar social, mental y físico; dicho confort depende de variables personales y del medio físico que nos rodea.

Con relación a los parámetros físicos, ya que son los que se pueden controlar, se debe de tener en cuenta la temperatura, humedad y velocidad del aire. Con respecto a la velocidad del aire, se recomienda que ésta se encuentre entre 0 y 2m/s,

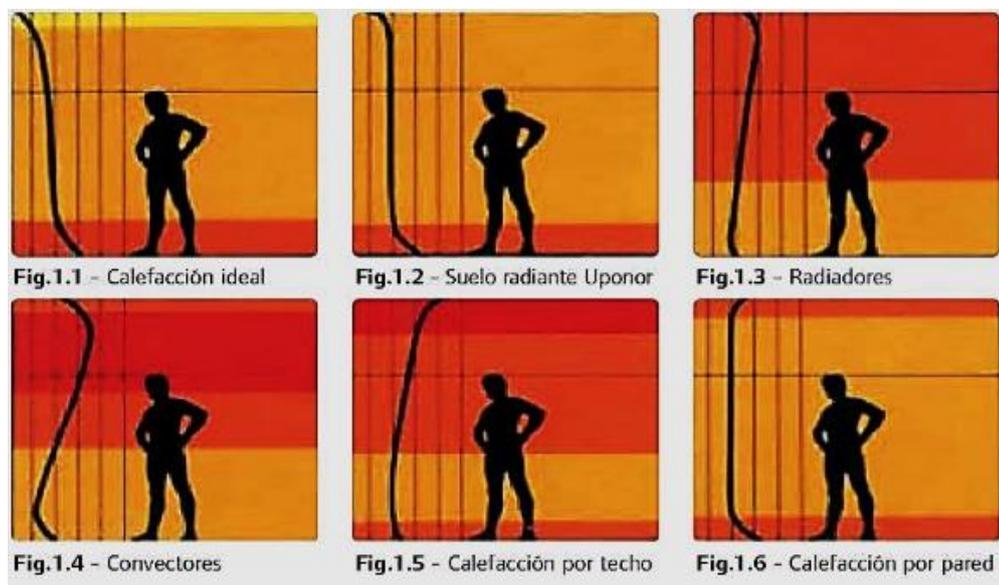


Figura 12: Perfil de temperaturas de distintos sistemas de calefacción.

Fuente: (Uponor, 2013)

Con respecto a la temperatura, existe un rango de temperaturas ya que algunos autores dan un valor de 20°C a 21°C (medidos a 1.5m de altura).

Con respecto a la humedad, mientras la temperatura del aire no se eleve la humedad del aire no será elevada y, del otro lado, una baja humedad podría generar que las vías respiratorias se irriten. Por ello se recomienda que la humedad no baje del 35% ni que exceda del 65%.

2.11.2. CALEFACCIÓN SOLAR

El calor necesario para el acondicionamiento de edificios se puede suministrar mediante técnicas de energía solar con sistemas que, conceptualmente, no son más que versiones mayores de los utilizados en el calentamiento de agua.

Los fluidos utilizados más corrientemente para la transferencia de calor son, el agua y el aire. En los climas templados, se tiene que disponer de una fuente energética auxiliar convencional y el problema de diseño se reduce a decidir la combinación óptima entre la energía solar y la energía auxiliar.

2.11.3. SISTEMA DE CALEFACCIÓN CON AIRE

Se compone de un sistema básico de calentamiento de aire con una unidad de almacenamiento en lecho de guijarros y un sistema de energía auxiliar; el medio de almacenamiento (guijarros) está contenido en la unidad de almacenamiento, mientras que el aire es el fluido utilizado para trasvasar la energía desde el colector al almacenamiento del edificio.

En el caso de calentadores de circulación natural de aire tienen influencia en la eficiencia del equipo a lo largo del mismo la resistencia al paso del aire incluyendo la resistencia de la cámara y el producto, la inclinación del calentador y el tipo de superficie de captación, así como la de transferencia de calor y la cantidad de radiación absorbida en el calentador.

2.11.4. SISTEMA DE CALEFACCIÓN CON AGUA

2.11.4.1. PISO RADIANTE.

Para el desarrollo de la presente investigación de tesis, se tendrá en cuenta los distintos tipos de instalaciones de piso radiante existentes en la actualidad. Dichas instalaciones han sido desarrolladas en el continente europeo, incluso existe una norma para poder hacer el cálculo de estos sistemas, la UNE-EN 1264.

Según esta norma, el suelo radiante se define como “Sistema de calefacción por el suelo, en el que los tubos, que transportan agua con o sin aditivos como fluido calefactor, están ocultos bajo dicho suelo”. El agua es calentada, para luego ser transportada por las tuberías que se encuentran en el suelo, realizándose el intercambio de calor entre el agua y el mortero (convección y conducción), posteriormente se realiza el intercambio de calor entre el mortero y el ambiente interior (convección y radiación).

Este sistema no es nada nuevo ya que en el año XIII A.C. en Turquía, en la zona de Anatolia, se tenía un sistema de calefacción por suelo, el que estaba conformado por un conjunto de canales instalados construidos debajo del suelo. Años más tarde los romanos adoptaron este sistema, construyeron conductos por los cuales circulaban gases calientes, este tipo de sistemas fueron denominados como “Hypocausto”



Figura 13: Hypocausto de Normandia.

Fuente: (“Hypocausto - Wikipedia, la enciclopedia libre,” n.d.)

En la actualidad este sistema es muy empleado y desarrollado en el centro y norte de Europa, a tal punto de ser empleado en superficies no cubiertas para mantenerlas libres de hielo y nieve durante el invierno, como por ejemplo los campos de fútbol, donde es importante que se encuentren “limpios”.

2.11.4.2. FUNCIONAMIENTO DEL PISO RADIANTE

El aprovechamiento más idóneo de la energía solar es para la calefacción por medio del suelo radiante. Para ello se hace circular por los tubos agua entre 35 y 45° de esta forma el suelo se mantiene entre 20 y 28°. El grado de confort que se consigue con este tipo de calor es ideal ya que es uniforme en toda la vivienda y el calor es mayor en la zona próxima al suelo, muy importante en casa con niños pequeños (al contrario que el calor mediante un radiador convencional).

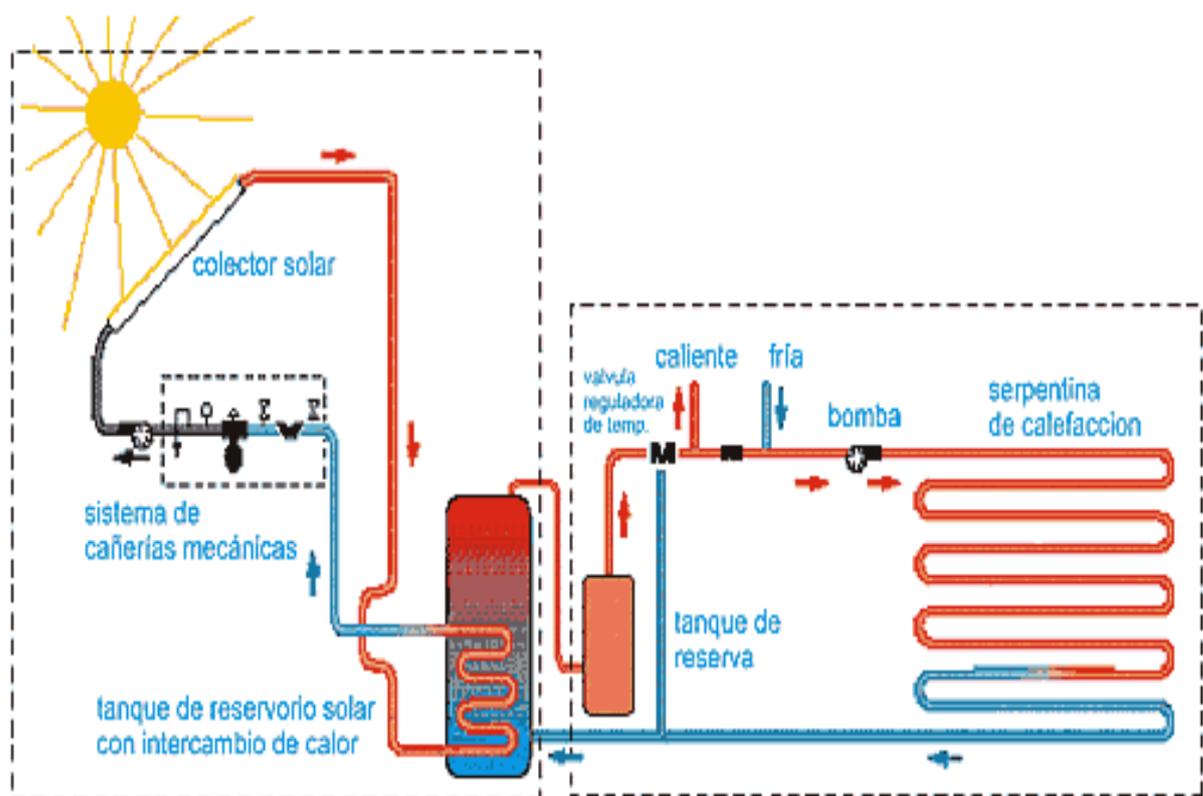


Figura 14: Instalación de un sistema de suelo radiante con energía solar.

Fuente: (“Calefacción por energía solar | usos/ instalación de la energía solar para dar calefacción por energía solar,” n.d.)

2.11.4.3. CARACTERÍSTICAS DEL PISO RADIANTE

Una de las características esenciales del sistema de calefacción por suelo radiante es el fenómeno de autorregulación. Las variables más importantes que definen la cantidad del calor transmitida por radiación son:

- a) La distancia entre emisor y receptor (suelo -persona)
- b) Salto térmico, es decir, la diferencia de temperatura entre ambos, un ejemplo típico de funcionamiento. Los parámetros son:
 - Temperatura de impulsión del circuito del suelo radiante a 70°C
 - Temperatura de retorno del suelo radiante a 68°C
 - Temperatura del piso a 29°C
 - Temperatura del ambiente a 21°C
 - Salto térmico suelo-ambiente a 8°C
 - Radiación emitida a 60 W/m².

Si la temperatura del habitáculo aumenta a 21°C (lo que puede suceder por aumento del número de personas, chimenea, aportación solar, a través de la ventana, etc.), el salto térmico se reduce de 5 a 3°C, es decir de un 40% menos.

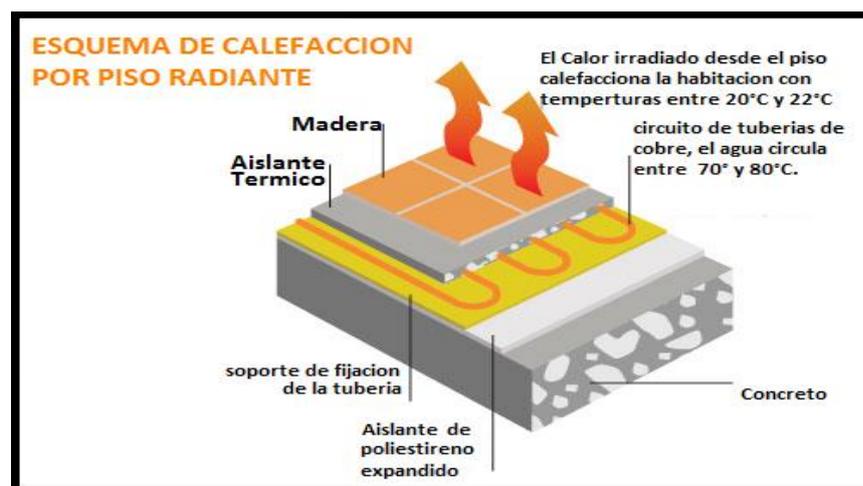


Figura 15: Corte transversal de una instalación de suelo radiante.
Fuente: ("Piso o Losa Radiante | Piso Radiante | Calderas.cl," n.d.)

La moderada temperatura de impulsión de agua que necesita el sistema hace que éste sea compatible con casi cualquier fuente energética (electricidad, combustibles derivados del petróleo, energía solar, carbón, gas natural, etc.). En particular, es el único sistema de calefacción que puede ser alimentado energéticamente por paneles solares térmicos.

2.11.4.4. VENTAJAS DEL PISO RADIANTE

Distribución ideal de temperaturas: Este sistema mantiene una temperatura “caliente” en la zona de los pies y una temperatura “fría” en la zona de la cabeza.

Saludable: No levanta polvo ni corrientes de aire. No reseca la garganta, al contrario que otros sistemas de calefacción, por lo que es recomendado para ser instalado en hospitales, residencias de ancianos y otras instalaciones colectivas.

Ahorra Combustible: por lo tanto, disminuye los costes. Se trata de un sistema que trabaja a una temperatura más baja que los radiadores de metal por diversos motivos. Entre ellos, que al ocupar mucha mayor superficie, no necesita calentar tanto el circuito hidráulico. Se trata de un sistema que combina muy bien con la energía solar, porque trabajan a temperaturas parecidas. La climatización más eficiente del mercado consiste en una bomba de calor integral combinado con un sistema de energía solar y un suelo radiante como sistema emisor.

Eficiente: Calefacta o refrigera en la parte inferior de la habitación, donde nos movemos; al no tener que calentar todo el volumen de la habitación, como hacen los radiadores, no es necesario consumir tanta energía.

Invisible: Al estar bajo el suelo, no se ve absolutamente nada.

Confortable: Se trata del sistema emisor de calefacción que mejor reparte el calor por la habitación, ya que al ser emitido desde el suelo, la emisión es mucho más homogénea y se encuentra siempre cerca de nuestro cuerpo.

2.11.4.5. DESVENTAJAS DEL PISO RADIANTE

Elevación del suelo: Debido a que debajo del suelo debe de haber una placa aislante, las tuberías y además alrededor de 8cm del piso, esto hace que el sistema tenga unos 8 o 10cm adicionales que un suelo convencional.

Mayor costo de instalación: Debido a que el sistema necesita de mucho más accesorios que los demás sistemas, este costo puede ser un 25% más en comparación con el suelo radiante de tubería PE-X, pero a su vez este sistema tiene una vida útil de alrededor de 50 años.

2.11.5. SUELO RADIANTE CON DIFUSORES

Se aplica al caso particular de pavimentos contruidos con tarima de madera sobre rastreles. El hecho de existir huecos de aire entre la superficie superior del mortero de cemento y la tarima imposibilita utilizar el sistema tradicional de calefacción por suelo radiante.

El sistema se basa en el montaje de una superficie de aluminio (difusores) clavada sobre la superficie de rastreles y bajo la tarima. Los difusores transmiten homogéneamente a la tarima el calor aportado por los circuitos. Estos discurren insertados en los difusores.

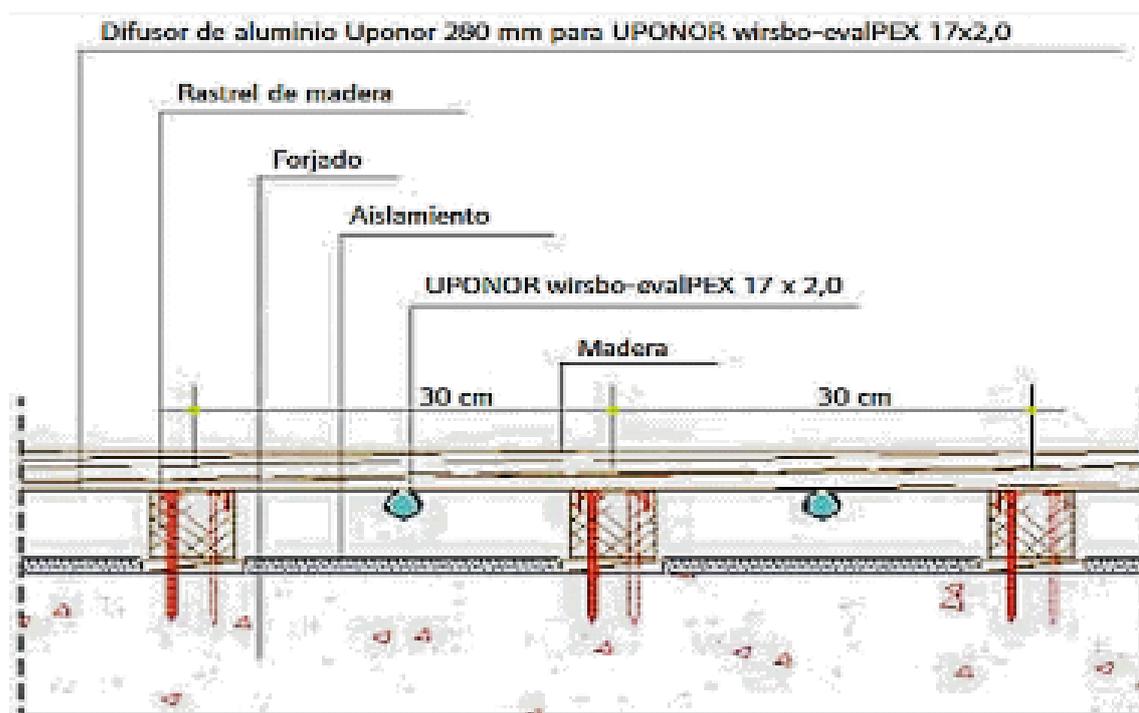


Figura 16: Superficie emisora del suelo radiante con difusores.

Fuente: (Uponor, 2013)

El aislamiento térmico del sistema se realiza colocando entre filas de rastreles mantas de fibra de vidrio o de poliuretano. Con el suelo ya rastrelado y aislado debe procederse al clavado de los difusores de aluminio a los rastreles de modo que cada difusor esté clavado a dos rastreles distintos para asegurar un correcto apoyo. No prolongar las filas de difusores hasta el límite de las paredes perpendiculares a éstos para permitir el curvado de las tuberías.



Figura 17: Vista transversal de la capa emisora.

Fuente: (Uponor, 2013)

2.12. CONFIGURACIÓN DEL CIRCUITO DE TUBERÍAS

Está conformado por una red de tuberías distribuidas para poder transferir de manera adecuada el calor, existen tres formas de hacer las instalaciones las cuales son las siguientes:

2.12.1. DISTRIBUCIÓN EN SERPENTÍN

Es la forma más sencilla de hacer la distribución, pero la desventaja de este sistema radica en la gran diferencia de temperaturas que existe entre la salida y la entrada del agua de circulación; esto puede hacer que el usuario sienta esa diferencia en el ambiente en el que se encuentra.

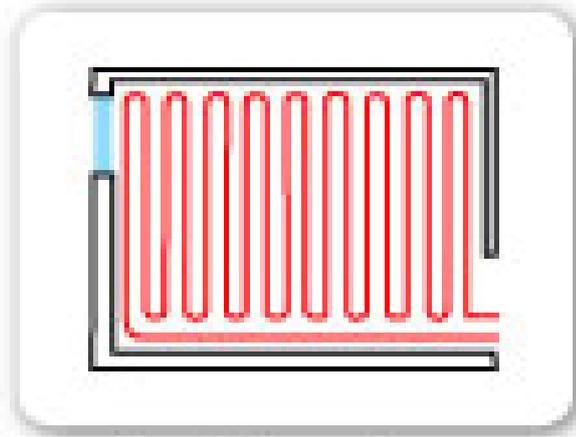


Figura 18: Configuración en serpiente.

Fuente: (“Tipos de Instalación de Piso o Losa Radiante | Piso Radiante | Calderas.cl,” n.d.)

2.12.2. DISTRIBUCIÓN EN DOBLE SERPENTÍN

A diferencia que la distribución en serpiente, ésta no genera una gran diferencia de temperaturas entre la entrada y salida, ya que siempre va una tubería más fría con una más caliente, compensando la diferencia de temperaturas que se tenía en la distribución anterior. La desventaja de este sistema se genera al momento de dar la forma a la distribución ya que a veces se tiene que formar radios muy pequeños que dificultan la instalación.

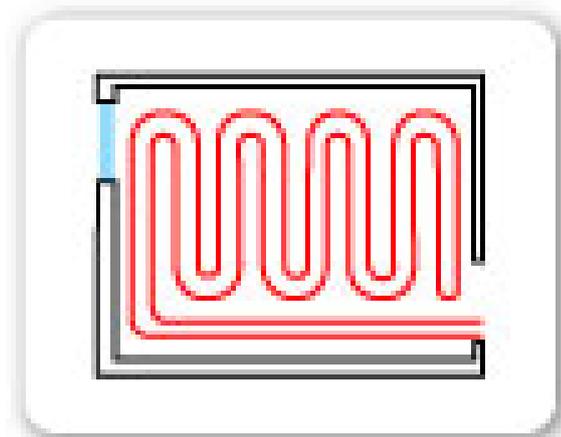


Figura 19: Configuración en doble serpiente.

Fuente: (“Tipos de Instalación de Piso o Losa Radiante | Piso Radiante | Calderas.cl,” n.d.)

2.12.3. DISTRIBUCIÓN EN ESPIRAL

Al igual que la distribución en doble serpentín, esta no genera una notoria diferencia de temperaturas en la habitación, además no se generan radios pequeños en el momento de la instalación, por ello, este tipo de instalaciones es la recomendada para los suelos radiantes.

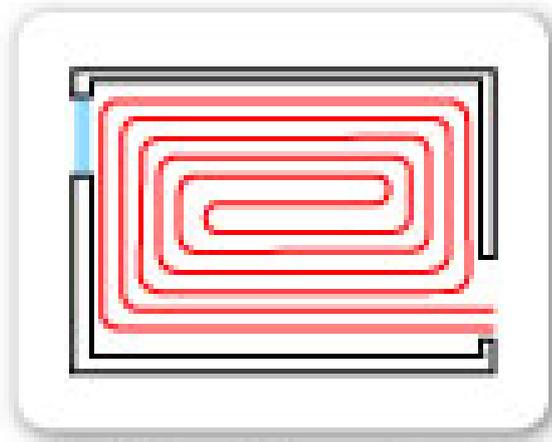


Figura 20: Configuración en espiral.

Fuente: (“Tipos de Instalación de Piso o Losa Radiante | Piso Radiante | Calderas.cl,” n.d.)

2.13. COMPONENTES DEL PISO RADIANTE

En el Suelo Radiante son importantes algunos componentes adicionales para que éste funcione y se pueda controlar de manera adecuada. Los componentes más importantes del Suelo Radiante son: la bomba, sistema de distribución, válvula reguladora y los purgadores.

2.13.1. BOMBA DE RECIRCULACIÓN

Es la responsable de hacer circular el agua a través de las tuberías que se encuentran instaladas bajo el suelo. Esta bomba no consume mucha potencia pero debe de seleccionarse una que sea capaz funcionar con agua caliente, ya

que hay que recordar que la temperatura de entrada al sistema está alrededor de 70°C promedio.



Figura 21: Bomba de recirculación de agua caliente.

Fuente: ("Bomba de Presión Shurflo 2088-443-144, 12V," n.d.)

2.13.2. AISLAMIENTO TÉRMICO

Al calentarse el mortero del suelo, el calor se propaga tanto hacia arriba como hacia abajo, por lo que es necesario utilizar un elemento aislante entre los tubos y el forjado.

El material utilizado para dicho aislamiento es el poliuretano expandido, que presenta una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. Esta propiedad se debe a la propia estructura del material.

2.13.3. TUBO DE COBRE

El tubo de cobre, por su durabilidad, es la mejor elección para sistemas hidráulicos, calefacción, refrigeración, etc. El tubo puede unirse mediante soldadura común o soldadura fuerte (con plata), utilizando conexiones capilares. Las aplicaciones dependen del tipo de tubo.

2.13.4. PURGADORES

Es un dispositivo de seguridad, el cual se encarga de evacuar el aire del sistema

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para realizar un adecuado diseño del sistema, se va a seguir el procedimiento recomendado en los cursos de Transferencia de calor, termodinámica I, II.

3.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN O ÁMBITO DE ESTUDIO.

El ámbito de estudio donde se implementara el prototipo experimental, y se desarrollara las pruebas se ubica en el Barrio San Martin (Las Torres)

Región:	Puno	
Provincia:	Puno	
Distrito:	Puno	
Coordenadas Geográficas:		
Latitud:	15° 85'60.55"	Sur
Longitud:	70° 1' 75.31"	3940 m.s.n.m
Condiciones climatologías:	Temperatura Mínima: 3.3 - 4.8 °C	
	Temperatura Máxima: 14.4 -19 °C	

3.1.1. UNIDAD DE ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Se considerara una vivienda tipo unifamiliar ubicado en las torres de San Carlos de puno, en el cual se implementó el prototipo experimental de $1m^2$ de superficie como se muestra en el Anexo N° 1.

3.2. MÉTODO DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.

Para el desarrollo del proyecto de investigación se considerara los siguientes pasos:

1. Búsqueda de información de los tipos de pisos radiantes existentes las formas constructivas, materiales y costos. Tesis relacionadas, artículos, revistas y normas.
2. Diseño del prototipo experimental del piso radiante utilizando PCMs
3. Se adquirirá los materiales y equipos necesarios para la implementación del prototipo experimental.
4. Se realizara el montaje del prototipo experimental, el procedimiento se muestra en el anexo A
5. Se procederá a realizar las pruebas para verificar los parámetros de funcionamiento del prototipo experimental
6. Se procesara los datos obtenidos para la obtención de los resultado y análisis correspondientes

3.3. TIPO, TÉCNICAS, E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.

3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

La investigación desarrollada en el presente proyecto de investigación es aplicada y experimental de tipo correlacional, contemplando aspectos descriptivos y explicativos.

3.3.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.

La técnica que se desarrollara en el presente proyecto de tesis será a través de ensayo de laboratorio.

El instrumento de investigación que se utilizara será un manual o guía de laboratorio.

3.4. EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

3.4.1. DIAGRAMA DE INSTALACIÓN.

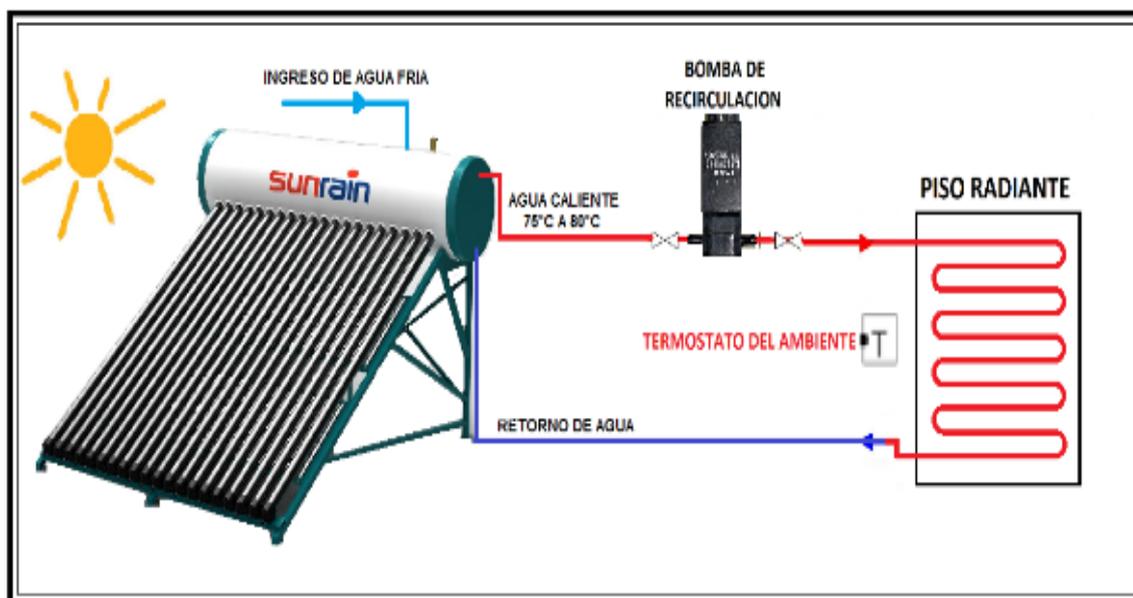


Figura 22: Diagrama de instalación

Elaboración: Propia

El funcionamiento del sistema de calefacción iniciara con la captación de radiación solar mediante un colector solar por tubos de vacío para calentar el fluido calefactor y luego almacenar en el termo tanque, luego se enciende la bomba para impulsar el agua caliente hacia los conductos del piso radiante, para luego transferir calor hacia el piso radiante, seguidamente el agua retorna por la vía de salida al termotanque a menor temperatura.

3.4.2. MATERIALES Y EQUIPOS.

3.4.2.1. MATERIALES

En el Piso Radiante son importantes algunos componentes adicionales para que éste funcione y se pueda controlar de manera adecuada. Los componentes más importantes del Piso Radiante son: colector solar de tubos de vacío, termo tanque, bomba, tubería de cobre para el piso radiante PCM 45 y aislantes térmicos.

3.4.2.2. COLECTOR SOLAR

El agua se calentará mediante un colector solar de tubos al vacío con un termo tanque que se adquirirá de la empresa TECSOL S.R.L.

CARACTERÍSTICAS:

Temperatura Max.: 90°C

Temperatura min.: -40°C

Eficiencia: 70%

Prueba de presión: 9 bares

Presión de trabajo: 6 a 8 bares

3.4.2.3. TERMO TANQUE

El agua caliente se almacenara en el termo tanque para mantener la temperatura adecuada para el sistema de calefacción.

CARACTERÍSTICAS:

Capacidad: 80 litros

Aislamiento: espuma de poliuretano (55mm)

Cubierta interior: lamina de acero inoxidable

Cubierta exterior lamina de acero inoxidable

Entrada y salida: 3/4"

3.4.2.4. BOMBA DE RECIRCULACIÓN DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL:

Caudal Q: 0.0292 l/s

Velocidad: 0.76 m/s

Potencia de la bomba: 24 W (0.0322 HP)

Voltaje de la bomba: 12 Voltios

Amperaje: 2 Amperios



Figura 23: Bomba Toyota TF 2A

Fuente: ("Botella Agua Limpiaparabrisas Toyota Yaris Ref 85330 10290 060210 4420 - Despieces La Cuneta," n.d.)

3.4.2.5. TUBERÍA DE COBRE

La composición del piso radiante será tubería de cobre para el prototipo experimental por metro cuadrado es:

Tipo de tubería: Tubo Flexible Tipo Usos Generales y Automotrices

Longitud del Tubo 3/4: 8 metros, espesor ($e=0.7\text{mm}$)

Longitud del Tubo 3/8: 9 metros, espesor ($e=0.6\text{mm}$)

Aplicaciones: Instalaciones de gas, automotrices y redes de agua en tendidos subterráneos

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL COBRE SON:

Temperatura de fusión: 1,083 °C

Densidad (20 °C): 8.94 gr/cm³

Conductividad térmica (68 °F): 372,1-385.2 (W/ (m·K))

Calor específico (20 °C): 0.092 cal/gr/°C

Aleación: C12200

Nombre Comercial: COBRE FOSFORADO

Porcentaje de Cobre: 99.90% (Cu más Ag con elementos especificados)

3.4.2.6. PCM 45 de Parafina:

Se instalará una tubería concéntrica de 3/4 (1.91cm) y la otra tubería es de 3/8 (0.95cm) En donde se introducirá 1.5 litros de PCM 45, por lo cual 1 placa eutécticas de 1,5 litros de capacidad se estimará para un metro cuadrado y están separadas cada 10 cm entre cada tubería para facilitar el intercambio de energía con el fluido portante, en este caso agua; la capacidad térmica aproximada es de 20 kWh.



Figura 24: Muestra de una Capsula de PCM 45 de Parafina
Elaboración: Propia

3.4.2.7. AISLANTES TÉRMICO:

Los aislamientos térmicos que se utilizaran en el piso radiante de 1m² son:

Lana de Vidrio:	1m ² x 0.03 m.
Poliestireno Expandido:	1m ² x 0.02 m.
Polietileno:	1m ² x 0.0001 m.
Madera Machihembrado:	1m ² x 0.015 m.
Madera Prensada:	1m ² x 0.02 m.
Mortero de cemento:	1m ² x 0.07 m.
Tierra seco:	1m ² x ∞

Tabla 6: Componentes del piso radiante

COMPONENTES DEL PISO RADIANTE		
MATERIAL	DIMENSIÓN	CONDUCT. TERMICA
Madera Machihembrado	0.015 m.	0.13 W/(m * K)
tubo de cobre	D=1.91 cm	372.1 W/(m * K)
Agua Caliente	600 ml	0.58 W/(m * K)
PCM 45	1.5 L	0.63 W/(m * K)
Lana de Vidrio	0.03 m.	0.036 W/(m * K)
Poliestireno Expandido	0.02 m.	0.034 W/(m * K)
Polietileno	0.0001 m.	0.0001 W/(m * K)
Madera Prensada	0.02 m.	0.12 W/(m * K)
Mortero de cemento	0.07 m.	1.4 W/(m * K)
Tierra seco	∞	0.6 W/(m* K)

Elaboración: Propia



Figura 25: Aislantes Térmicos del prototipo del piso radiante

Elaboración: Propia

Tabla 7: Componentes de las paredes del prototipo

COMPONENTES DE LAS PAREDES DEL PROTOTIPO		
MATERIAL	ESPESOR	CONDUCT. TÉRMICA
Plancha de yeso (Gyplac)	0.012 m	0.29 - 0.58 W/(m ° K)
Triplay	0.004 m	0.14 W/(m* K)
Aire	0.036 m	0.026 W/(m * K)

Elaboración: Propia



Figura 26: Vista de paredes del prototipo

Elaboración: Propia

3.4.3. EQUIPOS

3.4.3.1. TERMÓMETRO DIGITAL PARA LÍQUIDO CON SONDA

Longitud: 18 cm

Material: plástico + metal

Tamaño del embalaje: 22.5 cm

Estructura de tipo pluma, el 110mm/125mm sonda de acero inoxidable
medición directa: Celsius Fahrenheit.

Medición de temperatura: -50 a 300°C (-58 a 572°F)

La precisión: +/-1 °C

Fuente de alimentación: LR44 DC1.5 V



Figura 27: Termómetro con pinza para medir Líquidos

Fuente: Catalogo de ITYSP Importaciones

3.4.3.2. TERMÓMETRO PARA LÍQUIDOS Y SOLIDOS CON Sonda

Rango de temperatura: $-50 \sim 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Resolución de la pantalla de temperatura: 0.1

Precisión de la medición de la temperatura: $\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Alimentación: dos Baterías LR44

Color: negro

Tamaño: 47 * 28 * 14m m

Peso: Aproximado 33g



Figura 28: Termómetro digital para medir la temperatura del tubo

Fuente: Catalogo de ITYSP Importaciones

3.4.3.3. TERMÓMETRO DIGITAL LASER

Características:

Precisión: $\pm 1,5\%$

Punto de la distancia de victorias: 12:01

Emisividad: 0.95 (fijo)

Energía roja del láser: menos de 0.5 MW (tiempo de respuesta)

Fuente de alimentación: batería de 2 x AAA Función de retención de datos

Laser Target puntero en la selección / OFF

Dimensiones del termómetro: 140 x 85 x 35 mm

El termómetro se utilizara para medir la temperatura de la superficie de: tuberías de agua caliente, las piezas del motor caliente, superficies.



Figura 29: termómetros laser

Fuente: Catalogo de ITYSP Importaciones

3.4.3.4. HIGRÓMETRO TERMÓMETRO INDUSTRIAL HUMEDAD DIGITAL

Termómetro digital clara e intuitiva de los valores de temperatura e higrómetro, temperatura de -10 grados centígrados a 50 °C medición de la humedad de un 10 por ciento a 99 por ciento de humedad relativa Viene con una sonda, lo que hace que sea fácil de usar, Perfecto para uso en incubadoras, criadoras, salas de cualquier otro lugar que requiere un seguimiento de los niveles de temperatura y humedad. Tensión de funcionamiento: 1,5 V, pilas LR44 Dimensión LCD: 36 x 16 mm cable de la punta longitud: 150 cm



Figura 30: Higrómetro digital y termómetro con sonda

Fuente: Catalogo de ITYSP Importaciones

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL

4.1.1. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

a) ELECCIÓN DE LA TUBERÍA:

Para esta selección se propondrá tres alternativas para elegir el mejor material según sus características térmicas:

Tabla 8: Tipos de tubería para la elección del material

Propiedades del material	Tubo de cobre	tubo PE-X y multicapa	Manguera de PVC
Conductividad térmica	372 - 385 W/m ^{°K}	0.38 W/m ^{°K}	0.34 W/m ^{°K}
Densidad	8960 kg/m ³	942 Kg/m	850 Kg/m
Temperatura de trabajo	de -200 a 1000 °C	de -20 a 70°C	de -15 a 60 °C
Características	Alta resistencia a la corrosión. Inalterable con el paso del tiempo, Bajo coeficiente de dilatación, tanto lineal como transversal, garantizando la estabilidad de las instalaciones.	Mayor flexibilidad que otros tipos de tuberías de plástico. Radio de curvatura inferior al de otros tipos de tuberías.	Tubo flexible, no tóxico, reforzado con espiral rígida. Principalmente es utilizado para el riego para aspiración y transporte de agua con motobombas.

Calor específico de 0 °C a 100 °C	92 KJ/ kg·K	2,3 KJ/ kg·K	1.8 KJ/ kg·K
Módulo de elasticidad a 20 °C	12 000 kg/mm2	800 N/mm2	600 N/mm2
Antibacteriano	Si	No	No
reducción del impacto ambiental	59,26% en relación al sistema multicapa	0%	0%
salud humana	Mejor	Peor	Peor
calidad del ecosistema	Mejor	Peor	Peor
conservación de recursos	Mejor	Peor	Peor
protección contra los microbios	los tubos de cobre son antimicrobianos	los tubos polietileno no son antimicrobianos	mangueras de PVC no son antimicrobianos

Elaboración: Propia

SE SELECCIONARA EL TUBO DE COBRE:

➤ **Es una solución rentable con un alto rendimiento**

La resistencia del cobre a temperaturas extremas y altas presiones hace que sea un material ideal para los sistemas de calefacción y aire acondicionado. Además, debido a la excelente conductividad térmica del cobre (como ejemplo, es casi 1.000 veces mejor conductor que algunos plásticos).

➤ **Larga Vida Útil (50 años)**

Las tuberías de cobre conservan su buen aspecto durante años, sin sufrir envejecimiento ni cambios en sus propiedades con el paso del tiempo. Su durabilidad y su total reciclabilidad al final de una larga vida útil, contribuyen de forma clara a la sostenibilidad de las viviendas.

Es un material seguro, duradero y fiable que evita los altos costes de mantenimiento. Cuando es necesaria alguna operación de mantenimiento, su maleabilidad y facilidad de instalación ayudan a prevenir interrupciones prolongadas del suministro de agua

La reciclabilidad del cobre es total e infinita sin perder ni una sola de sus propiedades o rendimiento, siendo en un material que respeta al medio ambiente. El cobre reciclado es exactamente igual que el cobre primario, sin importar el número de veces que se haya reutilizado.

➤ **Los tubos de cobre son antimicrobianos de forma natural y ayudan a protegernos de enfermedades como la legionelosis**

Diversos estudios han confirmado que, en las instalaciones de agua para consumo humano, los tubos del cobre reducen la formación de la biocapa (una capa de microorganismos que se forma en el interior de las tuberías de agua), y minimizan el riesgo de proliferación de bacterias patógenas como la Legionella, Escherichia Coli o Listeria.

El cobre es el primer y único material sólido registrado como antibacteriano por la Agencia de Protección Ambiental de los EE UU (EPA), reconociéndose su capacidad natural para combatir el crecimiento de bacterias responsables de infecciones potencialmente mortales.

➤ **Un hogar más seguro y saludable**

Tubo de cobre para la calefacción por suelo radiante es perfecto una opción que satisfaga todas las condiciones de reasentamiento y calefacción por suelo radiante proporciona el más alto nivel de fiabilidad y calidad. Sólo hay un inconveniente.

TIPO DE TUBO:

Tubo Flexible Tipo Usos Generales y Automotrices

Longitud del rollo: 15.20 m

Instalaciones de gas, automotrices y redes de agua en tendidos subterráneos

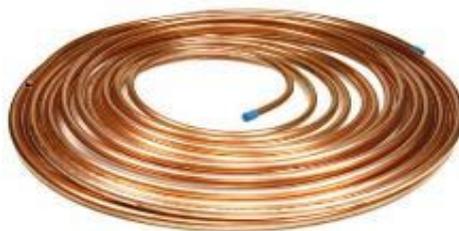


Figura 31: Fotografía del rollo de tubería de cobre flexible

Fuente: (Espa, 2009)

b) ELECCIÓN DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS

Para esta selección se propondrá cuatro alternativas para elegir el mejor material según sus características de aislamiento

Tabla 9: Tipos de aislantes para piso radiante

PROPIEDADES DEL AISLANTE TERMICO	LANA DE VIDRIO	POLIESTIRENO EXPANDIDO	FIBRA DE VIDRIO	VIRUTAS DE MADERA
Conductividad termica	0.032 w/m°K	0.034 w/m°K	0.05w/m°K	0.045 w/m°K
Vida util	de 50 a 60 años	aproximadamente 50 años	de 50 a 100 años	5 a 10 años
humedad	No se humedece	no se humedece	no se humedece	si se humedece
densidad	14 kg/m3	de 12 a 30 kg/m3	2.58 kg /m3	70 kg/m3
caracteristicas del material	La lana de vidrio es 100% reciclable, no contamina y es un producto inerte tanto para la naturaleza, como para el ser humano. Es un producto atóxico, no cancerígeno y no es perjudicial para la salud.es incombustible, no es inflamable, no genera humo ni gases nocivos y resisten altas temperaturas,Su manipulación es muy simple, ya que no es irritante ni contaminante.	El poliestireno, al ser uno de los mejores aislantes térmicos, se usa en la construcción son ahorradores de energía. puede reducir la energía utilizada para climatizarlo hasta en 40%.se degradará en poco tiempo, mientras que un vaso similar que se encuentre enterrado en un relleno sanitario tardará mucho más, 50 años en promedio	Las fibras de vidrio son buenos aislantes térmicos debido a su alto índice de área superficial en relación al peso. Sin embargo, un área superficial incrementada la hace mucho más vulnerable al ataque químico. Los bloques de fibra de vidrio atrapan aire entre ellos, haciendo que la fibra de vidrio sea un buen aislante térmico	Aislamiento contra el calor y el frío, Durabilidad natural, al actuar la viruta como escudo contra el calor, las Propiedades de aislamiento acústico muy elevada, Producto natural
costos por m2 x 0.025	S/. 6.00	S/. 5.00	S/. 30.00	s/. 5.00

Elaboración: Propia

➤ **Se Seleccionara el material de Poliestireno expandido (Tecnopor)**

Es un material aislante térmico espumado, derivado del Poliestireno. Su cualidad más destacada es su higiene al no constituir sustrato nutritivo para microorganismos. Es decir, no se pudre, no se enmohece ni se descompone, su ligereza, resistencia a la humedad y capacidad de absorción de los impactos.

Otra de las aplicaciones del Poliestireno expandido (EPS) son en la construcción ya sea como material de aligeramiento, etc. Los valores de conductividad térmica oscilan entre 0.041 y 0.029 W/mK, dependiendo del tipo de producto y del fabricante.

Donde es usado principalmente como aislamiento térmico y acústico. Es rígido, blanco y espumado.

Es un material inerte e inocuo que no ataca al medio ambiente ni a la salud de las personas, ni es valor nutricional para hongos, bacterias u otros organismos vivos, por lo que no facilita su aparición.



Figura 32: Fragmento de Poliestireno expandido

Fuente: ("El poliextireno expandido en la ingeniería civil," 2015)

El Poliestireno expandido es reutilizable al 100 % para formar bloques del mismo material y también es reciclable para fabricar materias primas para otra clase de productos. Además, ya que tiene un alto poder calorífico y no contiene gases del grupo de los CFC, puede ser incinerado de manera segura en plantas de recuperación energética. La degradación puede tardar desde unos meses hasta más de 500 años. Si se encuentra enterrado en un relleno sanitario tardará mucho más, 50 años en promedio.

Importancia del aislamiento térmico en la reducción de emisiones

El Poliestireno, al ser uno de los mejores aislantes térmicos, se usa ampliamente en la construcción de edificios ahorradores de energía. Un edificio aislado adecuadamente con espuma de Poliestireno puede reducir la energía utilizada para climatizarlo hasta en 40%.

Ventajas del Poliestireno Expandido

El uso del Poliestireno expandido como aislamiento térmico en la construcción permite un ahorro importantísimo de energía en la climatización de edificios, además de poseer condiciones idóneas para la protección contra el ruido. Aparte de sus condiciones termo acústicas, presenta además otras ventajas en su utilización como pueden ser:

- Es un material extraordinariamente ligero pero resistente.
- Amortiguador de impactos
- Resistente al agua pero no al vapor.
- Resistente al envejecimiento.
- Resistencia mecánica.
- Aislante térmico.
- Resistencia química.
- Aislante acústico.
- Higiénico, no enmohece, imputrescible.
- Facilidad de instalación.
- Facilidad de manipulación.
- Protección al Fuego: No se inflama por chispas o escorias candentes.

SE SELECCIONARA EL AISLANTE TÉRMICO LANA DE VIDRIO

Este aislante es un buen aliado cuando necesitamos ahorrar energía, ya que debido a sus propiedades aislantes es capaz de mantener climatizados los espacios por un mayor período de tiempo, ahorrando costos en calefacción y climatización.

El control del ruido (absorción y aislamiento acústico) es una característica natural de la lana de vidrio. Posee muy buena absorción acústica, ya que gracias a su elasticidad y estructura, la lana de vidrio es absorbente, elástica y tiene un efecto disipante.



Figura 33: Fotografía del rollo de lana de vidrio

Fuente: (“Aislantes de lana de vidrio - Todos los fabricantes de la arquitectura y del design - Vídeos,” n.d.)

La lana de vidrio comparado a otros aislantes, es más liviana y de muy baja conductividad térmica. Esto le otorga más eficacia porque manteniendo un mismo espesor, se logra una mayor y más eficiente resistencia térmica. Además, es hidrorrepelente, por lo que no es afectado por el contacto con el agua y la humedad, por lo tanto se mantiene inalterable ante cualquier filtración de cañerías, condensación o si accidentalmente queda expuesto a la lluvia.

Su manipulación es muy simple, ya que no es irritante ni contaminante, y su instalación es fácil, rápida y limpia, ya que no deja pérdidas ni desperdicios durante su instalación.

La utilización de lana de vidrio Isover tiene bastantes ventajas en comparación con otros aislantes, ya que es más liviana y de muy baja conductividad térmica, entonces, es más eficaz porque manteniendo un mismo espesor, logra una mayor y más eficiente resistencia térmica. Además, es hidrorrepelente, por lo que no reacciona con la humedad

c) ELECCIÓN DEL PISO.

Para esta selección se propondrá tres alternativas para elegir el de mayor resistencia térmica para así garantizar el funcionamiento con otros materiales de menor resistencia térmica.

Tabla 10: Tipos de piso

PROPIEDADES	CONCRETO	MADERA MACHICHEMBRADO	CERÁMICO
Resistencia térmica	0.05 m°K/ W	0.15 m°K/ W	0.02 m°K/ W
Vida útil	25 años	15 a 20 años	50 años
Costos por m ²	25 soles	50 soles	50 soles
Costo de instalación	20 soles	20 soles	30 soles
Características	El cemento pulido se construye con losas de hormigón armado, fabricadas in situ, que se fraguan en la obra, pudiéndose así amoldar a las exigencias de la construcción. Las extensiones y formas del sector a revestir, pues se vierten y modelan en el lugar. Columnas, escalones.	La madera para pisos es una sustancia dura y resistente, por tanto los pisos de madera son una buena opción al momento de decorar o construir una vivienda. Los pisos de madera dan calidez y elegancia a un hogar, además de resguardar del frío y mantener un clima templado dentro de las habitaciones.	Con las baldosas es posible el uso de patrones prediseñados o crear diseños personalizados para satisfacer el propósito o necesidad de una habitación. Si se prefiere el aspecto cálido de un piso de madera.

Elaboración: propia

VENTAJAS DEL PISO DE MADERA:

Durabilidad

Gracias a sus acabados duraderos que son fáciles de reparar, los pisos de madera sólida pueden durar hasta cincuenta años o más. Existen muy pocos materiales para pavimentar pisos que han resistido la acción del tiempo como los pisos de madera. A través de los siglos, ha demostrado ser una hermosa y duradera opción para los pisos. Otros nuevos materiales han de demostrar su garantía según pasen los años.

Comodidad y calidez

Los pisos de madera no solo son más agradable para caminar que los pisos de madera laminado que siempre se siente frío y como "plástico" bajo los pies. La madera es un aislante excelente, gracias a sus miles de diminutas cámaras de aire por centímetro cúbico, que retiene el calor.

Hipo alérgicos

A diferencia de las alfombras, el piso de madera no da polen, caspa animal, moho, etc. y no ofrece ningún lugar donde se algo se pueda esconder y desarrollarse. Incluso cuando las alfombras se limpian a vapor, es imposible estar seguro de haber conseguido una limpieza por completo. De hecho, al humedecerlas sólo empeora las cosas. Los pisos de madera es una opción excelente para cualquier persona con cualquier tipo de alergias ambientales.

Fácil de limpiar

Un poco de barrido y un ligero trapeado y sus pisos de madera se mantienen con una sensación agradable por un largo tiempo.

d) ELECCIÓN DE AISLANTES DE LA PARED.

Los aislantes de la pared son:

Tabla 11: Características de los materiales de la pared

PROPIEDADES	PLACA DE YESO (GYPLAC)	AIRE	TRIPLAY
Conductividad térmica	0.29 – 0.58 w/°K	0.0026 w/m°K	0.14 w/m°K
Características	<p>Las placas Gyplac están formadas por un núcleo de roca de yeso bi-hidratado cuyas caras se encuentran revestidas con un papel multicapa de celulosa especial.</p> <p>La unión de yeso y celulosa se produce cuando el sulfato de calcio desarrolla sus cristales dentro de las fibras de papel. Las placas Gyplac son el elemento esencial del sistema de construcción liviana en seco.</p>	<p>Uno de los mejores aislantes térmicos es el vacío, en el que el calor sólo se transmite por radiación, pero debido a la gran dificultad para obtener y mantener condiciones de vacío se emplea en muy pocas ocasiones. En la práctica se utiliza mayoritariamente aire con baja humedad, que impide el paso del calor por conducción.</p>	<p>Es un tablero de gran estabilidad, resistencia mecánica, excelente apariencia y pulido, fabricado con un número determinado de capas, cada una de ellas consistente en una serie de hojas finas de chapa de madera.</p>
Costo	28 Soles c/u placa	0.00 Soles	25 Soles

Elaboración: Propia

e) SELECCIÓN DEL COLECTOR SOLAR

Para esta selección se propondrá dos alternativas para elegir el de mayor rendimiento y eficiencia para esta zona.

Tabla 12: Opciones de colectores solares

PROPIEDADES DEL MATERIAL	COLECTOR SOLAR DE TUBOS AL VACIO	COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA
rendimiento	mejor	peor
ventaja po zona de trabajo	zonas frias	zonas calidas
Temperatura maxima alcanzada	130 °C	60 a 70 °C
Caracteristicas	La tecnología de tubos de vacío es actualmente la más eficaz de las empleadas en los colectores solares térmicos. Los tubos de vacío están compuestos por un doble tubo de vidrio, entre cuyas paredes se hace un vacío muy elevado y el vidrio interior suele llevar un tratamiento a base de metal pulverizado para aumentar la absorción de radiación.	Están constuidos dentro de una sólida estructura de metal debidamente aislada y protegida por un cristal. Sin embargo, al contener aire en su interior, presentan pérdidas de calos por convección y conducción, especialmente los días de rio o viento. Tienen peor rendimiento.
ventaja por su forma	Mejor captación en días nublados. debido a la forma cilíndrica de los tubo se producen más reflejos de la luz del Sol. Debido a la forma circular, de los tubos, los rayos de sol son atrapados más eficazmente, especialmente al amanecer y al atardecer. Al tener pérdidas mínimas por convección o conducción, alcanzan temperaturas elevadas y permiten su utilización en calefacción por suelo radiante o radiadores.	los colectores de placa plana con lo que la ganancia de la energía del Sol es menor. Este tipo de colector es más proclives a presentar condensaciones, especialmente cuando se deteriora la junta entre el cristal y la caja, lo que da lugar a corrosiones, afectando el rendimiento y la durabilidad.(válido en las zonas cálidas, no válido en las zonas frías).
captacion	suponen un avance en la captación de calor en condiciones desfavorables	Esto también sería aplicable a zonas cálidas (como España donde el frío no suele ser extremo y que tienen zonas de clima cálido)
costo	menores que las de placa plana	costoso
fabricacion	ya que son fabricados al 100% en cristal borosilicato	los colectores planos al ser fabricados en cobre, son más caros.
desventajas	son fragiles	El agua circula por los tubos siendo más procives a la corrosión interna e incrustaciones, afectando el rendimiento y durabilidad.

Elaboración: Propia

SE SELECCIONARA EL COLECTOR DE TUBOS DE VACÍO:

La diferencia entre colectores planos y de tubos de vacío consiste fundamentalmente el aislamiento: en los colectores planos existen pérdidas por convección, mientras que en los tubos, al estar aislados al vacío, estas pérdidas se reducen a valores en torno a un 5%, que suponen hasta un 35% menos con respecto a los paneles planos, lo que permite incrementar el rendimiento de forma notable, anunciándose incluso aumentos de 196% frente a los colectores planos.

Un panel solar de tubos de vacío es un tipo de colector solar que aprovecha la energía solar térmica, formado por colectores lineales alojados en tubos de vidrio al vacío. El panel tiene estructura de peine, con un mástil que conduce el fluido caloportador, y una serie de tubos a modo de púas donde se produce la captación de la radiación solar.

Características:

Los tubos son más eficientes en días fríos, ventosos o nubosos, donde la concentración y el aislamiento de la superficie captadora presentan ventajas sobre la mayor superficie captadora de los paneles planos.

Las dimensiones de los tubos son similares a las de un tubo fluorescente; en torno a los 60mm de diámetro y 180cm de largo.

Actualmente existen tres esquemas generales de tubos de vacío: los colectores de flujo directo, los de flujo indirecto o heat-pipe y los de flujo indirecto sin tubo de cobre "heat-pipe".

Ventajas y desventajas

Los Tubos de vacío, en comparación con los colectores planos, suponen un avance en la captación de calor en condiciones desfavorables (precisamente cuando más se necesita el calor). Los costos de fabricación son mucho menores que las placas tradicionales planas, ya que son fabricados al 100% en cristal boro silicato, al contrario que los colectores planos que al ser fabricados en cobre, son más caros.

Desde otro punto de vista, una ventaja añadida de los tubos es su mayor versatilidad de colocación, tanto desde el punto de vista práctico como estético, pues al ser cilíndricos, toleran variaciones de hasta 25° sobre la inclinación idónea sin pérdida de rendimiento, lo que permite adaptarlos a la gran mayoría de las edificaciones existentes. A esto hay que añadir la menor superficie necesaria que precisan los tubos, además por su forma cilíndrica también son 196% más eficientes, ya que reciben los rayos solares perpendicularmente durante todo el día, al contrario que los colectores planos que sólo son efectivos cuando tienen el sol perpendicularmente.

- El vacío protege el colector de la corrosión y no presenta condensaciones, esto les hace duraderos y fiables, con mantenimientos mínimos.
- Están herméticamente cerrados entre dos cristales altamente resistentes de boro silicato con una cámara de vacío entre ellos. El vacío elimina las pérdidas por conducción y convección, aísla del medio ambiente sin que el frío o el viento le afecten apenas el rendimiento.
- Debido a la forma circular, de los tubos, los rayos de sol son atrapados más eficazmente, especialmente al amanecer y al atardecer.
- Al tener pérdidas mínimas por convección o conducción, alcanzan temperaturas elevadas y permiten su utilización en calefacción por suelo radiante o radiadores.
- Permite alcanzar altas temperaturas incluso en zonas de clima poco favorable
- Mejor captación en días nublados.
- Mantenimiento sencillo debido a que los tubos pueden ser cambiados sin vaciar el circuito
- Mayor rendimiento con igual superficie respecto a paneles planos.
- Estética muy atractiva.
- Sustitución de los tubos de forma rápida y sencilla.

Aplicaciones de los tubos de vacío

Es posible emplear la tecnología de los tubos de vacío para casi cualquier aplicación que requiera agua caliente de entre 40 y 130 grados. Los colectores de tubo de vacío son especialmente apropiados para climas muy fríos y parcialmente nubosos.

f) SELECCIÓN DE LA BOMBA

Se elegirá una mini bomba, porque el prototipo experimental es de 1 m², la capacidad de la bomba es suficiente para el funcionamiento del prototipo.

Su función es recircular el agua. La bomba de agua está instalada a menor distancia del termo tanque y un tubo, llamado de aspiración, con su extremo inferior sumergido en el agua, conectando el cuerpo de bomba y piso.

Características:

Caudal Q:	0.0292 l/s
Velocidad:	0.76 m/s
Potencia de la bomba:	24 W (0.0322 HP)
Voltaje de la bomba:	12 Voltios
Amperaje:	2 Amperios

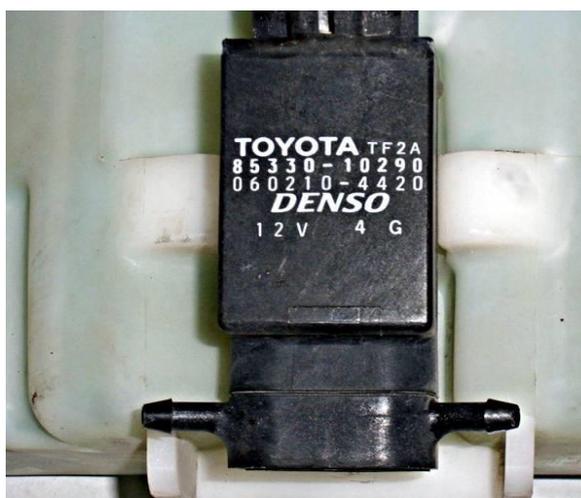


Figura 34: Bomba Toyota TF 2A

Fuente: ("Botella Agua Limpiaparabrisas Toyota Yaris Ref 85330 10290 060210 4420 - Despieces La Cuneta," n.d.)

4.1.2. DISEÑO DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

4.1.2.1. CARACTERÍSTICAS Y CÁLCULOS DEL PROTOTIPO

- Los datos serán obtenidos del prototipo, por otra parte se recolectaran de la entidad correspondiente Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) se mencionara en el Anexo N° 2.
- Teniendo los puntos a evaluar, se realizarán los cálculos para resolver, la densidad del PCM 45, Calor específico, Coeficiente de conductividad térmica, calor latente y la transferencia de calor en cada punto.
- Se hará el estudio del flujo de calor de calefacción en el prototipo, la superficie del prototipo es de 1m² y con una altura de 1.20 m.
- Se analizara el material de cambio de fase (PCM) a 45 ° C compuesto por parafinas, Se estudiara las condiciones de operatividad del PCM 45 para su mejor funcionamiento en el Piso.
- Al término de los cálculos, se procederá a realizar los cálculos finales para poder tener los elementos, materiales y dispositivos que se van a emplear para comenzar a realizar los planos, tanto de ensamble como de despiece.
- El sistema se alimentara con agua calentada por la energía solar para su funcionamiento, las pruebas se realizaran a partir de 60°C, 70°C y 80°C de temperatura del agua.

4.1.3. Estructura de Funciones

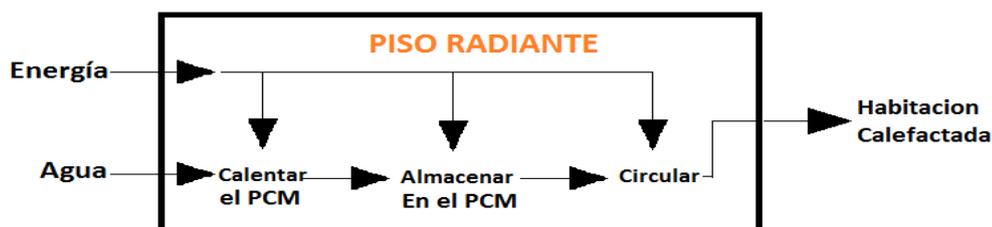


Figura 35: Diagrama de flujo

Elaboración: Propia

4.1.4. Matriz Morfológica

FUNCION	1 opcion	2 opcion	3 Opcion
Calentar agua	<p>Caldera</p>	<p>colector de tubos al vacio</p>	<p>Colector plano</p>
Almacenar agua caliente	<p>Tanque</p>	<p>Pcm 45</p>	<p>PISO RADIANTE</p>
Recirculacion	<p>Bomba eléctrica</p>	<p>Efecto Termosifon</p>	<p>Manual</p>
Fuente de energía para alimentación de la bomba	<p>Panel fotovoltaico</p>	<p>Turbina eolica</p>	<p>Red electrica</p>

Figura 36: Matriz morfológica

Elaboración: Propia

4.2. CALCULO DE LA DENSIDAD EL PCM 45

Determinación de la densidad del PCM45: En laboratorio:



Figura 37: Balanza Electrónica

Fuente: Fotografía laboratorio de la UNAJ –Balanza electrónica

De la Ec. 7

$$\rho = \frac{m \text{ (kg)}}{v \text{ (m}^3\text{)}}$$

Primera prueba:

$$\rho = \frac{5.6375g}{4.3ml} = 1.311047 = 1311.047 \text{ kg/m}^3$$

Segunda prueba:

$$\rho = \frac{0.9592g}{0.75ml} = 1.296216 = 1296.216 \text{ kg/m}^3$$

Tercera prueba:

$$\rho = \frac{0.4136g}{0.314ml} = 1.315854 = 1315.854 \text{ kg/m}^3$$

Luego promediamos los datos tomados:

$$\rho = \frac{1311.047 + 1296.216 + 1315.85}{3}$$

$$\rho = 1307.7706 \text{ kg/m}^3$$

4.3. CALCULO DEL CALOR ESPECÍFICO DEL PCM 45

Para determinar el calor específico del PCM45, necesitamos experimentar carga y descarga del material de cambio de fase con el agua y se realizó de la siguiente manera:

Materiales:

- Volumen de agua: 50ml = 0.05L
- Volumen de PCM45: 48ml = 0.048L
- Envase de cobre 0.0191m (3/4") x 0.2m
- Envase de PVC 0.0254m (1") x 0.2m
- Temperatura ambiente 14°C

Los datos Obtenidos del ensayo:

Tabla 13: Pruebas realizadas para obtener el calor específico del Pcm45 (15 mayo del 2017)

Hora	Temp. H2O	Temp. PCM	Hora	Temp. H2O	Temp. PCM	Hora	Temp. H2O	Temp. PCM
07:00 a.m.	82.2	12	07:51 a.m.	41.9	44.0	08:42 a.m.	38.5	40.6
07:01 a.m.	78.7	25.2	07:52 a.m.	41.9	44.0	08:43 a.m.	38.4	40.5
07:02 a.m.	71	40.5	07:53 a.m.	41.9	44.0	08:44 a.m.	38.3	40.4
07:03 a.m.	64.8	48.5	07:54 a.m.	41.9	44.0	08:45 a.m.	38.2	40.3
07:04 a.m.	63.1	49.6	07:55 a.m.	41.9	44.0	08:46 a.m.	38.1	40.2
07:05 a.m.	60.8	49.7	07:56 a.m.	41.9	44.0	08:47 a.m.	38.0	40.1
07:06 a.m.	59	49.8	07:57 a.m.	41.8	43.9	08:48 a.m.	37.9	40.0
07:07 a.m.	56.3	49.9	07:58 a.m.	41.8	43.9	08:49 a.m.	37.8	39.9
07:08 a.m.	55	50.3	07:59 a.m.	41.8	43.9	08:50 a.m.	37.7	39.8
07:09 a.m.	53.9	50.1	08:00 a.m.	41.7	43.8	08:51 a.m.	37.6	39.7
07:10 a.m.	52.9	50.2	08:01 a.m.	41.7	43.8	08:52 a.m.	37.5	39.6
07:11 a.m.	52.3	50.1	08:02 a.m.	41.6	43.7	08:53 a.m.	37.4	39.5
07:12 a.m.	51.7	49.8	08:03 a.m.	41.5	43.6	08:54 a.m.	37.3	39.4
07:13 a.m.	50.6	49.2	08:04 a.m.	41.5	43.6	08:55 a.m.	37.2	39.3
07:14 a.m.	49.9	48.9	08:05 a.m.	41.5	43.6	08:56 a.m.	37.1	39.2
07:15 a.m.	49.7	48.6	08:06 a.m.	41.5	43.6	08:57 a.m.	37.0	39.1
07:16 a.m.	49.3	48.2	08:07 a.m.	41.5	43.6	08:58 a.m.	37.0	39.1
07:17 a.m.	48.9	47.9	08:08 a.m.	41.5	43.6	08:59 a.m.	37.0	39.1
07:18 a.m.	48.3	47.2	08:09 a.m.	41.5	43.6	09:00 a.m.	36.9	39.0
07:19 a.m.	48	46.9	08:10 a.m.	41.4	43.5	09:01 a.m.	36.8	38.9
07:20 a.m.	47.6	46.7	08:11 a.m.	41.4	43.5	09:02 a.m.	36.6	38.7
07:21 a.m.	47.2	46	08:12 a.m.	41.4	43.5	09:03 a.m.	36.5	38.6
07:22 a.m.	45.9	47.0	08:13 a.m.	41.3	43.4	09:04 a.m.	36.3	38.4
07:23 a.m.	45.9	46.6	08:14 a.m.	41.3	43.4	09:05 a.m.	36.1	38.2
07:24 a.m.	45.6	46.2	08:15 a.m.	41.3	43.4	09:06 a.m.	36.0	38.1
07:25 a.m.	45.3	45.9	08:16 a.m.	41.3	43.4	09:07 a.m.	35.9	38.0
07:26 a.m.	45.0	45.5	08:17 a.m.	41.2	43.3	09:08 a.m.	35.3	37.4
07:27 a.m.	44.7	45.2	08:18 a.m.	41.1	43.2	09:09 a.m.	34.9	37.0
07:28 a.m.	44.3	44.9	08:19 a.m.	41.1	43.2	09:10 a.m.	34.5	36.6
07:29 a.m.	44.0	44.5	08:20 a.m.	41.1	43.2	09:11 a.m.	34.2	36.3
07:30 a.m.	43.8	44.2	08:21 a.m.	41.0	43.1	09:12 a.m.	33.8	35.9
07:31 a.m.	43.4	43.9	08:22 a.m.	41.0	43.1	09:13 a.m.	33.4	35.5
07:32 a.m.	43.1	43.7	08:23 a.m.	40.9	43.0	09:14 a.m.	33.0	35.1
07:33 a.m.	42.9	43.6	08:24 a.m.	40.9	43.0	09:15 a.m.	32.6	34.7
07:34 a.m.	42.9	43.9	08:25 a.m.	40.8	42.9	09:16 a.m.	32.3	34.4
07:35 a.m.	42.7	44.0	08:26 a.m.	40.1	42.2	09:17 a.m.	31.9	34.0
07:36 a.m.	42.6	44.1	08:27 a.m.	40.0	42.1	09:18 a.m.	31.5	33.6
07:37 a.m.	42.6	44.1	08:28 a.m.	39.9	42.0	09:19 a.m.	31.1	33.2
07:38 a.m.	42.5	44.1	08:29 a.m.	39.8	41.9	09:20 a.m.	30.7	32.8
07:39 a.m.	42.5	44.1	08:30 a.m.	39.7	41.8	09:21 a.m.	30.9	33.0
07:40 a.m.	42.4	44.1	08:31 a.m.	39.6	41.7	09:22 a.m.	29.9	32.0
07:41 a.m.	42.3	44.0	08:32 a.m.	39.5	41.6	09:23 a.m.	29.8	31.9
07:42 a.m.	42.3	44.0	08:33 a.m.	39.4	41.5	09:24 a.m.	29.4	31.5
07:43 a.m.	42.2	44.0	08:34 a.m.	39.3	41.4	09:25 a.m.	29.1	31.2
07:44 a.m.	42.1	44.0	08:35 a.m.	39.2	41.3	09:26 a.m.	28.7	30.8
07:45 a.m.	42.1	44.0	08:36 a.m.	39.1	41.2	09:27 a.m.	28.4	30.5
07:46 a.m.	41.9	44.0	08:37 a.m.	39.0	41.1	09:28 a.m.	28.0	30.1
07:47 a.m.	41.9	44.0	08:38 a.m.	38.9	41.0	09:29 a.m.	27.7	29.8
07:48 a.m.	41.8	44.0	08:39 a.m.	38.8	40.9	09:30 a.m.	27.3	29.4
07:49 a.m.	41.9	44.0	08:40 a.m.	38.7	40.8	09:31 a.m.	27.0	29.1
07:50 a.m.	41.9	44.0	08:41 a.m.	38.6	40.7	09:32 a.m.	26.6	28.7

Elaboración: Propia

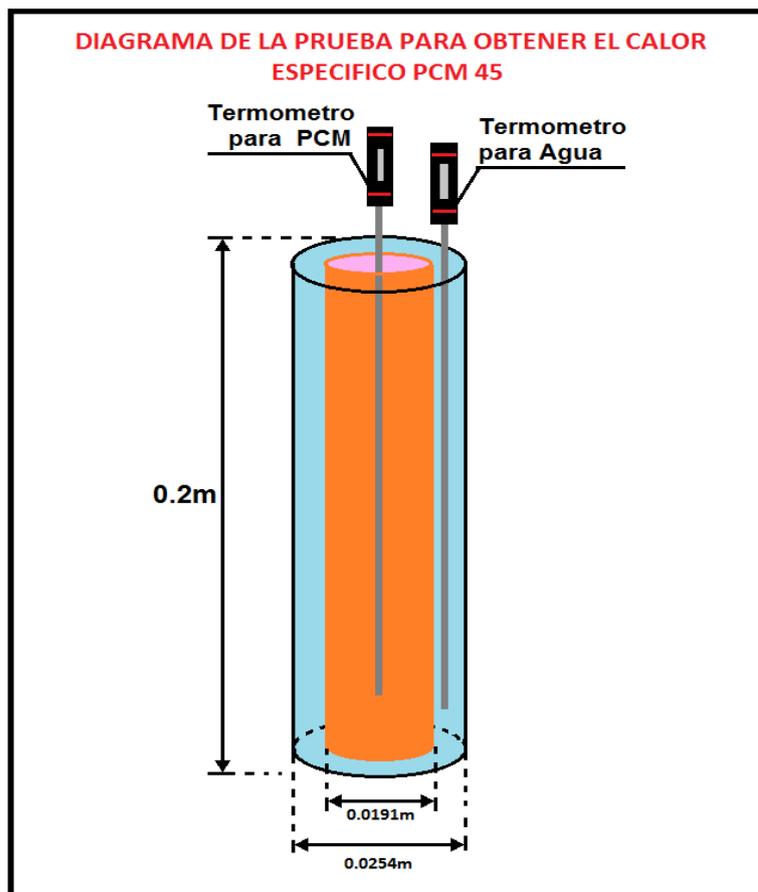


Figura 38: Diagrama de prueba para obtener el calor específico
Elaboración: Propia

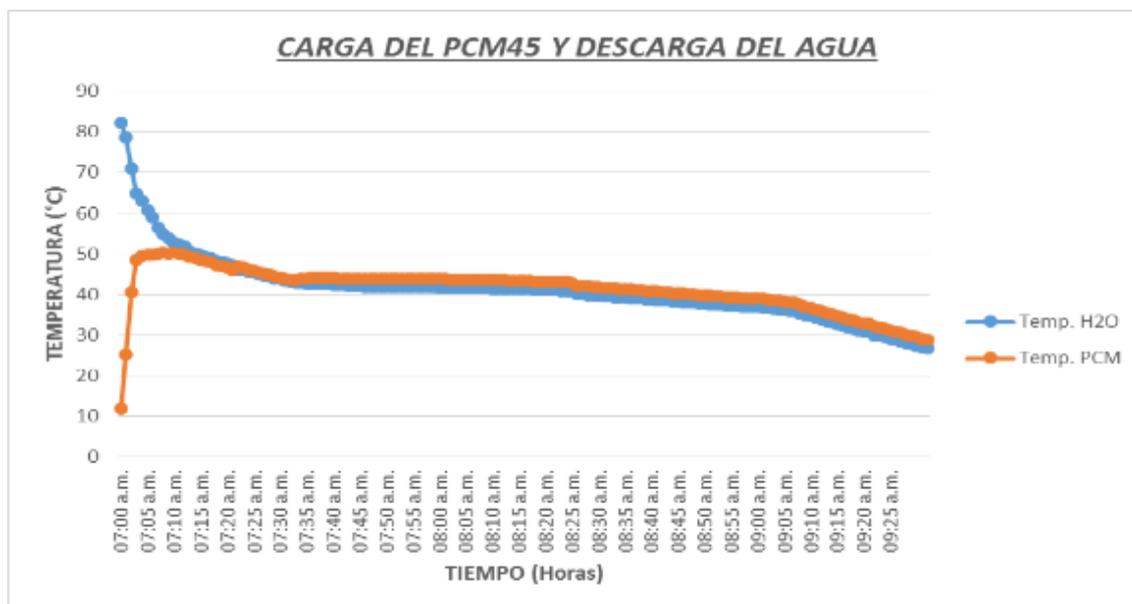


Figura 39: Grafico de carga del PCM 45 y descarga del agua a 82° C
Elaboración: Propia

Calculo del Calor específico del PCM 45:

De la Ec. 8
$$C_{ePCM45} = \frac{m_{H_2O} \times C_{eH_2O} \times \Delta T_{H_2O}}{m_{PCM45} \times \Delta T_{PCM45}}$$

Determinación de masa del PCM45:

Despejando de la Ec. 7

$$\rho = \frac{m \text{ kg}}{v \text{ m}^3}$$

$$m = \rho \text{ kg/m}^3 \times m^3$$

$$m = 1307.7706 \text{ kg/m}^3 \times 4.8E - 5$$

$$m = 0.062277 \text{ kg}$$

Masa del agua:

$$m_{H_2O} = 50 \text{ ml} = 0.05 \text{ lt} = 0.05 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{H_2O} = (82.2^\circ\text{C} - 52^\circ\text{C}) = 30.2^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{PCM45} = (52^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}) = 40^\circ\text{C}$$

$$C_{ePCM45} = \frac{0.05 \text{ kg} \times 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{g}^\circ\text{C}} \times 30.2^\circ\text{C}}{0.0623 \text{ kg} \times 40^\circ\text{C}}$$

$$C_{ePCM45} = 2.5365 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$$

4.4. CALCULO DE COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD DEL PCM 45

Tabla 14: Conductividad térmica de diferentes PCMs

TIPO PCM	DE	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA: SOLIDO	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA: LIQUIDO
PCM 55		0.57 W/m/°K	0.47 W/m/°K
PCM 48		0.76 W/m/°K	0.53 W/m/°K
PCM 45		0.76 W/m/°K	0.63 W/m/°K

PCM 32	0.76 W/m/°K	1.08 W/m/°K
PCM 28	0.98 W/m/°K	0.72 W/m/°K

Fuente: (Pcm, n.d.)

Para calcular el coeficiente de conductividad térmica del PCM 45 de parafina se realizara una interpolación con los datos cercanos al PCM45 y como resultado nos da 0.63 W/m/°K aproximadamente y con este dato se realizara los cálculos posteriores.

4.5. CALCULO DE LAS RESISTENCIAS DEL TUBO CONCÉNTRICO

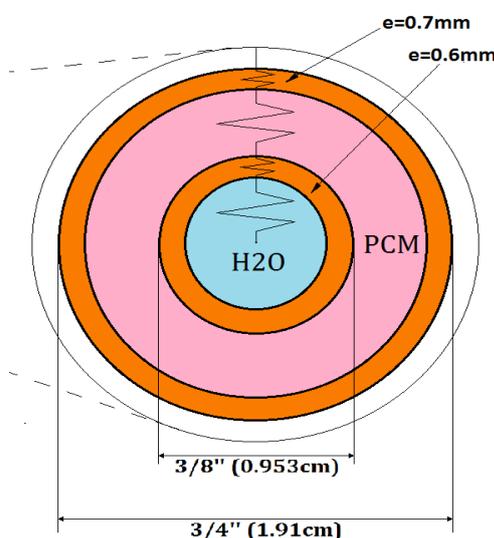


Figura 40: Diagrama de resistencia en los tubos de cobre

Elaboración: Propia

4.5.1. CIRCUITO TÉRMICO:

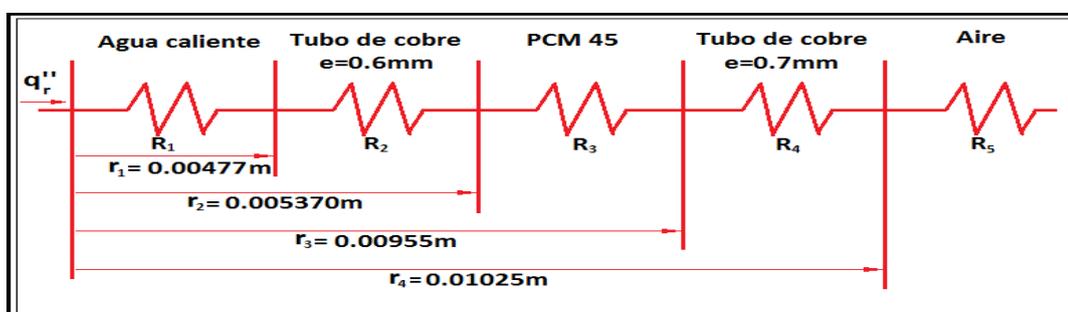


Figura 41: Circuito térmico de los tubos de cobre

Elaboración: Propia

4.6. CALCULO DEL COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD CONVECTIVO:

Dato: las propiedades del agua a 70 °C al ingreso a la tubería del prototipo son:

$$\rho = 977.8 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = 0.7604 \text{ m/s}$$

$$D = 0.007 \text{ m}$$

$$\mu = 0.000404 \text{ N.s/m}^2 \text{ (viscosidad dinamica anexo G)}$$

$$C_p = 4.191 \text{ KJ/Kg}\cdot\text{K}$$

$$Pr = 2.62$$

$$K = 0.6595$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \dots\dots\dots \text{(Ec. 10)}$$

$$Re = \frac{977.8 * 0.7604 * 0.007}{0.000404}$$

$$Re = 12882.75$$

Como se puede apreciar el $Re = 12882.75 > 2300 \rightarrow$ es turbulento

Calculo del Número de Nusselt:

Dato: Temperatura promedio del agua es 70°C

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \dots\dots\dots \text{(Ec. 11)}$$

$$Nu = 0.023 \times 12882.75^{0.8} \times 2.62^{0.4}$$

$$Nu = 65.62$$

Despejando h coeficiente convectivo

Dato: $k = 0.6595 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

$$D = 0.007 \text{ m}$$

$$Nu = \frac{h * D}{k} = 65.62$$

$$\frac{h * 0.007}{0.6595} = 65.62$$

$$h = \frac{65.62 * 0.6595}{0.007}$$

$$h = 6182.6 \frac{W}{m^2 \cdot C} = 22.6345 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Resistencia del agua:

$$R_1 = \frac{1}{h \times A} = \frac{1}{22.6345 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 2 \times \pi \times 0.00477m \times 9m} = 0.1638 K/W$$

Resistencia de tubo de cobre 3/8

$$R_2 = \frac{Ln(0.005370/0.00477)}{372.1W/mK \times 2 \times \pi \times 9m} = 0.000006 K/W$$

Resistencia del PCM en estado liquido

$$R_3 = \frac{Ln(0.00955/0.005370)}{0.63W/mK \times 2 \times \pi \times 9m} = 0.0162 K/W$$

Resistencia del PCM en estado solido

$$R_{3.1} = \frac{Ln(0.00955/0.005370)}{0.76W/mK \times 2 \times \pi \times 9m} = 0.0134 K/W$$

Resistencia del tubo de cobre 3/4

$$R_4 = \frac{Ln(0.01025/0.00955)}{372.1W/mK \times 2 \times \pi \times 9m} = 0.000003 K/W$$

$$\sum R = 0.1810 \frac{K}{W} + 0.000006 \frac{K}{W} + 0.0162 \frac{K}{W} + 0.000003 \frac{K}{W}$$

$$\sum R = 0.18 \frac{K}{W}$$

4.6.1. TRANSFERENCIA DE CALOR DEL TUBO:

$$q''_x = \frac{\Delta T}{\sum R} \dots\dots\dots(Ec. 12)$$

$$q''_x = \frac{70^{\circ}\text{C} - 62.3^{\circ}\text{C}}{0.18 \frac{\text{K}}{\text{W}}} = 42.7778 \text{ w/m}$$

4.7. TRANSFERENCIA DE CALOR DEL PISO RADIANTE

- conductividad térmica de los materiales

Tabla 15: Conductividad térmica de los materiales utilizados

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LOS MATERIALES	
MATERIAL	CONDUCT. TERMICA
Madera Machihembrado	0.13 W/(m * K)
tubo de cobre	372.1 W/(m * K)
Agua Caliente	0.58 W/(m * K)
PCM 45	0.63 W/(m*K)
Lana de Vidrio	0.036 W/(m * K)
Poliestireno Expandido	0.034 W/(m * K)
Polietileno	0.0001 W/(m * K)
Madera Prensada	0.12 W/(m * K)
Mortero de cemento	1.4 W/(m * K)
Tierra seco	0.6 W/(m* K)

Elaboración: Propia

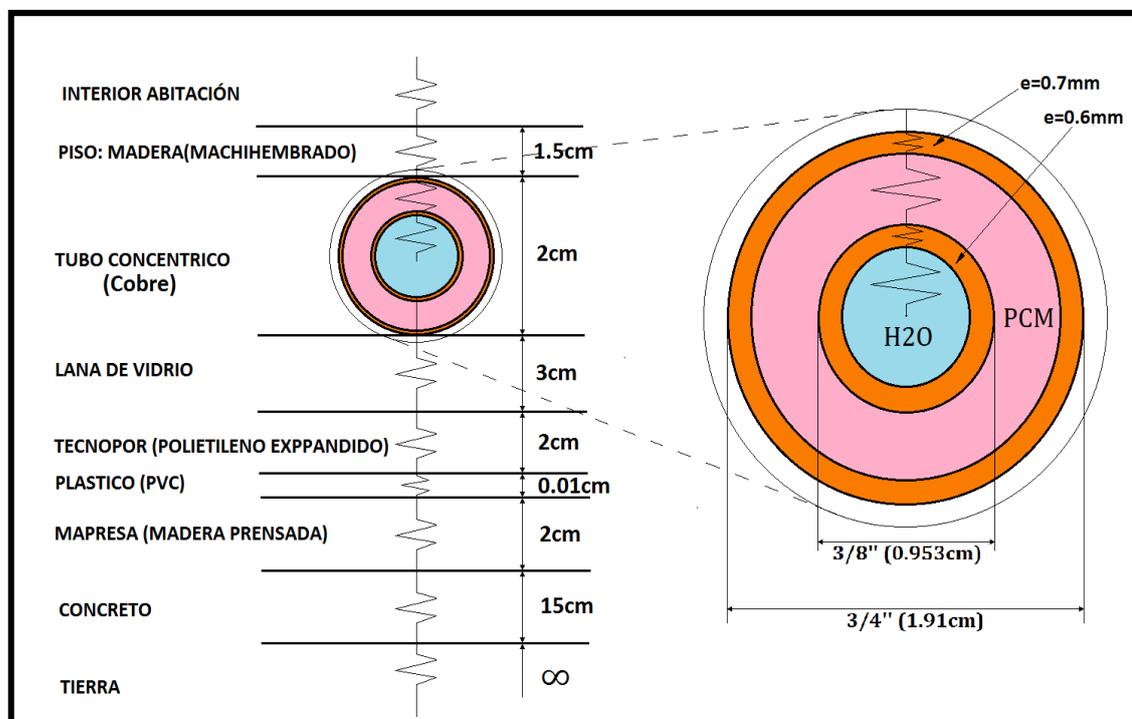


Figura 42: Diagrama de resistencias en el piso radiante

Elaboración: Propia

DATOS:

Para calcular la transferencia de calor tendremos en cuenta temperaturas promedios tomados en la experimentación del prototipo:

Temperatura del agua en circulación 70°C

Temperatura promedio del suelo (tierra) 8°C

Temperatura promedio del ambiente 10°C

Temperatura deseada en el ambiente del prototipo 21°C

Área del piso 1m²

TRANSFERENCIA DE CALOR DEL PISO:

De la Ec. 12
$$q'_x = \frac{\Delta T}{\sum R}$$

RESISTENCIA POR CONDUCCIÓN:

$$R_{cond} = \frac{L}{KA} \dots \dots \dots \text{(Ec. 13)}$$

Resistencia lana de vidrio:

$$R_{lana\ de\ vidrio} = \frac{0.03m}{0.036W/mK \times 1m^2} = 0.8333K/W$$

Resistencia de poliestireno expandido (tecnopor):

$$R_{poliestireno\ exp.} = \frac{0.02m}{0.034W/mK \times 1m^2} = 0.5882K/W$$

Resistencia de polietileno (plástico):

$$R_{polietileno} = \frac{0.0001m}{0.43W/mK \times 1m^2} = 0.0002 K/W$$

Resistencia de madera prensada (mapresa):

$$R_{mapresa} = \frac{0.02m}{0.16W/mK \times 1m^2} = 0.1215 K/W$$

Resistencia de mortero (cemento – arena):

$$R_{\text{mortero}} = \frac{0.07m}{0.63W/mK \times 1m^2} = 0.1111 K/W$$

Resistencia total:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{lana de vidrio}} + R_{\text{poliestireno exp.}} + R_{\text{polietileno}} + R_{\text{mapresa}} + R_{\text{mortero}}$$

$$R_{\text{total}} = 0.8333 \frac{K}{W} + 0.5882 \frac{K}{W} + 0.0002 \frac{K}{W} + 0.1215 \frac{K}{W} + 0.1111 \frac{K}{W}$$

$$R_{\text{total}} = 1.6579 \frac{K}{W}$$

TRANSFERENCIA DE CALOR:

$$q''_x = \frac{30^\circ C - 8^\circ C}{1.6579 \frac{K}{W}} = 13.2698 W$$

4.8. TRANSFERENCIA DE CALOR A UN METRO DE ALTURA DESDE LA ZONA DEBAJO DEL PISO DEL PISO RADIANTE

a) POR CONVECCIÓN:

Resistencia del piso radiante (Machihembrado). De la Ec. 13.

$$R_p = \frac{0.015m}{0.13W/mK \times 1m^2} = 0.1154 \frac{W}{K}$$

$$R_a = \frac{1}{9.09W/mK \times 1m^2} = 0.1111 \frac{W}{K}$$

$$R_T = 0.1154 \frac{W}{K} + 0.1111 \frac{W}{K} = 0.2265 \frac{W}{K}$$

$$q''_x = \frac{33 - 21}{0.2265W/K} = 52.9801w$$

b) POR RADIACIÓN:

$$T_1 = 30^\circ C = 303.15^\circ K$$

$$T_1 = 20^\circ C = 293.15^\circ K$$

De la Ec. 3

$$q_r = \sigma AT^4$$

$$q_r = \sigma A(T_1^4 - T_2^4)$$

$$\sigma = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

$$q_r = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \times 1m^2 \times ((303.15^\circ K)^4 - (294.15^\circ K)^4)$$

$$q_r = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \times 1m^2 \times 959154676.28^\circ K^4$$

$$q_r = 54.384W$$

4.9. TRANSFERENCIA DE CALOR EN LAS PAREDES DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL.

Tabla 16: Componentes de la pared

COMPONENTES DE LAS PAREDES DEL PROTOTIPO		
MATERIAL	ESPESOR	CONDUCT. TERMICA
Plancha de yeso (Gyplac)	0.012 m	0.29 - 0.58 W/(m * K)
Triplay	0.004 m	0.14 W/(m* K)
Aire	0.036 m	0.026 W/(m * K)

Elaboración: Propia

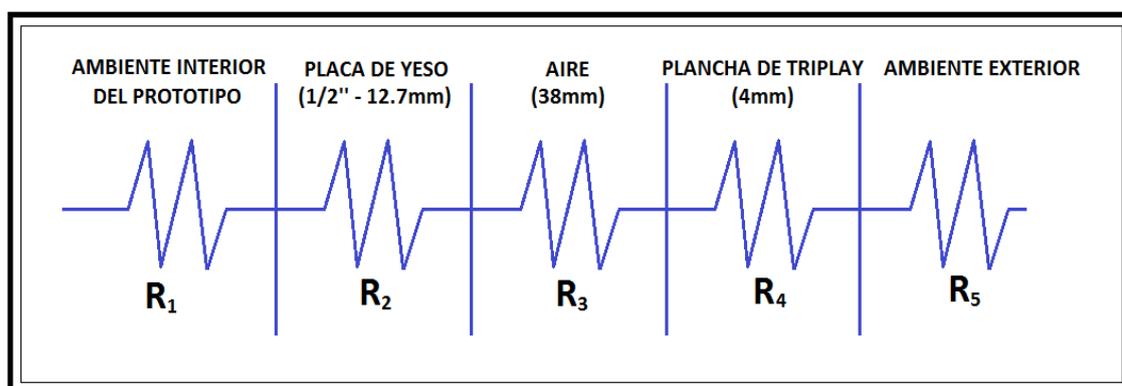


Figura 43: Circuitos de transferencia de calor en la pared

Elaboración: Propia

4.9.1. TRANSFERENCIA DE CALOR EN LAS PAREDES

De la Ec. 13.
$$q'_x = \frac{\Delta T}{\Sigma R}$$

RESISTENCIA DE: AMBIENTE INTERIOR

$$R_1 = \frac{1}{9.09 \frac{W}{mK} \times 1.2m^2} = 0.0916K/W$$

RESISTENCIA DE: PLACA DE YESO (GIPLAC)

$$R_2 = \frac{0.0127m}{0.29 \frac{W}{mK} \times 1.2m^2} = 0.0365K/W$$

RESISTENCIA DE: AIRE

$$R_3 = \frac{0.038m}{0.026 \frac{W}{mK} \times 1.2m^2} = 1.2179K/W$$

RESISTENCIA DE: TRIPLAY

$$R_4 = \frac{0.004m}{0.14 \frac{W}{mK} \times 1.2m^2} = 0.0238K/W$$

RESISTENCIA DE: AMBIENTE EXTERIOR

$$R_5 = \frac{1}{20 \frac{W}{mK} \times 1.2m^2} = 0.04167K/W$$

RESISTENCIA TOTAL:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$R_T = \frac{0.0916K}{W} + \frac{0.0365K}{W} + \frac{1.2179K}{W} + \frac{0.0238K}{W} + \frac{0.041667K}{W}$$

$$R_T = 1.4116 K/W$$

Perdida por pared:
$$q'_x = \frac{20^{\circ}C - 8^{\circ}C}{1.4116K/W} = 8.5010W$$

Perdida en las cuatro paredes:
$$q'_x = 34.00W$$

4.10. CALCULO DE LA LONGITUD DE LA TUBERÍA:

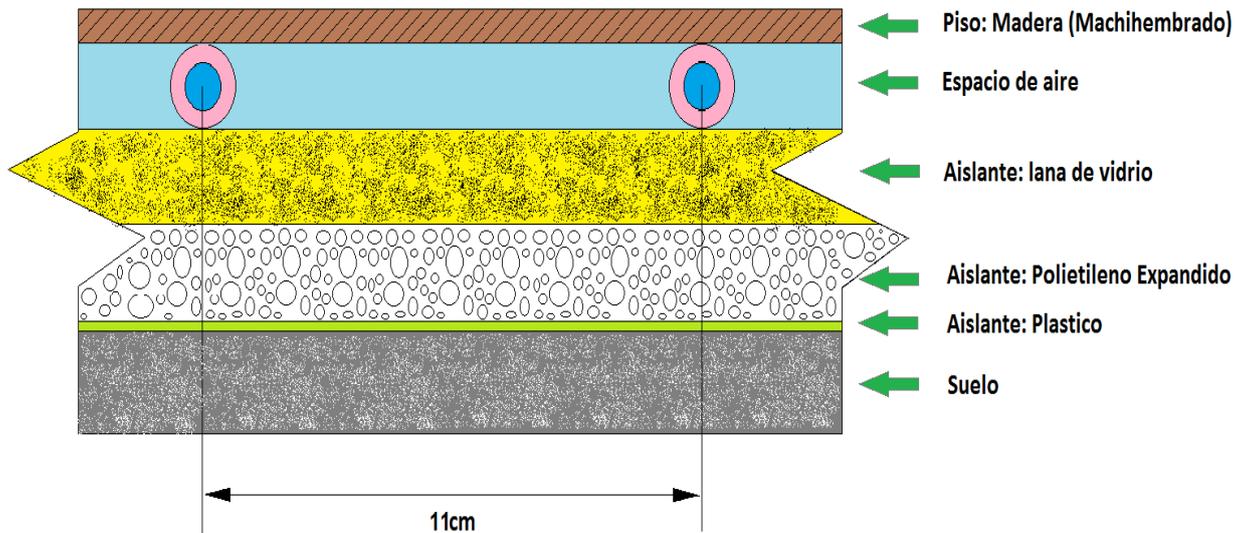


Figura 44: Esquema de disposición de la tubería en el Piso Radiante

Elaboración: Propia

En este caso se ha considerado que los tubos se encuentran separados una longitud de 11cm (110mm), además son tubos de cobre de 3/4 y 3/8, el suelo posee las siguientes características:

Para calcular la longitud de la tubería debe realizarse la siguiente operación

$$L = \frac{Area_{Piso-Radiante}}{Separación_{Tubos}} \dots\dots\dots Ec. 14$$

$$L = \frac{Area_{Piso-Radiante}}{Separación_{Tubos}} = \frac{1m^2}{0.11m} = 9.1m$$

4.11. ESQUEMA GENERAL DETALLADO

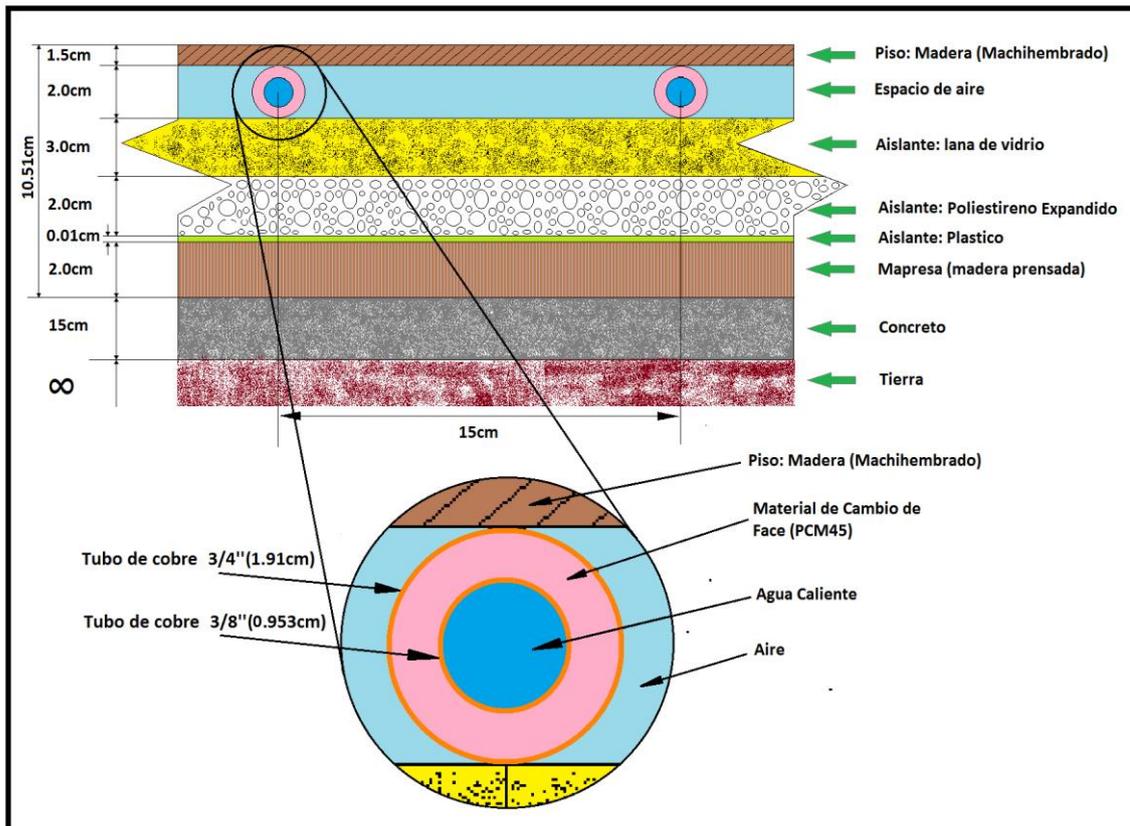


Figura 45: Esquema de capas de aislamientos del piso radiante
Elaboración: Propia

4.12. CÁLCULO DEL CAUDAL Y VELOCIDAD DEL AGUA

4.12.1. CALCULO DE CAUDAL DE AGUA MODO EXPERIMENTAL

Primera prueba: $Q = V \times A \dots \dots \dots$ (Ec. 15)

$$Q = \frac{1.475L}{49.826s} = 0.0296 L/s$$

Segunda prueba:

$$Q = \frac{1.510L}{51.936s} = 0.0291 L/s$$

Tercera prueba:

$$Q = \frac{1.5L}{51.14s} = 0.0292 L/s$$

Cuarta prueba:

$$Q = \frac{1.5L}{51.948s} = 0.0298 L/s$$

PROMEDIO:
$$Q = \frac{0.0296L/s + 0.0291L/s + 0.0292L/s + 0.0298L/s}{4}$$

$$Q = 0.0292L/s = 0.0000292 m^3/s$$

Calculo de velocidad:

De la Ec. 15
$$V = \frac{Q}{A}$$

Diámetro del tubo de salida: 7mm (anexo H)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \dots\dots\dots (Ec. 16)$$

$$A = \frac{\pi(0.007)^2}{4} = 0.00003848m^2$$

De la Ec. 15
$$V = \frac{0.0000292m^3/s}{0.00003848m^2} = 0.7604 m/s$$

4.13. COSTOS

4.13.1. COSTO DEL PISO RADIANTE

El precio de la tubería de Cobre Flexible fue proporcionado por la empresa Importaciones HYDRAFLEX PERÚ S.A.C y de la bomba de circulación por la empresa Repuestos EL PROGRESO E.I.R.L.

Tabla 17: Costos de materiales del piso radiante

MATERIALES	UNIDAD	PRECIO. UNITARIO (S/.)	CANTIDAD	PRECIO (S/.)
Tecopor	1m2x20mm	5.00	1	5.00
Madera Machihembrado	m2x 15mm	48.00	1	48.00

Tubería Cobre 3/4	1m x 19.1mm	14.60	8m	106.8
Tubería de cobre 3/8	1m x 9.53mm	6.60	9m	59.4
Bomba de circulación	Unidad	20.00	1	20.00
Aislamiento: Lana de vidrio	1m ² x 30mm	6.00	1	6.00
Descanso de Machihembrado	1mx 50mm	2.60	3	8.00
Plástico para base	1m x 1m	3.00	1	3.00
PCM 45 de Parafina	1.5 Litros	33.00	1	33.00
TOTAL COSTO POR m2 (SOLES)				289.20

Elaboración: Propia

4.13.2. COSTO DEL COLECTOR SOLAR

El precio ha sido proporcionado por la empresa TECSOL S.A.C.

Tabla 18: Precio del colector solar

Elemento	Unidad	Precio unitario (S/.)	Cantidad	Precio (S/.)
Colector solar de tubo al Vacío de 80 litros	1	850.00	1	850.00

Elaboración: Propia

4.14. ENSAYO DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL:

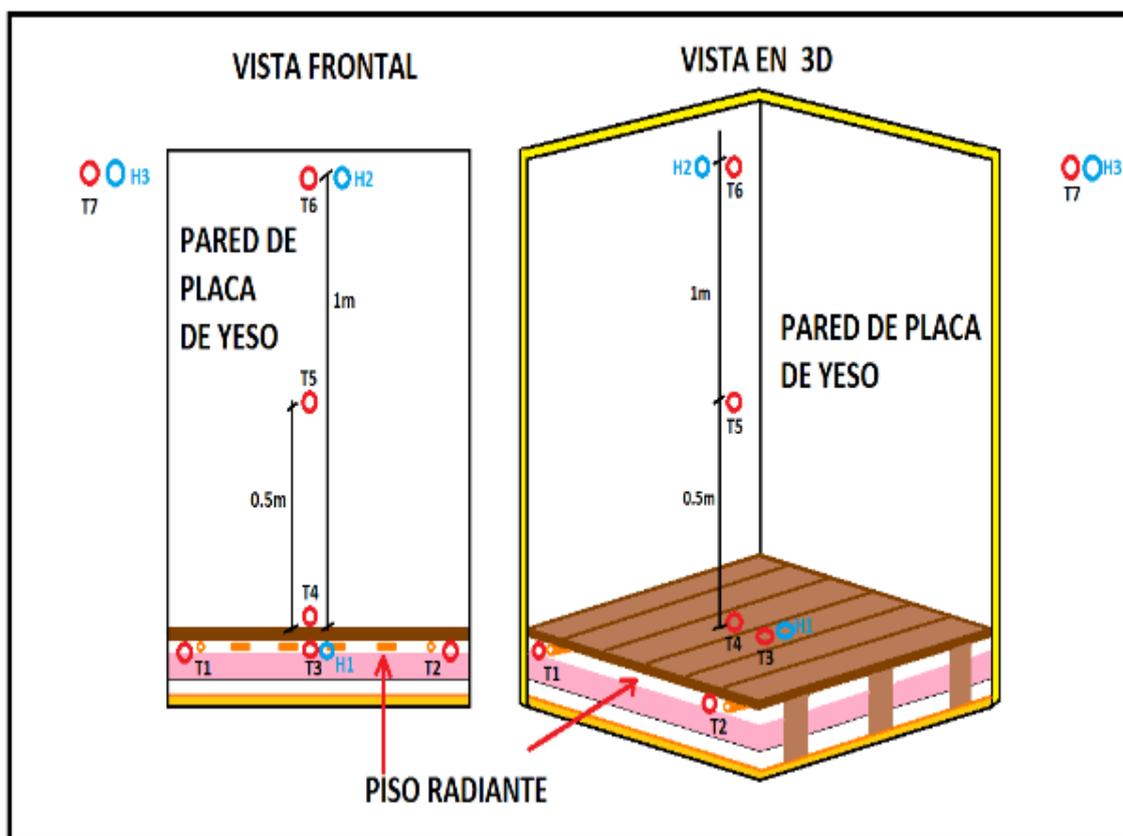


Figura 46: Ubicación de sensores

Elaboración: Propia

Adquisición de información:

Una vez terminado el montaje de los accesorios y equipos en el interior del prototipo experimental se realizarán los siguientes procedimientos:

- En la locación de la prueba (lugar geográfico):
- verificación de todos los termómetros e higrómetros ubicados en el interior del prototipo experimental y en el termo tanque.
- Cierre del techo del prototipo experimental.
- Anotar la hora de inicio de la medición.

- Anotar cada 02 minutos los valores de los sensores del sistema de medición.
- Supervisar cada 10 minutos el correcto funcionamiento del sistema de calefacción. Esta supervisión solo consistirá en verificar el funcionamiento de la bomba.

Condiciones de ensayo: Las variables a considerar son:

- Temperatura y humedad interior del prototipo experimental (termómetro N° 4, 5,6 higrómetro N°2) para las condiciones ambientales internas del prototipo experimental.
- Temperatura y humedad en el interior del piso radiante del prototipo experimental (termómetro N°1, 2 y 3 higrómetro N°1) para las condiciones ambientales debajo del piso radiante.
- Temperatura y humedad del ambiente exterior (termómetro N° 7 higrómetro N° 3)
- La temperatura del agua de ingreso al prototipo experimental será registrado por el termómetro N°1.
- La temperatura del agua de salida del prototipo experimental será registrado por el termómetro N°2.

Horario de funcionamiento del sistema de calentamiento de los colectores solares, será desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas

Horario de funcionamiento del sistema de calentamiento interior, será desde las 18:00 horas hasta las 06:00 horas

Procedimiento a seguir para el registro de variables térmicas en la locación dele prototipo experimental

Ensayo 1 durante la noche (18:00 hasta 6:00 horas):

- No se tendrá ninguna carga térmica dentro del prototipo experimental.
- Una vez cargado el agua a una temperatura de 75 a 80°C en el termo tanque. Se encenderá la bomba a las 18: 00 horas para transferir calor al ambiente interior del prototipo experimental, hasta llegar una temperatura a 21°C
- Una vez alcanzado una temperatura de 21°C, se desconectara la bomba
- Verificar la lectura de los termómetros y los higrómetros durante la descarga, hasta llegar a una temperatura menor o igual a 20°C.
- Se procederá a encender la bomba cuando la temperatura interior del prototipo experimental sea menor o igual a 20°C
- Se repetirá el procedimiento en cada ciclo de carga y descarga hasta 6:00 horas aproximadamente.

Ensayo 2 durante el día (6:00 hasta 18:00 horas):

- No se tendrá ninguna carga térmica dentro del prototipo experimental.
- Una vez cargado el agua a una temperatura de 75 a 80°C en el termo tanque. Se encenderá la bomba a las 6:00 horas para transferir calor al ambiente interior del prototipo experimental, hasta llegar una temperatura a 21°C
- Una vez alcanzado una temperatura de 21°C, se desconectara la bomba
- Verificar la lectura de los termómetros y los higrómetros durante la descarga, hasta llegar a una temperatura menor o igual a 20°C.

- Se procederá a encender la bomba cuando la temperatura interior del prototipo experimental sea menor o igual a 20°C
- Se repetirá el procedimiento en cada ciclo de carga y descarga hasta 18:00 horas aproximadamente.

Nota, Calefacción: ambiente exterior a menor temperatura que la especificada para el prototipo.

4.15. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR PISO RADIANTE UTILIZANDO PCM45

RADIACION SOLAR EN LA CIUDAD DE PUNO: 5.2 KWH/m2 (ANEXO I)

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ útil}{Potencia\ consumida} \dots\dots\dots(Ec. 17)$$

Dato: $P_{termotanque} = 866.67W$ (Promedio)

Solo se gasta un 18.75% de la potencia del tanque durante 12 horas de funcionamiento del sistema de calefacción.

$$P_{consumida} = 162.5W$$

De la Ec. 13 $Q_t = \sum transferencias\ de\ calor$

$$Q_t = 52.98W + 54.38W$$

$$P = Q_t = 107.36W$$

$$P_{útil} = 107.36W$$

$$E = \frac{107.36W}{162.5W} \times 100 = 66.07\% (Promedio)$$

**TOMA DE DATOS:
ENSAYO 01:**

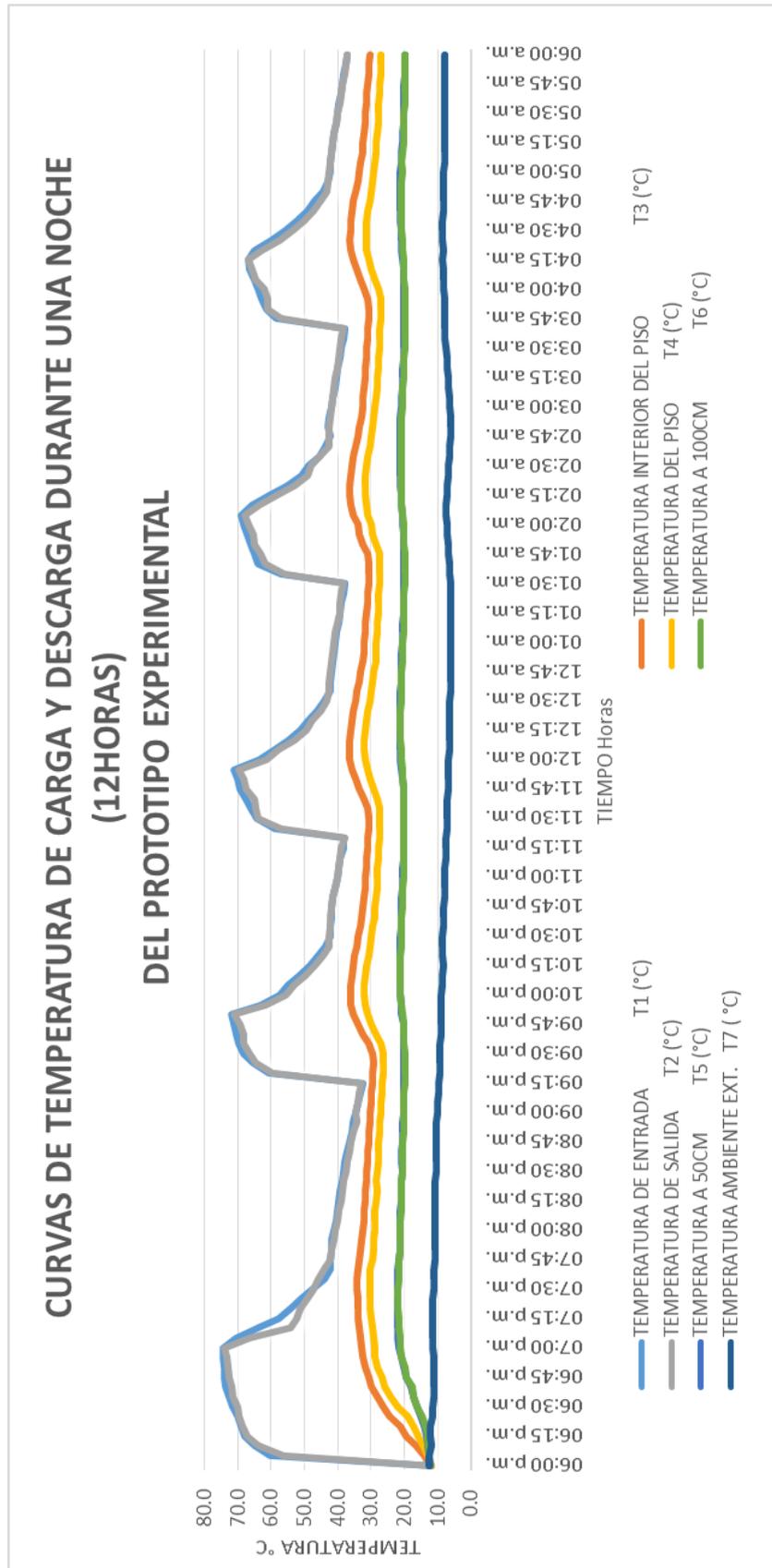


Figura 47 Curvas de temperatura de carga y descarga durante una noche (12 horas) del prototipo experimental (18 de mayo del 2017)

Elaboración: Propia

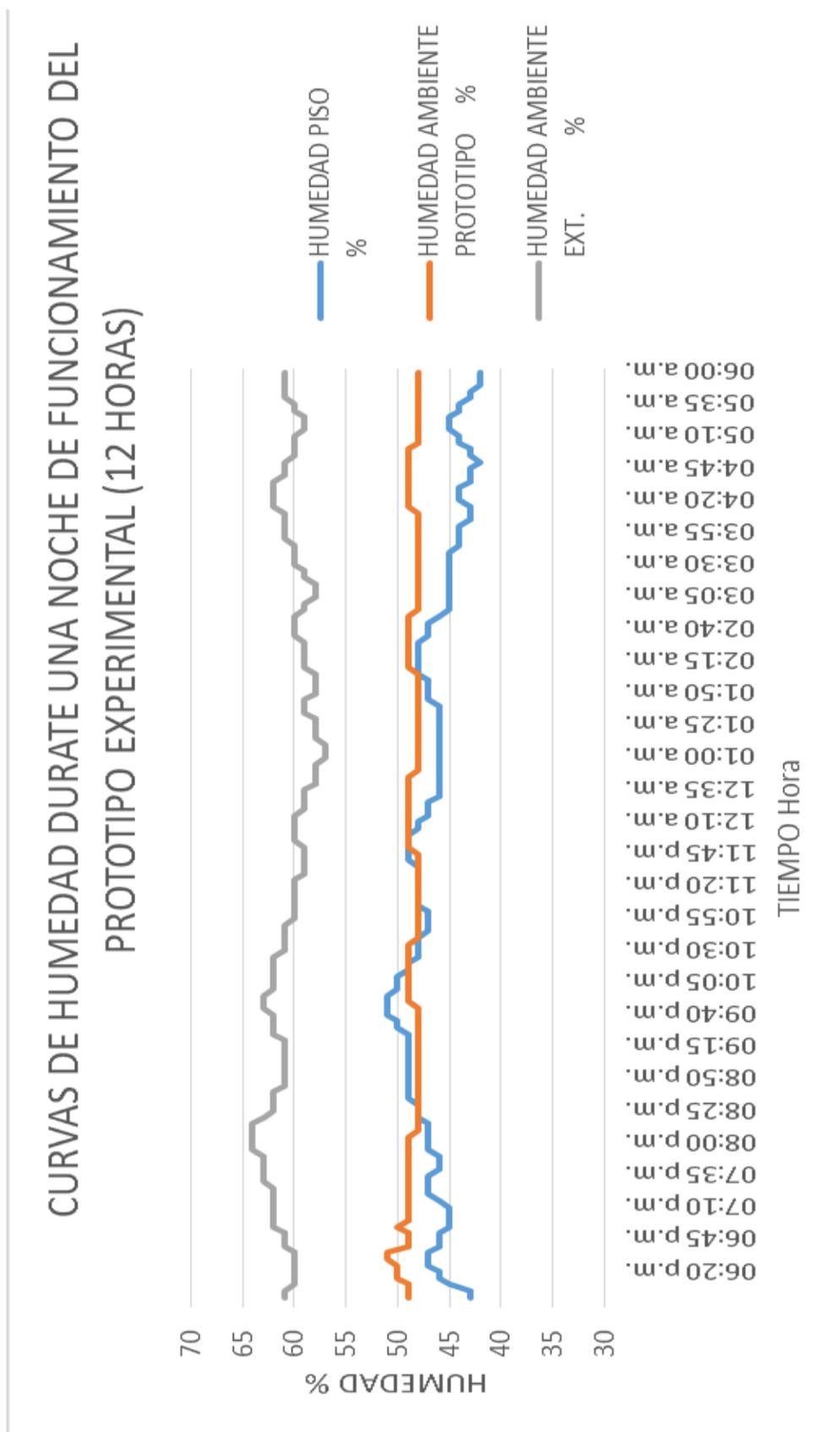


Figura 48: Curvas de humedad durante una noche de funcionamiento del prototipo experimental (12HORAS) (18 de mayo del 2017)
Elaboración: Probia

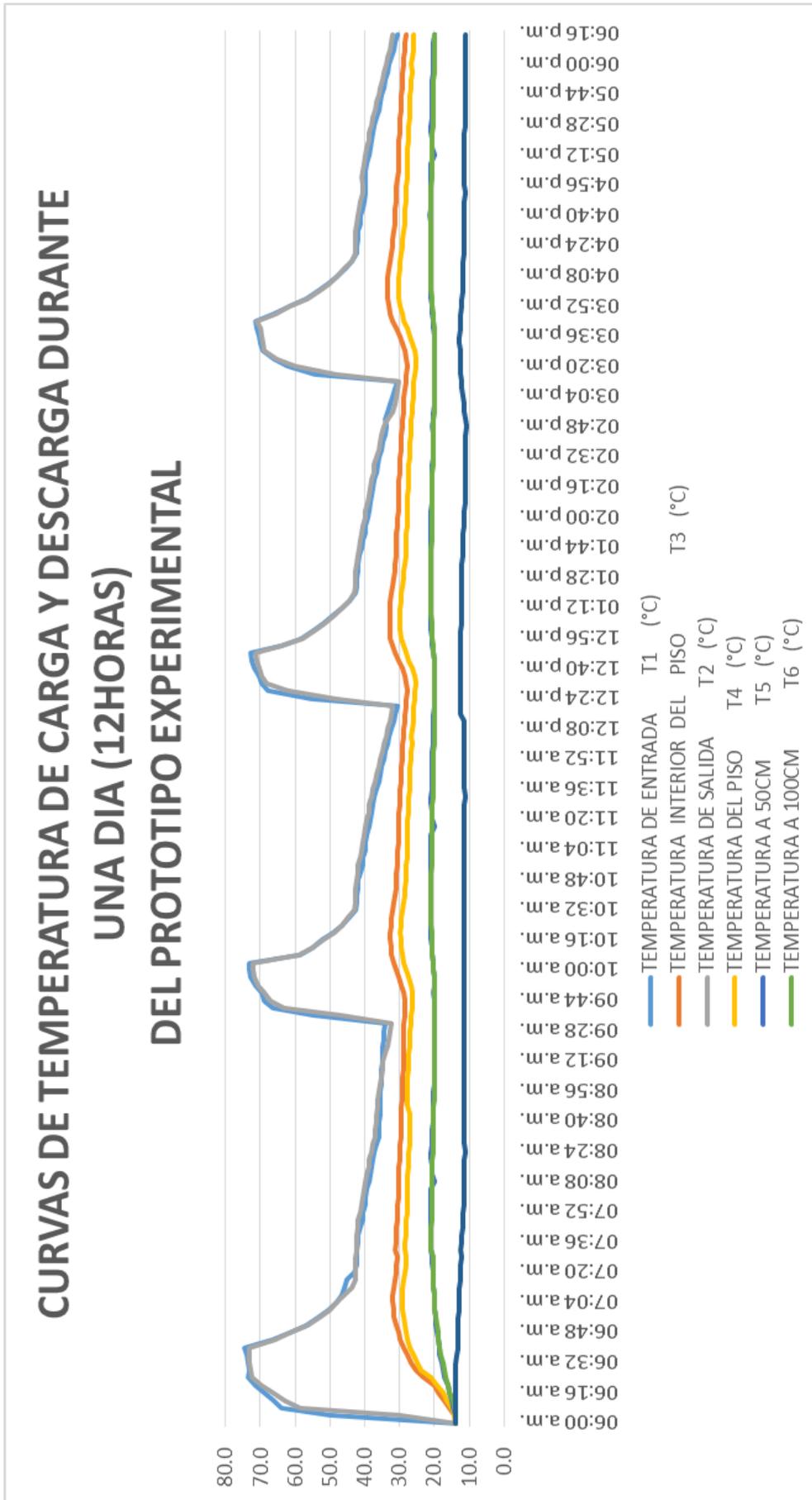


Figura 49: Curvas de temperatura de carga y descarga durante una día (12HORAS) del prototipo experimental (20 de mayo del 2017)
Elaboración: Propia

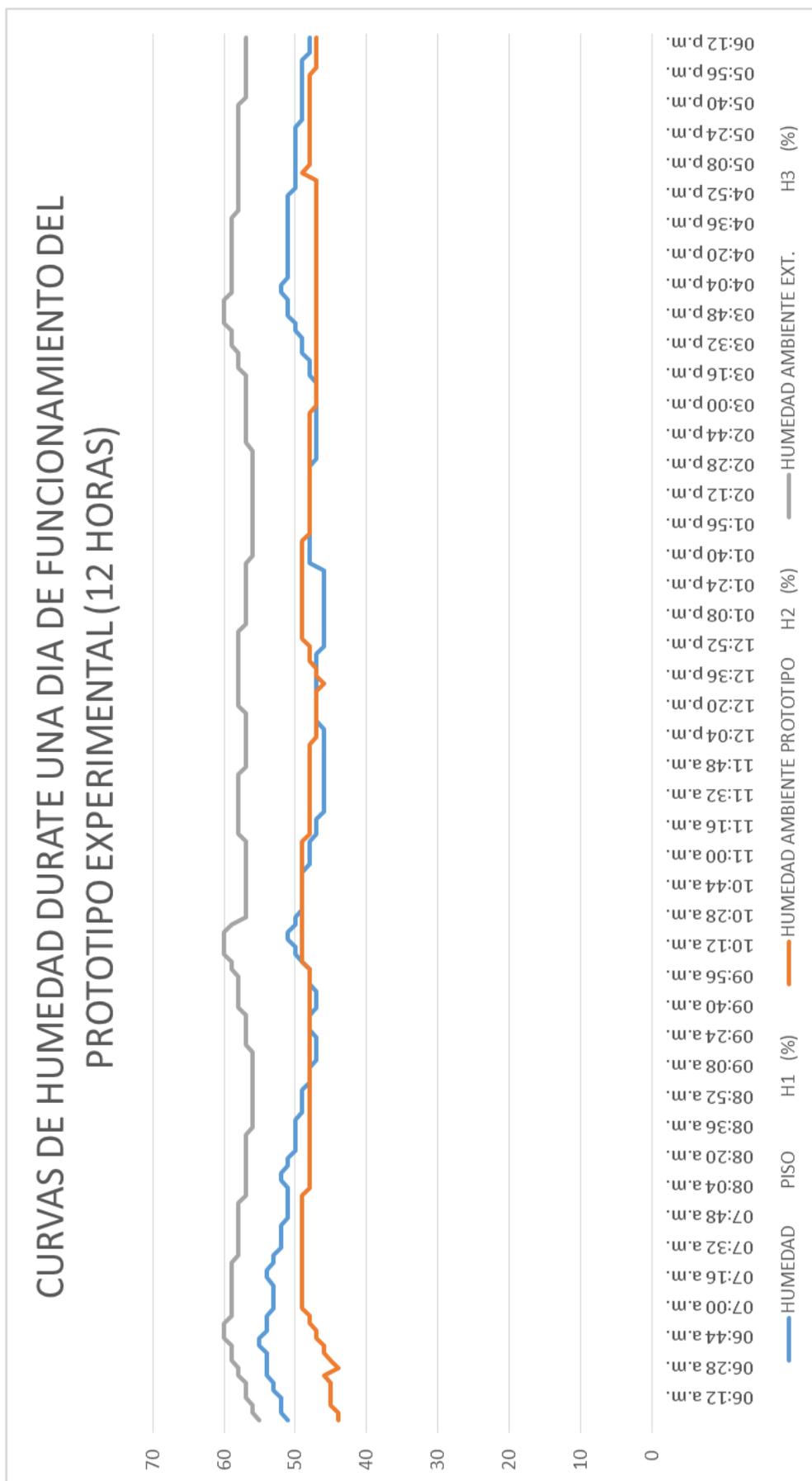


Figura 50: Curvas de humedad durante un día de funcionamiento del prototipo experimental (12HORAS) (20 de mayo del 2017)
Elaboración: Propia

4.16. INTERPRETACIÓN DE LAS Y GRAFICAS

Los datos obtenidos de las pruebas realizadas durante el día 18 de mayo del 2017, durante la noche a partir de las 6:00 pm hasta las 6:00 am se llegaron a los siguientes resultados Promedios:

Tabla 19: Resultados de pruebas realizados durante la noche

PARÁMETROS OBTENIDOS	DIMENSIÓN
Tiempo de carga inicial al ingreso del agua (70°C)	1 HORA
Tiempo de carga después de la inicial promedio	35 MINUTOS
Tiempo de entrega de calor del PCM 45 al piso	2 HORAS (CICLO)
Tiempo total de carga para una noche	3:30 HORAS
Tiempo total de entrega del PCM 45 en una noche	9 Horas
Temperatura Promedio del ambiente del prototipo	20°C a 21°C
Temperatura exterior del prototipo	8 °C
Humedad promedio en el prototipo	50 a 60 %

Elaboración: Propia

Los datos obtenidos de las pruebas realizadas durante el día 20 de mayo del 2017, durante el día a partir de las 6:00 am hasta las 6:00pm se llegaron a los siguientes resultados Promedios:

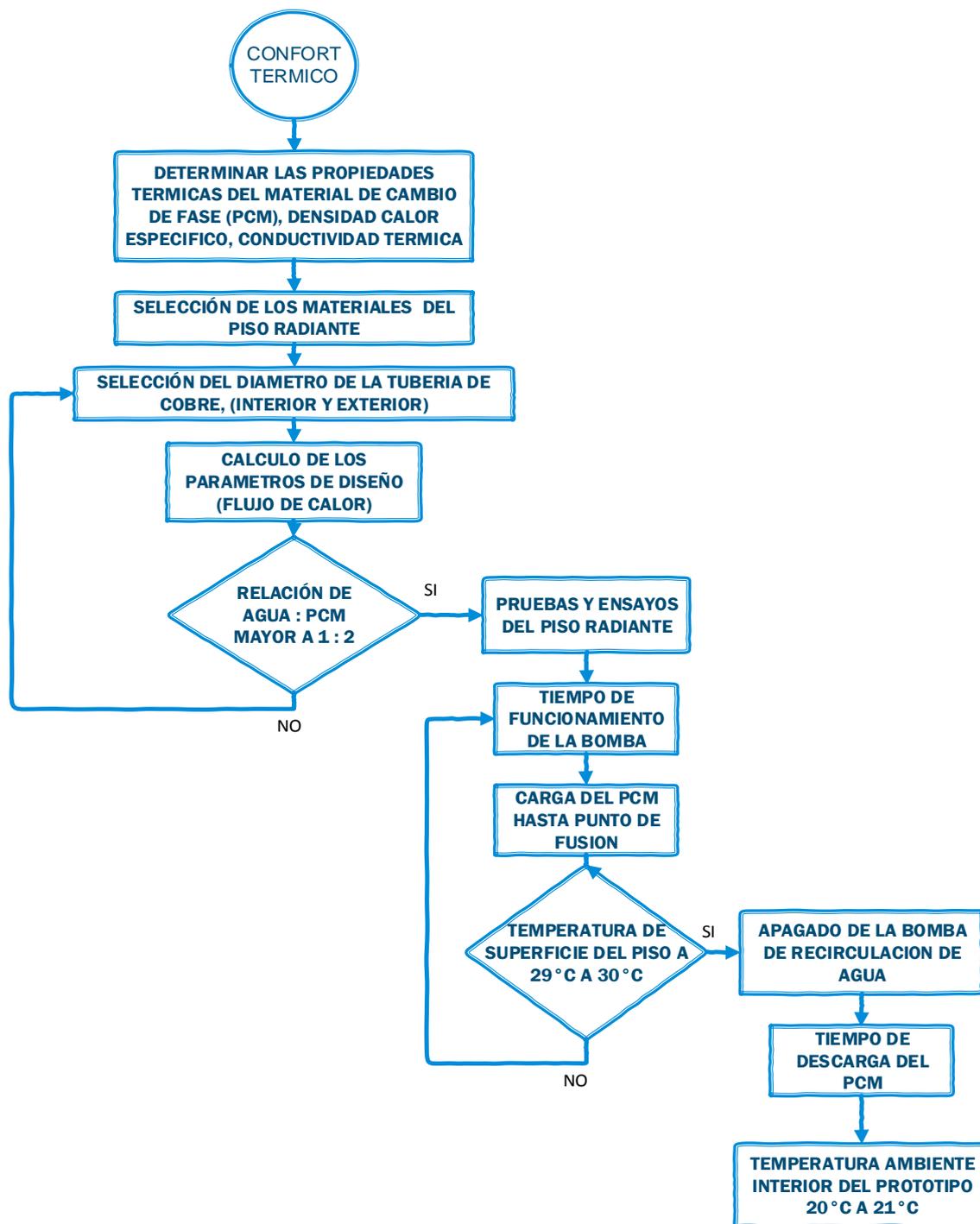
Tabla 20: Resultados de pruebas realizados durante el día

PARÁMETROS OBTENIDOS	DIMENSIÓN
Tiempo de carga inicial al ingreso del agua (70°C)	40 min.
Tiempo de carga después de la inicial promedio	25 min.
Tiempo de entrega de calor del PCM 45 al piso	2:30 Hrs. (1ciclo)
Tiempo total de carga para un día	2 Horas
Tiempo total de entrega del PCM 45 en un día	10 Horas
Temperatura Promedio del ambiente del prototipo	20°C a 21°C
Temperatura exterior del prototipo	13°C a 15°C
Humedad promedio en el prototipo	50 a 60 %

Elaboración: Propia

Se aprecia en los resultados de la temperaturas obtenidas del prototipo, que a diferencia del día y la noche el rendimiento y la perdida de calor por las paredes del prototipo se pierden por las bajas temperaturas q fluyen por la noche.

DIAGRAMA DE FLUJO



Elaboración: Propia

4.17. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La figura N°59 representa un ciclo de carga y descarga del sistema de calefacción, en el cual el fluido calefactor entrega calor al piso de la siguiente secuencia:

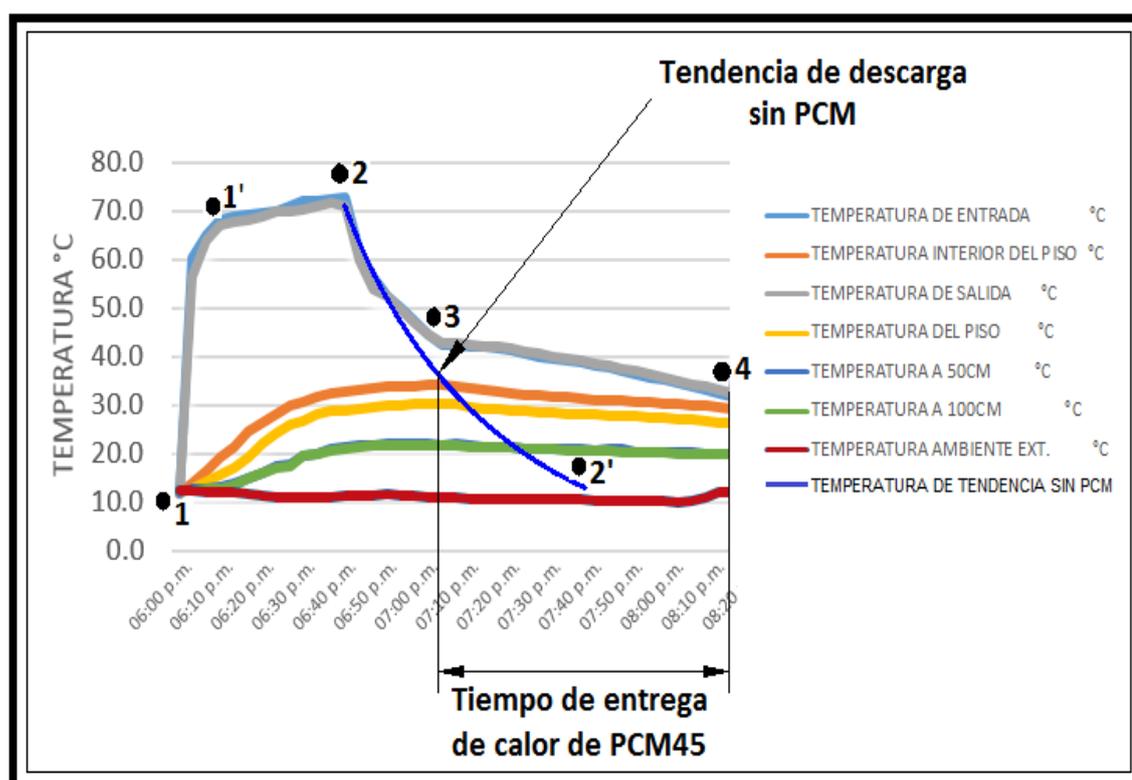


Figura 51: Análisis de entrega de calor del PCM

Elaboración: Propia

- Del punto 1 hasta el punto 2: se realizó el inicio de carga del sistema mediante el encendido de la bomba de recirculación hasta llegar a una temperatura de 21°C el ambiente interior del prototipo experimental.

- Del punto 1 hasta el punto 1': También se realizara el inicio de carga del PCM45, el material de cambio de fase se encuentra en fusión. en el punto 1' el PCM45 se encuentra fusionado al 100% (estado líquido).

- Del punto 1' hasta el punto 2: El PCM45 se encontrara en estado líquido, sobre calentado y a la vez está transfiriendo calor hacia el piso radiante.

- Del punto 2 hasta el punto 3: Continúa el PCM45 en estado líquido entregando calor al sistema de calefacción, disminuirá la temperatura del PCM45 paralelamente con el agua.

- Punto 3: El PCM45 empezara a cambiar de estado líquido a estado sólido y también inicia a entregar el calor almacenado en el PCM45

- Del punto 3 hasta el punto 4: durante este proceso de solidificación, el PCM45 entregara el calor latente almacenado en su interior manteniendo al piso a una temperatura estable.

- Del punto 2 hasta el punto 2': En esta curva se muestra como sería la caída de temperatura del agua sin PCM45 y se observa que el tiempo de entrega de calor es corto.

- Punto 4: terminará un ciclo del sistema de calefacción

4.18. RESULTADOS DE NOCHE:

El tiempo requerido para alcanzar los 30°C en el piso interior del prototipo experimental desde una temperatura inicial de 10°C en la superficie de la madera (machihembrado) será de aproximada mente de 1 hora en el primer ciclo de carga del sistema de calefacción y aproximadamente de 35 minutos los posteriores ciclos de carga del sistema.

El piso incrementara su temperatura a una velocidad aproximada de 1°C por 3 minutos después 1 hora el sistema se mantiene estable con una duración de 2 horas aproximadamente

4.19. RESULTADOS DE DÍA:

El tiempo requerido para alcanzar los 30°C en el piso interior del prototipo experimental desde una temperatura inicial de 14°C en la superficie de la madera (machihembrado). Es de aproximadamente de 40 minutos en el primer ciclo de carga del sistema de calefacción y aproximadamente de 25 minutos los posteriores ciclos de carga del sistema.

El piso incrementara su temperatura a una velocidad aproximada de 1°C por 2.5 minutos después 40 minutos el sistema se mantiene estable con una duración de 3 horas aproximadamente

El sistema de calefacción diseñado tendrá una autonomía de 2 a 3 horas de transferencia de calor por cada ciclo de funcionamiento.

4.20. AHORRO DE ENERGÍA EN COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS CONVENCIONALES:

El cálculo de ahorro de energía se realizara en comparación con otros tipos de sistemas de calefacción.

Sistema de calefacción por piso radiante convencional

Datos:

Tiempo de funcionamiento del sistema calefactor 12 horas

Tiempo de funcionamiento de la bomba 10 Horas

Se considerara una bomba shurflo de 5Amp, 24Volt, 120watts

- ✓ Costo de tarifa actual por kw/h es S/ 0.6387 (Anexo F)

$$\text{Costo por día} = \frac{kw}{h} \dots\dots\dots(\text{Ec.18})$$

$$\begin{aligned} \text{Costo por día} &= \frac{0.12kw}{h} \times \frac{0.6387sol}{kw} = \frac{0.0766sol}{h} * 11hor. - día \\ &= 0.843soles - día \end{aligned}$$

$$\text{Costo por mes} = 0.843soles/día \times 30días = 25.278 soles / mes$$

$$\text{Costo por año} = 0.843soles/día \times 365días = 307.55 soles /año$$

- ✓ Para nuestro caso se utilizara los mismos parámetros excepto el tiempo de funcionamiento de la bomba ya que se reduce a 3.5 horas aproximadamente durante una noche a causa de la acumulación de calor del PCM

De la Ec. 18.

$$\begin{aligned} \text{Costo por día} &= 0.12kw/h \times 0.6387sol/kw = 0.0766sol/h * 3.5horas/día \\ &= 0.268soles - día \end{aligned}$$

$$\text{Costo por mes} = 0.268\text{soles/día} \times 30\text{días} = 8.043\text{soles / mes}$$

$$\text{Costo por año} = 0.268\text{soles/día} \times 365\text{días} = 97.856 \text{ soles / año}$$

- ✓ Para el caso de utilización de fancoils se considera 75 W adicional a la de la bomba y se considera la misma bomba. Datos del Anexo N° 5.

De la Ec. 18.

$$\begin{aligned} \text{Costo por día} &= (0.075\text{kw} + 0.12\text{kw})/h \times 0.6387\text{sol/kw} \\ &= 0.1245\text{sol/h} * 10\text{hor./día} = 1.245\text{soles /día} \end{aligned}$$

$$\text{Costo por mes} = 0.1245\text{soles/día} \times 30\text{días} = 37.364\text{soles / mes}$$

$$\text{Costo por año} = 0.1245\text{soles/día} \times 365\text{días} = 464.425\text{soles / año}$$

- ✓ Para el caso de una estufa eléctrica, teniendo en cuenta la potencia de la estufa eléctrica promedio es 2000W para un funcionamiento de 10 horas

De la Ec. 18.

$$\begin{aligned} \text{Costo por día} &= 2\text{kw/h} \times 0.6387\text{sol/kw} = 1.276\text{sol/h} * 10\text{hor.} - \text{día} \\ &= 12.76\text{soles} - \text{día} \end{aligned}$$

$$\text{Costo por mes} = 12.7\text{soles/día} \times 30\text{días} = 382\text{soles / mes}$$

$$\text{Costo por año} = 12.76 \text{ soles/día} \times 365 \text{ días} = 4655.94 \text{ soles /año}$$

La tabla N° 21 muestra la diferencia de costos entre los diferentes tipos de sistemas de calefacción y el de piso radiante utilizando PCMs, y a si mismo se muestra el ahorro energético que se podría obtener si se utilizaría PCMs. En dichos sistemas.

Tabla 21: Diferencias entre otros sistemas de calefacción

Costo del sistema de calefacción por piso radiante utilizando PCMs:				
8.043 soles / mes				
N°	Tipo de sistema de calefacción	Costo de funcionamiento por mes	Diferencia de costos	Ahorro energético (%)
01	suelo radiante convencional	S/ 25.27	S/ 17.23	68.18%
02	Radiador (fancoils)	S/ 37.36	S/ 29.32	78.77%
03	Estufa eléctrica	S/ 382.00	S/ 373.96	97.89%

Elaboración: Propia

- En el primer caso obtenemos 68.18% de ahorro energético si se utilizaría el sistema de calefacción por piso radiante utilizando PCMs.
- En el segundo caso obtenemos 78.77% de ahorro energético si se utilizaría el sistema de calefacción por piso radiante utilizando PCMs
- En el tercer caso obtenemos 97.89% de ahorro energético si se utilizaría el sistema de calefacción por piso radiante utilizando PCMs

4.21. DISCUSIÓN

- a) En la siguiente discusión, se realizara una comparación con esta tesis mencionada, *Benavente Vilca, D. A., & Sucari Roque, H. B. (2016). Diseño y Construcción de un Módulo de Suelo Radiante Utilizando GAS Natural en la Ciudad de Juliaca.*

La tesis analizada en el mes de agosto en condiciones de -5°C a 17°C , en el prototipo se llega a una temperatura de 18°C a 29°C . Utiliza gas natural para calentar el agua, su combustión es de 25% a 30% menos de CO_2 que los productos derivados del petróleo, también emite entre un 40% a 50% menos de CO_2 que el carbón.

- ✓ analizando los resultados obtenidos q se ha obtenido en esta tesis de investigación, en nuestro caso llegamos a una temperatura interior del prototipo de 20°C a 21°C el cual se mantiene constante durante el funcionamiento del sistema de calefacción, nuestra fuente de energía para calentar el agua es solar térmica en cual es energía renovable y por el cual la emisión sería de 0% de CO_2 .
- b) se realizara una comparación con esta tesis, *Jasui, S., & Jesús, D. (2016). Diseño de un sistema de calefacción solar para la posta de salud del poblado de Langui, cusco.***

La tesis alcanza una eficiencia promedio del 47.7%. En condiciones desfavorables de temperatura ambiente de -10 grados, velocidad del viento de 6 m/s y recurso solar de 4.5 kWh el calor generado por el sistema sería de 1,380W, se ha logrado elevar la temperatura interior en 10°C .

- ✓ después de analizar los resultados obtenidos, la eficiencia del colector solar de tubos al vacío que se adquirió del empresa TECSOL S.R.L para efectuar las pruebas alcanza una eficiencia de 69.0 %, es por eso que llega hasta los 80°C a 85°C , en nuestro caso se logró elevar la temperatura interior del prototipo en 13°C
- c) *Rodríguez Calva, E. P., & Solís Córdova, F. D. (2013). Diseño, Construcción e Instalación de un Sistema de Calefacción con Energía Solar – Ecuador.***

La superficie emisora de calor colocada es de madera. Por la tubería circula agua caliente a 35 °C y 45°C. La temperatura de la superficie del piso se eleva hasta 27 °C y por consiguiente la del ambiente a 1,5 metros de altura se registra 20 °C, cuyas temperaturas mantienen las condiciones de confort.

- ✓ En nuestro caso la superficie emisora es de madera machihembrada, la temperatura de la superficie del piso se elevó de 29°C a 30 °C, y por consiguiente la del ambiente a 1m de altura la temperatura llego a 21°C, por los cuales se logró mantener un ambiente de confort.

d) Aguilar, A., & Remigio, Á. (2013). *Diseño de un Sistema de Climatización para El Refugio del Chimborazo, Ecuador (Bachelor's thesis).*

Las condiciones climatológicas de esta tesis fueron inferiores a -4 °C y con una humedad relativa promedio del 60%. La emisión térmica por suelo radiante es uniforme. De este modo desaparecen las “zonas frías y calientes”, Además se consigue un ahorro energético considerable respecto a otros sistemas tradicionales

- ✓ En nuestro caso las condiciones climatológicas fueron inferiores 3°C y con una humedad relativa promedio de 50%, la emisión térmica es homogénea en todo el transcurso del funcionamiento del sistema de calefacción, el ahorro energético es 68.13 en comparación con sistema convencional por piso radiante, esto se debe al funcionamiento de la bomba que en nuestro caso es a cada 2.5 horas en promedio, con una duración aproximada de 25 minutos.

CONCLUSIONES

PRIMERO: Se diseñó un prototipo de un sistema de calefacción por piso radiante utilizando PCM 45 y se ha podido concluir que el Prototipo si funciona ya que se ha podido instalar y hacer algunas pruebas de funcionamiento en la zona, se determinó los parámetros de funcionamiento temperatura del agua de entrada 75°C promedio, temperatura del agua de salida 72°C, temperatura superficie del piso 30°C tiempo de fusión del PCM45 10min. Se consiguió mantener la temperatura de ambiente del prototipo de 20 a 21°C.

SEGUNDO: Se implementó el prototipo de 1 m² de superficie con sus respectivos componentes (Poliestireno, lana de vidrio, machihembrado tubo de cobre y PCMs) se determinaron las propiedades y los parámetros de los materiales, se calculó la conductividad térmica del PCM 45 el cual resulto de 0.63 W/m[°]K aproximadamente, la densidad resulto de 1.301 Kg/m³, y su calor especifico de 2.53 KJ/Kg °C promedio.

TERCERO: se determinó los siguientes factores termodinámicos: el flujo de calor transferido hacia el ambiente del prototipo es 54.38 W/m², las pérdidas por el suelo es 13.27 W/m², con ello se consiguió una temperatura ambiente de 20 a 21°C, tales datos nos permitirán su viabilidad técnica operativa, obteniendo un costo por m² de 284.00 soles aproximadamente.

CUARTO: analizando los resultados se concluye que con un tiempo de carga de 30 minutos promedio el sistema tiene una autonomía de 2 a 2.5 horas de funcionamiento, con lo que se puede demostrar el aumento de eficiencia del sistema de calefacción por piso radiante.

QUINTO: El sistema diseñado resulta amigable con el ambiente ya que no se realiza ninguna emisión de gases contaminantes ya que se emplea la energía solar y materiales renovables.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se recomienda realizar algunas variantes en los aislantes para disminuir las pérdidas por transferencia de calor en las paredes y el techo.

SEGUNDO: Se recomienda diseñar un tanque de agua aislado y con materiales de cambio de fase PCMs para mejorar el sistema de alimentación de agua caliente y aumentar la autonomía del sistema.

TERCERO: Se recomienda realizar pruebas con otros PCMs como el de 60°C ya el agua con el que se trabajó fue de 75°C el cual garantiza que un PCM60 llegue al punto de fusión y cambie de fase.

CUARTO: Se recomienda la utilización de los PCMs en diferentes aplicaciones como: refrigeración, invernaderos, telefonía, etc.

QUINTO: Se recomienda hacer un estudio con sistemas similares y otras dimensiones de los diámetros de los tubos, considerando mayor volumen de PCMs y menor en la cantidad de agua en una relación de PCM a agua aproximadamente de 4:1.

REFERENCIAS

- Abhat, A.: "Latent Heat Thermal Energy Storage in the Temperature range 20-80°C". (1978) (Bericht IKE 5-209).
- Abhat, A.: "Low temperature latent heat thermal energy storage-Heat storage materials". *SolarEnergy*, 30(4) (1983).
- Aguilar, A., & Remigio, Á. (2013). Diseño de un Sistema de Climatización para El Refugio del Chimborazo (Bachelor's thesis).
- Aislantes de lana de vidrio - Todos los fabricantes de la arquitectura y del design -Vídeos. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <http://www.archiexpo.es/fabricante-arquitectura-design/aislante-lana-vidrio-9891.html>
- Balcomb, J. Douglas (1992). *Passive Solar Buildings*. Massachusetts Institute of Technology. Bartlett, Robert (1998). *Solution Mining: Leaching and Fluid Recovery of Materials*. Routledge.
- Benavente Vilca, D. A., & Sucari Roque, H. B. (2016). Diseño y Construcción de un Módulo de Suelo Radiante Utilizando GAS Natural en la Ciudad de Juliaca. Uancv. [Http://repositorio.uancv.edu.pe/](http://repositorio.uancv.edu.pe/). Retrieved from. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/757>
- Bomba de Presión Shurflo 2088-443-144, 12V. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <http://webosolar.com/store/es/bombas-solares-superficie/698-bomba-de-presion-shurflo-2088-443-144-12v.html>
- Botella Agua Limpiaparabrisas Toyota Yaris Ref 85330 10290 060210 4420 - Despieces La Cuneta. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <http://www.despieceslacuneta.info/yaris-fase-2/6323-botella-agua-limpiaparabrisas-toyota-yaris-con-motor-85330-10290-060210-4420.html>
- Calefaccion por energia solar | usos/ instalacion de la energia solar para dar calefaccion por energia solar. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <http://www.instalacionenergiasolar.com/instalacion-calefaccion-por.html>

Calle Páez, L. E. (2008). Principales Características Físicas y Químicas del Agua, 37. Retrieved from [http://www.catedras-bogota.unal.edu.co/web/ancizar/2013-1/ancizar_2013_I/js/Leonardo_Calle - Caracteristicas fisicoquimicas del agua.pdf%5Cn](http://www.catedras-bogota.unal.edu.co/web/ancizar/2013-1/ancizar_2013_I/js/Leonardo_Calle_-_Caracteristicas_fisicoquimicas_del_agua.pdf%5Cn).

Calor Sensible y Calor Latente - Ciclo de Refrigeración. (n.d.). Retrieved June 26, 2017, from <http://tuaireacondicionado.net/calor-sensible-y-calor-latente/>

Cengel, Yunus A. (2004), Transferencia de calor (2ª edición), México: McGraw-Hill.

Colector Tipo CPC. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from http://www.teknosol.cl/agua_caliente_sanitaria/colector-tipo-cpc.html

Como-funciona-un-calentador-solar.jpg (264x191). (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <http://www.azoteasolar.com/wp-content/uploads/2011/01/Como-funciona-un-calentador-solar.jpg>.

Domínguez Alonso, M., & Cubillos Arias, F. (2012) madrid. vivienda unifamiliar de bajo consumo energético con acumulación de calor en cambio de fase.

El poliuretano expandido en la ingeniería civil. (2015). Grupo Isotex. Retrieved from <http://www.grupoisotex.com/el-poliuretano-expandido-en-la-ingenieria-civil/>

Energías Renovables & El Ahorro Energético. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <http://proyectoticenergiasrenovables.blogspot.pe/>

Espa, C. (2009). Manual de tubo y accesorios de cobre, 173.

Frank Kreith & Mark S. Bohn. (2001)Principios de Transferencia de calor. Thomson Editores.isbn 84-9732-061-1

Hasan, A. and Sayigh, A. A.: "Some fatty acids as phase-change thermal energy storage materials". Renewable energy, 4(1) (1994), pp. 69-76.

Hauer, A.: "Innovative Thermal Energy Storage Systems for Residential Use". (2002), Bavarian Center for Applied Energy Research, ZAE Bayern, p. 8.

Himran, S., Suwono A.: "Characterization of Alkanes and Paraffin Waxes for Application as Phase Change Energy Storage Medium", 16 (1994 9 (Energy Sources), pp. 117-128.

Hipocausto - Wikipedia, la enciclopedia libre. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Hipocausto>

Krane, R. H., & Krane, R. H. (2002). Física Volumen 1. Cecsá.

Lane, G. A.: "Solar heat storage" Latent heat materials. Volume II. Technology. (1986): CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.

Lara, S., & Jefferson, E. (2016). Diseño y construcción de un sistema de calefacción de suelo radiante hidráulico aplicado a criadero porcino del barrio "La Delicia" del cantón Salcedo (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica - Ecuador).

large_5.jpg (530x405). (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from http://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/photo/image/84815/large_5.jpg

Martínes Ángel Y. (2012). CTC y los materiales con cambio de fase: gestión térmica eficiente - Retrieved June 26, 2017, from http://www.interempresas.net/Componentes_Mecanicos/Articulos/98083-CTC-y-los-materiales-con-cambio-de-fase-gestion-termica-eficiente.html

Módulo 2 conceptos básicos de sistemas solares. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <https://es.slideshare.net/Cientificamente/modulo-2-conceptos-bsicos-de-sistemas-solares>

Nagano, K. et al.: "Thermal characteristics of manganese (II) nitrate hexahydrate as a phase change material for cooling systems". Applied Thermal Engineering, 23(2) (2003), pp. 229-241.

Oliver, A., Neila, F. J., & García-Santos, A. (2012). Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica - PCM choosing and

classification according to their characteristics for their application for therma, 62(305), 131–140. <https://doi.org/10.3989/mc.2012.58010>

Oliva, O., & Alfonso, D. (2011). Diseño energético de un suelo radiante para una sala de 12 m² ubicada a 4000 msnm en Langui-Cuzco.

Paredes Pérez, A. M. (2016). Estudio y diseño de una vivienda rural en el departamento de Puno utilizando materiales de cambio de fase para fines de confort.

Pcm, P. (n.d.). Ventajas de fase en la comercialización de productos de la pesca, 1–49.

Piso o Losa Radiante | Piso Radiante | Calderas.cl. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <http://www.calderas.cl/piso-radiante/piso-o-losa-radiante.html>

Placco, C. (n.d.). Colectores solares para agua caliente. Retrieved from http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf

Propiedades térmicas de materiales. (n.d.). Retrieved June 26, 2017, from <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>

Raymond A., Serway; Jewet, John W. (2003). «Calor específico». Física 1. México D.F.: Thomson.

Rodríguez Calva, E. P., & Solís Córdova, F. D. (2013). Diseño, Construcción e Instalación de un Sistema de Calefacción con Energía Solar – Ecuador.

Tipos de Instalación de Piso o Losa Radiante | Piso Radiante | Calderas.cl. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <http://www.calderas.cl/piso-radiante/tipos-de-piso-o-losa-radiante.html>

Uponor. (2013). Manual técnico de Climatización Invisible.

Yunus A. Çengel & Michael A. Boles. (1995). Termodinámica. Mc Graw-Hill. Isbn970-10-0909-6

ANEXOS

ANEXO N° 01: PROCESO DE MONTAJE.

Para iniciar el montaje del sistema de calefacción por piso radiante (prototipo experimental) comenzamos adquiriendo los materiales, instrumentos de medición y herramientas:

Tabla N°A1: Materiales del prototipo experimental

MATERIAL	CARACTERÍSTICA
Tubo de cobre 3/4"	8 metros
Tubo de cobre 3/8"	9 metros
Mapresa (madera prensada)	1m ²
Poliestireno expandido (tecnopor)	1m ²
Lana de vidrio	1m ²
Plástico (polietileno)	1.2m ²
Madera 2"x2" x 3m	3 metros
PCM45	1.5 litros
Madera para el piso (Machihembrado)	1m ²
Clavos 2"	1/2 kilo
Placa de yeso (Giplac) 1.22mx2.44m	2 planchas
Triplay 1.22mx2.44m	2 planchas
Parantes 0.04m x 0.04m x 0.45mm x3m	2 parante
Tornillos Giplac	100 unidades
Tornillos wafer	100 unidades
Termómetros digitales	4 unidades
Higrómetro Termómetro digital	3 unidades
Mangueras PVC	5 metros
Bomba de agua	DENSO 12V - 2A
Fuente AC – DC	3v a 12v - 2A

Elaboración: Propia

Herramientas utilizadas:

- Martillo.
- Arco de cierra.
- Serrucho.
- Cúter.
- Trazadora.
- Taladro.
- Escuadra.

PROCEDIMIENTO DE MONTAJE:

1° Comenzamos con la inserción del tubo de 3/8 dentro del tubo de 3/4. Para luego doblarlo y obtener el serpentín, luego uno de los extremos del tubo de 3/4 se sella con ayuda de una soldadura de autógena, una vez sellado un extremo llenamos el producto (PCM45) para luego sellarlo el conducto:



Figura N°A1: Presentación de tubo de 3/4" y 3/8"

Elaboración: Propia



Figura N°A2: Inserción de tubo de 3/8 en 3/4
Elaboración: Propia



Figura N°A3: Doblado de tubo
Elaboración: Propia

2° Procedemos alistando la base del prototipo $1.1m^2$ de mapresa, luego cortamos 3 piezas de madera de 2" x 2" x 1m para el soporte del piso y el descanso de la tubería de cobre.



Figura N°A4: Base de mapresa con soporte del piso

Elaboración: Propia



Figura N°A5: Presentación de tubo de cobre en la base

Elaboración: Propia

3° Luego comenzamos a colocar los aislantes sobre la base de mapresa, comenzamos con plástico (polietileno), tecno por (Poliestireno expandido) y lana de vidrio:



Figura N°A6: Instalación de Poliestireno expandido (tecnopor)

Elaboración: Propia



Figura N°A7: Instalación de lana de vidrio

Elaboración: Propia



Figura N°A8: Instalación de todos los aislantes del piso

Elaboración: Propia



Figura N°A9: Presentación del tubo de cobre con sus aislantes

Elaboración: Propia

4° Una vez que están listo los aislantes procedemos a instalar los termómetros e higrómetros para las medidas del piso del prototipo experimental. Ubicamos uno en la entrada y salida del agua, y uno en el centro del piso al costado de la tubería de cobre de 3/4.

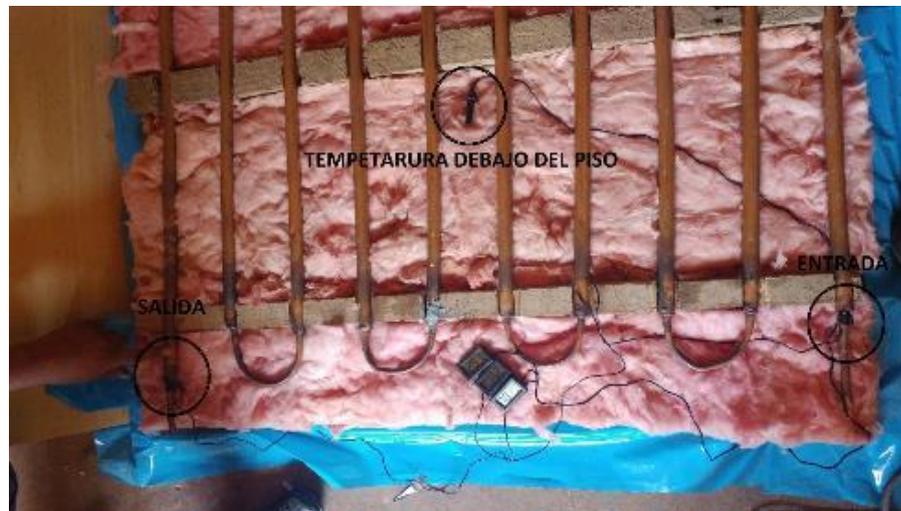


Figura N°A10: Ubicación de termómetros e higrómetro en el piso radiante

Elaboración: Propia

5° Comenzamos a instalar el piso (Machihembrado) fijándolos con clavos de 2'' cada pieza de madera teniendo en cuenta la separación de los tubos de cobre para no dañarlos.



Figura N°A11: Instalación del piso (Machihembrado)

Elaboración: Propia



Figura N°A12: Posición de sensor de temperatura debajo del piso

Elaboración: Propia

6° Una vez ya cerrado el piso instalamos las mangueras de PVC entrada y salida de agua sellándolo con el plástico restante todo el perímetro del piso.



Figura N°A13: Presentación del piso radiante

Elaboración: Propia

7° luego comenzamos a instalar los parantes para los soportes de las placas de yeso, una vez instalado las placas de yeso comenzamos a cerrar con triplay.



Figura N°A14: Parantes para la instalación de las paredes

Elaboración: Propia

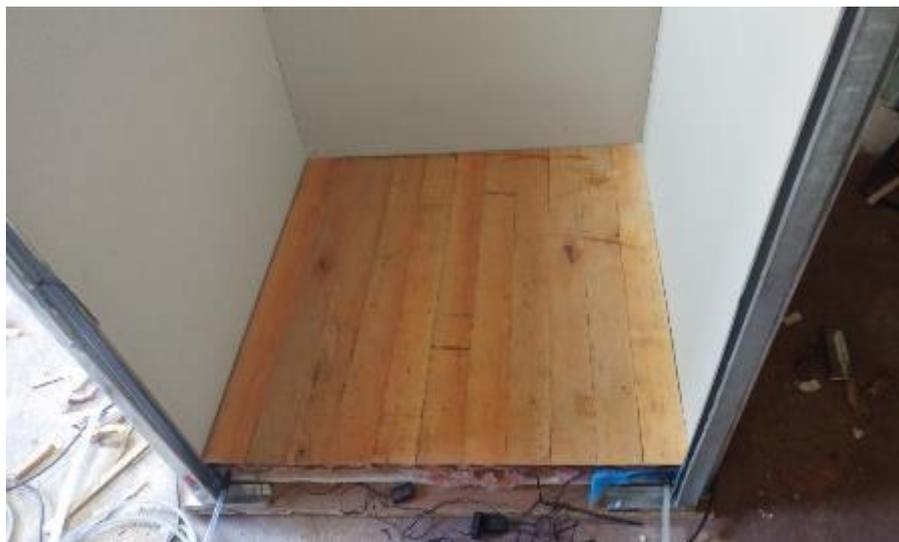


Figura N°A15: Presentación del piso radiante con paredes

Elaboración: Propia

8° luego instalamos los termómetros e higrómetros en el ambiente del prototipo experimental. El primero se ubica en el piso, el segundo se ubica a 50 cm de altura, el tercero se ubica a 1 metro de altura y un último se instala en el ambiente exterior.



Figura N°A16: Ubicación de termómetros en el ambiente del prototipo

Elaboración: Propia

9° luego en el exterior instalamos los display de los termómetros e higrómetros para la toma de datos

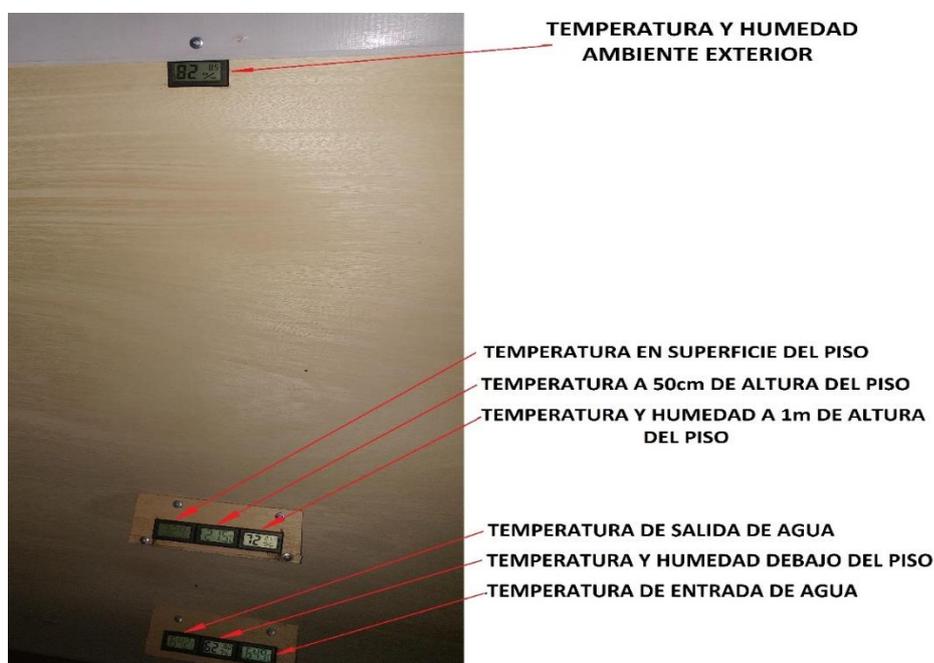


Figura N°A17: Ubicación de display para la toma de datos del prototipo

Elaboración: Propia

ANEXO N° 02: DATOS DE LA NOCHE DE CARGA Y DESCARGA

Tabla B1: DATOS DE TEMPERATURA (12HORAS) DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL (18 de mayo del 2017)

Hora	T.PISO RADIANTE			T. AMBIENTE PROTOTIPO				HUMEDAD PISO H1 %	HUMEDAD AMBIENTE PROTOTIPO H2 %	HUMEDAD AMBIENTE EXT. H3 %	TEMPERATURA DEL AGUA °C
	TEMPERATURA DE ENTRADA T1 (°C)	TEMPERATURA INTERIOR DEL PISO T3 (°C)	TEMPERATURA DE SALIDA T2 (°C)	TEMPERATURA DEL PISO T4 (°C)	TEMPERATURA A 50CM T5 (°C)	TEMPERATURA A 100CM T6 (°C)	TEMPERATURA AMBIENTE EXT. T7 (°C)				
06:00 p.m.	11.8	12.3	11.9	12.0	12.3	12.4	12.6	43.0	49.0	61.0	inicio de carga
06:05 p.m.	60.2	14.0	56.3	12.8	12.7	12.5	12.4	43.0	49.0	61.0	80
06:10 p.m.	65.0	16.5	63.8	14.2	13.0	12.8	12.0	45.0	49.0	60.0	79.6
06:15 p.m.	68.0	19.4	67.1	15.7	13.2	13.0	12.2	46.0	50.0	60.0	79.2
06:20 p.m.	69.0	21.3	68.8	17.1	14.0	13.7	12.2	46.0	50.0	60.0	78.8
06:25 p.m.	70.2	24.6	69.7	19.2	15.1	14.9	11.6	47.0	50.0	60.0	78.4
06:30 p.m.	71.4	26.3	70.0	22.1	16.2	16.0	11.3	47.0	51.0	60.0	78
06:35 p.m.	72.6	28.2	71.5	24.2	17.3	17.1	11.1	47.0	51.0	60.0	77.6
06:40 p.m.	73.8	29.8	72.0	26.0	18.0	17.6	11.1	46.0	49.0	61.0	77.2
06:45 p.m.	74.0	30.5	72.5	26.7	19.6	19.5	11.1	46.0	49.0	61.0	76.8
06:50 p.m.	74.2	31.8	73.0	28.0	20.0	19.8	11.1	46.0	49.0	61.0	76.4
06:55 p.m.	74.4	32.6	73.5	28.8	20.9	20.8	11.1	45.0	50.0	62.0	76
07:00 p.m.	74.6	32.8	74.0	29.0	21.5	21.1	11.5	45.0	49.0	62.0	fin de carga
07:05 p.m.	70.5	33.0	66.4	29.2	21.8	21.3	11.4	45.0	49.0	62.0	ENTREGA DE CALOR DE PCM45
07:10 p.m.	64.1	33.5	54.0	29.7	21.8	21.6	11.5	45.0	49.0	62.0	
07:15 p.m.	57.7	33.8	52.5	30.0	22.0	21.7	11.6	46.0	49.0	62.0	
07:20 p.m.	54.3	33.9	51.4	30.1	22.0	21.8	11.4	47.0	49.0	62.0	
07:25 p.m.	50.9	34.0	49.0	30.2	22.0	21.8	11.3	47.0	49.0	62.0	
07:30 p.m.	47.5	34.2	47.5	30.4	22.0	21.8	11.2	47.0	49.0	63.0	
07:35 p.m.	44.1	34.1	45.7	30.3	21.8	21.7	11.1	47.0	49.0	63.0	
07:40 p.m.	42.4	34.0	44.0	30.2	22.0	21.6	11.0	46.0	49.0	63.0	
07:45 p.m.	42.2	33.4	42.2	29.6	21.7	21.5	10.8	46.0	49.0	63.0	
07:50 p.m.	42.0	33.0	41.7	29.2	21.4	21.4	10.6	46.0	49.0	63.0	
07:55 p.m.	41.8	32.8	41.2	29.3	21.4	21.3	10.6	47.0	49.0	64.0	
08:00 p.m.	41.2	32.5	40.7	29.0	21.4	21.3	10.6	47.0	49.0	64.0	
08:05 p.m.	40.5	32.2	40.1	28.8	21.2	21.1	10.6	47.0	49.0	64.0	
08:10 p.m.	40.0	32.0	39.6	28.7	21.2	21.0	10.6	47.0	48.0	64.0	
08:15 p.m.	39.7	31.8	39.1	28.5	20.9	20.9	10.6	47.0	48.0	64.0	
08:20 p.m.	39.2	31.6	38.6	28.2	20.9	20.8	10.6	48.0	48.0	63.0	
08:25 p.m.	38.7	31.4	38.1	28.3	20.9	20.7	10.6	48.0	48.0	62.0	
08:30 p.m.	38.1	31.2	37.6	28.1	20.6	20.6	10.5	48.0	48.0	62.0	
08:35 p.m.	37.7	31.1	37.1	27.9	20.9	20.6	10.4	49.0	48.0	62.0	
08:40 p.m.	37.2	30.9	36.5	27.8	20.9	20.5	10.3	49.0	48.0	62.0	
08:45 p.m.	36.4	30.7	36.0	27.7	20.5	20.4	10.2	49.0	48.0	61.0	
08:50 p.m.	35.8	30.5	35.5	27.5	20.5	20.3	10.2	49.0	48.0	61.0	
08:55 p.m.	35.2	30.3	34.2	27.4	20.5	20.2	10.2	49.0	48.0	61.0	
09:00 p.m.	34.5	30.2	34.5	27.2	20.3	20.1	10.1	49.0	48.0	61.0	
09:05 p.m.	33.8	30.0	33.9	27.1	20.3	20.1	9.9	49.0	48.0	61.0	
09:10 p.m.	33.1	29.8	33.4	26.8	20.1	20.0	9.7	49.0	48.0	61.0	
09:15 p.m.	32.5	29.6	32.9	26.5	20.1	19.9	9.5	49.0	48.0	61.0	
09:20 p.m.	60.8	29.4	59.7	26.3	20.1	19.9	9.4	49.0	48.0	61.0	inicio de carga
09:25 p.m.	65.5	29.1	64.6	26.2	20.1	19.9	9.4	49.0	48.0	62.0	75.6
09:30 p.m.	68.2	29.5	66.5	26.3	20.1	19.9	9.3	50.0	48.0	62.0	75.2
09:35 p.m.	69.9	30.8	68.4	27.2	20.1	20.0	9.2	50.0	48.0	62.0	74.8
09:40 p.m.	70.6	32.4	68.3	28.4	20.1	20.1	9.1	51.0	48.0	62.0	74.4
09:45 p.m.	71.3	33.8	69.2	29.8	20.3	20.3	9.0	51.0	48.0	63.0	74
09:50 p.m.	72.0	35.3	71.1	31.1	20.7	20.6	8.9	51.0	49.0	63.0	fin de carga

09:55 p.m.	63.2	35.9	61.6	31.8	20.9	20.8	8.9	51.0	49.0	63.0	ENTREGA DE CALOR DE PCM45
10:00 p.m.	57.6	36.1	55.5	32.0	21.2	21.1	8.8	50.0	49.0	62.0	
10:05 p.m.	54.8	36.1	52.9	32.0	21.2	21.1	8.6	50.0	49.0	62.0	
10:10 p.m.	51.5	35.8	49.7	31.8	21.2	21.2	8.4	50.0	49.0	62.0	
10:15 p.m.	48.4	35.4	47.0	31.4	21.3	21.2	8.2	49.0	49.0	62.0	
10:20 p.m.	45.9	34.9	44.4	30.8	21.1	21.1	8.6	49.0	49.0	62.0	
10:25 p.m.	43.5	34.4	42.7	30.4	21.1	21.0	8.5	48.0	49.0	62.0	
10:30 p.m.	42.2	33.8	42.5	29.9	21.1	20.9	8.4	48.0	49.0	61.0	
10:35 p.m.	42.3	33.3	42.3	29.5	20.9	20.8	8.3	48.0	49.0	61.0	
10:40 p.m.	42.0	32.8	42.1	28.9	20.9	20.7	8.2	48.0	48.0	61.0	
10:45 p.m.	41.9	32.4	41.7	28.7	20.9	20.6	8.1	47.0	48.0	61.0	
10:50 p.m.	41.4	32.1	41.4	28.4	20.9	20.5	8.0	47.0	48.0	61.0	
10:55 p.m.	40.6	31.8	40.8	28.2	20.5	20.4	7.9	47.0	48.0	60.0	
11:00 p.m.	40.2	31.6	40.2	28.0	20.5	20.3	7.8	47.0	48.0	60.0	
11:05 p.m.	39.7	31.4	39.7	28.0	20.5	20.3	7.7	48.0	48.0	60.0	
11:10 p.m.	39.2	31.2	39.2	27.8	20.3	20.1	7.6	48.0	48.0	60.0	
11:15 p.m.	38.1	31.0	38.8	27.7	20.3	20.1	7.5	48.0	48.0	60.0	
11:20 p.m.	38.4	30.9	37.8	27.5	20.3	20.0	7.4	48.0	48.0	60.0	
11:25 p.m.	58.8	30.7	57.2	27.4	20.1	20.0	7.3	48.0	48.0	60.0	inicio de carga
11:30 p.m.	64.3	30.6	63.8	27.3	20.1	20.0	7.2	48.0	48.0	59.0	73.6
11:35 p.m.	66.0	30.9	64.6	27.5	20.1	20.0	7.1	48.0	48.0	59.0	73.3
11:40 p.m.	67.7	32.2	65.1	28.0	20.3	20.1	7.0	49.0	48.0	59.0	73
11:45 p.m.	69.4	33.5	67.7	29.3	20.3	20.2	6.9	49.0	48.0	59.0	72.7
11:50 p.m.	70.1	34.8	68.4	30.2	20.6	20.4	6.8	49.0	49.0	59.0	72.4
11:55 p.m.	71.2	35.6	69.8	31.1	20.9	20.6	6.7	49.0	49.0	60.0	fin de carga
12:00 a.m.	63.5	36.3	61.5	31.9	21.2	20.8	6.6	49.0	49.0	60.0	ENTREGA DE CALOR DE PCM45
12:05 a.m.	58.9	36.4	57.7	32.1	21.2	21.0	6.5	48.0	49.0	60.0	
12:10 a.m.	55.0	36.3	53.1	32.0	21.2	21.1	6.4	48.0	49.0	60.0	
12:15 a.m.	51.3	36.0	49.6	31.8	21.3	21.1	6.4	47.0	49.0	60.0	
12:20 a.m.	48.9	35.7	47.7	31.5	21.3	21.1	6.3	47.0	49.0	59.0	
12:25 a.m.	46.1	35.2	45.1	30.9	21.3	21.1	6.3	47.0	49.0	59.0	
12:30 a.m.	43.9	34.7	43.2	30.4	21.3	21.0	6.3	46.0	49.0	59.0	
12:35 a.m.	42.2	34.1	42.6	29.9	21.1	20.9	6.2	46.0	49.0	59.0	
12:40 a.m.	42.3	33.4	42.5	29.5	20.9	20.8	6.2	46.0	49.0	58.0	
12:45 a.m.	42.0	33.0	42.3	29.1	20.9	20.7	6.2	46.0	49.0	58.0	
12:50 a.m.	41.5	32.4	41.9	28.6	20.9	20.6	6.1	46.0	48.0	58.0	
12:55 a.m.	41.3	32.2	41.5	28.4	20.9	20.5	6.1	46.0	48.0	58.0	
01:00 a.m.	40.8	32.0	41.2	28.3	20.5	20.4	6.1	46.0	48.0	57.0	
01:05 a.m.	40.3	31.8	40.7	28.1	20.5	20.3	6.0	46.0	48.0	57.0	
01:10 a.m.	39.8	31.6	40.1	28.0	20.5	20.3	6.0	46.0	48.0	57.0	
01:15 a.m.	39.2	31.3	39.5	27.8	20.3	20.2	6.0	46.0	48.0	58.0	
01:20 a.m.	38.8	31.1	39.2	27.6	20.3	20.1	5.9	46.0	48.0	58.0	
01:25 a.m.	38.1	30.9	38.9	27.6	20.3	20.0	5.9	46.0	48.0	58.0	
01:30 a.m.	37.7	30.8	38.2	27.5	20.3	19.9	6.0	46.0	48.0	58.0	
01:35 a.m.	57.1	30.6	55.8	27.4	20.1	19.9	6.3	46.0	48.0	59.0	inicio de carga
01:40 a.m.	63.9	30.6	61.7	27.3	20.1	19.9	6.5	46.0	48.0	59.0	72
01:45 a.m.	65.0	31.1	63.3	27.5	20.1	19.9	6.7	47.0	48.0	59.0	71.6
01:50 a.m.	66.1	32.4	65.1	28.3	20.3	20.0	6.9	47.0	48.0	58.0	71.2
01:55 a.m.	67.2	33.5	65.3	29.5	20.3	20.2	7.1	47.0	48.0	58.0	70.8
02:00 a.m.	68.3	34.0	66.7	30.0	20.6	20.3	7.3	47.0	48.0	58.0	70.4
02:05 a.m.	69.1	35.4	67.9	30.9	20.6	20.5	7.5	48.0	48.0	58.0	fin de carga

02:10 a.m.	65.8	36.1	63.5	31.5	20.9	20.7	7.5	48.0	49.0	59.0	ENTREGA DE CALOR DE PCM45
02:15 a.m.	60.4	36.4	58.0	31.9	20.9	20.8	7.3	48.0	49.0	59.0	
02:20 a.m.	55.1	36.3	52.9	31.9	21.2	20.9	7.1	48.0	49.0	59.0	
02:25 a.m.	50.9	35.9	49.1	31.6	21.2	21.0	6.9	48.0	49.0	59.0	
02:30 a.m.	48.8	35.8	47.9	31.5	21.3	21.0	6.7	48.0	49.0	59.0	
02:35 a.m.	45.3	35.3	45.3	31.1	21.3	21.0	6.5	47.0	49.0	60.0	
02:40 a.m.	43.8	34.6	42.7	30.4	21.3	21.0	6.3	47.0	49.0	60.0	
02:45 a.m.	42.3	34.0	42.6	29.9	21.1	20.9	6.1	47.0	49.0	60.0	
02:50 a.m.	42.9	33.6	42.6	29.6	21.1	20.9	5.9	46.0	49.0	60.0	
02:55 a.m.	42.4	32.9	42.2	29.1	21.1	20.8	6.1	45.0	48.0	59.0	
03:00 a.m.	41.9	32.6	41.8	28.8	20.9	20.6	6.3	45.0	48.0	59.0	
03:05 a.m.	41.4	32.3	41.4	28.3	20.9	20.5	6.5	45.0	48.0	58.0	
03:10 a.m.	40.9	32.1	41.0	28.2	20.5	20.4	6.7	45.0	48.0	58.0	
03:15 a.m.	40.4	31.8	40.6	28.0	20.5	20.3	6.9	45.0	48.0	58.0	
03:20 a.m.	40.0	31.6	40.2	27.9	20.5	20.1	7.1	45.0	48.0	59.0	
03:25 a.m.	39.4	31.4	39.7	27.8	20.3	20.0	7.3	45.0	48.0	59.0	
03:30 a.m.	38.9	31.3	39.3	27.5	20.3	19.9	7.5	45.0	48.0	60.0	
03:35 a.m.	38.3	31.1	38.9	27.4	20.3	19.9	7.7	45.0	48.0	60.0	
03:40 a.m.	37.9	30.9	38.4	27.3	20.3	19.8	7.9	45.0	48.0	60.0	
03:45 a.m.	58.5	30.8	56.9	27.2	20.1	19.8	7.8	44.0	48.0	60.0	inicio de carga
03:50 a.m.	61.5	30.6	60.9	27.2	20.1	19.8	7.9	44.0	48.0	61.0	69.9
03:55 a.m.	62.8	30.9	61.1	27.2	20.1	19.9	8.0	44.0	48.0	61.0	69.3
04:00 a.m.	63.9	32.1	62.3	27.9	20.1	19.9	8.1	44.0	48.0	61.0	68.7
04:05 a.m.	65.1	33.3	64.5	28.7	20.3	20.0	8.2	43.0	48.0	61.0	68.1
04:10 a.m.	66.3	34.4	65.7	29.8	20.3	20.1	8.3	43.0	48.0	61.0	67.5
04:15 a.m.	67.0	35.3	66.9	30.5	20.6	20.3	8.4	43.0	49.0	62.0	FINDE CARGA
04:20 a.m.	65.2	35.9	62.9	31.2	20.9	20.4	8.2	44.0	49.0	62.0	ENTREGA DE CALOR DE PCM45
04:25 a.m.	59.9	36.3	57.4	31.5	20.9	20.6	8.5	44.0	49.0	62.0	
04:30 a.m.	55.7	36.2	53.3	31.5	20.9	20.7	8.7	44.0	49.0	62.0	
04:35 a.m.	52.4	36.0	50.2	31.4	21.2	20.8	8.6	43.0	49.0	62.0	
04:40 a.m.	49.0	35.6	47.3	30.9	21.2	20.8	8.3	43.0	49.0	61.0	
04:45 a.m.	47.1	35.2	45.2	30.4	21.2	20.8	8.3	43.0	49.0	61.0	
04:50 a.m.	44.5	34.6	43.2	30.0	21.1	20.7	8.2	42.0	49.0	61.0	
04:55 a.m.	43.0	34.0	42.8	29.6	21.1	20.7	8.2	43.0	49.0	60.0	
05:00 a.m.	42.4	33.5	42.5	29.2	21.2	20.6	8.1	43.0	49.0	60.0	
05:05 a.m.	42.2	33.0	42.2	28.7	20.9	20.9	7.8	44.0	48.0	60.0	
05:10 a.m.	41.9	32.6	41.9	28.4	20.9	20.4	7.8	44.0	48.0	60.0	
05:15 a.m.	41.5	32.3	41.6	28.3	20.5	20.3	7.8	45.0	48.0	59.0	
05:20 a.m.	41.2	32.1	41.1	28.0	20.5	20.3	7.8	45.0	48.0	59.0	
05:25 a.m.	40.5	31.8	40.5	27.9	20.3	20.1	7.8	45.0	48.0	59.0	
05:30 a.m.	39.9	31.6	39.9	27.7	20.3	20.0	7.8	44.0	48.0	60.0	
05:35 a.m.	39.6	31.4	39.5	27.6	20.3	19.9	7.8	44.0	48.0	60.0	
05:40 a.m.	39.1	31.2	39.0	27.4	20.0	19.8	7.8	43.0	48.0	61.0	
05:45 a.m.	38.7	31.0	38.5	27.3	20.0	19.8	7.8	43.0	48.0	61.0	
05:50 a.m.	38.2	30.8	38.0	27.1	19.9	19.8	7.8	42.0	48.0	61.0	
05:55 a.m.	37.7	30.6	37.5	27.0	19.9	19.8	7.8	42.0	48.0	61.0	
06:00 a.m.	37.2	30.3	37.0	26.8	19.9	19.7	7.8	42.0	48.0	61.0	

Elaboración: Propia

ANEXO N° 03: DATOS DE LA NOCHE DE CARGA Y DESCARGA

Tabla C1: DATOS DE TEMPERATURA (12HORAS) DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL (20 de mayo del 2017)

Hora	T. PISO RADIANTE			T. AMBIENTE PROTOTIPO			TEMPERATURA AMBIENTE EXT. T7 (°C)	HUMEDAD PISO H1 (%)	HUMEDAD AMBIENTE PROTOTIPO H2 (%)	HUMEDAD AMBIENTE EXT. H3 (%)	TEMPERATURA DEL AGUA T8 (°C)
	TEMPERATURA DE ENTRADA T1 (°C)	TEMPERATURA INTERIOR DEL PISO T3 (°C)	TEMPERATURA DE SALIDA T2 (°C)	TEMPERATURA DEL PISO T4 (°C)	TEMPERATURA A 50CM T5 (°C)	TEMPERATURA A 100CM T6 (°C)					
06:00 a.m.	14.0	13.8	13.9	14.0	14.1	14.1	13.9	51	44	55	INICIO DE CARGA
06:04 a.m.	50.2	14.3	30.1	14.2	14.1	14.1	13.8	52	44	56	78.5
06:08 a.m.	64.1	15.8	58.7	15.1	14.6	14.4	13.8	52	45	56	78.3
06:12 a.m.	66.0	17.1	62.9	16.3	15.0	14.8	13.8	52	45	57	78.1
06:16 a.m.	68.9	18.8	66.5	17.6	15.8	15.6	14.0	53	45	57	77.9
06:20 a.m.	71.5	20.1	69.8	19.2	16.2	16.0	14.1	53	45	57	77.7
06:24 a.m.	73.6	23.2	72.4	21.1	17.0	16.7	14.1	54	46	58	77.5
06:28 a.m.	73.2	25.2	72.8	23.8	17.5	17.2	14.0	54	44	58	77.3
06:32 a.m.	73.4	26.6	73.0	25.0	17.8	17.5	13.8	54	45	59	77.1
06:36 a.m.	73.8	27.9	73.0	26.1	18.4	18.2	13.6	54	46	59	76.9
06:40 a.m.	74.5	28.9	73.2	27.0	18.7	18.5	13.4	55	46	59	FIN DE CARGA
06:44 a.m.	66.3	29.8	65.8	27.7	19.0	18.8	13.3	55	47	60	ENTREGA DE CALOR DEL PCM
06:48 a.m.	61.4	30.4	61.6	28.1	19.2	19.0	13.3	54	47	60	
06:52 a.m.	57.0	31.1	56.4	28.5	19.5	19.3	13.3	54	48	60	
06:56 a.m.	53.4	31.5	52.9	28.8	19.5	19.5	13.3	54	48	59	
07:00 a.m.	50.3	31.8	50.1	29.2	19.8	19.8	13.0	53	49	59	
07:04 a.m.	48.0	31.9	48.0	29.2	20.1	19.9	12.9	53	49	59	
07:08 a.m.	46.5	31.9	45.7	29.2	20.1	20.1	12.8	53	49	59	
07:12 a.m.	45.8	31.7	43.9	29.2	20.3	20.2	12.7	53	49	59	
07:16 a.m.	45.0	31.4	42.7	28.8	20.3	20.3	12.6	54	49	59	
07:20 a.m.	43.2	31.1	42.6	28.5	20.3	20.4	12.4	54	49	59	
07:24 a.m.	42.2	30.9	42.5	28.2	20.6	20.4	12.4	53	49	59	
07:28 a.m.	42.2	30.5	42.5	28.0	20.6	20.4	12.3	53	49	58	
07:32 a.m.	42.3	31.4	42.4	28.6	21.2	21.0	12.4	52	49	58	
07:36 a.m.	42.0	31.1	42.4	28.4	21.2	20.9	12.3	52	49	58	
07:40 a.m.	41.8	31.0	42.3	28.2	21.2	20.9	12.1	52	49	58	
07:44 a.m.	41.4	30.8	42.1	28.1	20.9	20.9	11.9	52	49	58	
07:48 a.m.	40.7	30.7	41.8	28.0	20.9	20.8	11.9	51	49	58	
07:52 a.m.	40.4	30.6	41.3	27.9	20.9	20.8	11.9	51	49	58	
07:56 a.m.	40.0	30.5	40.8	27.9	20.9	20.8	11.6	51	49	58	
08:00 a.m.	39.7	30.4	40.5	27.8	20.9	20.7	11.6	51	49	57	
08:04 a.m.	39.3	30.3	40.2	27.7	20.9	20.7	11.5	51	48	57	
08:08 a.m.	38.8	30.2	39.7	27.7	20.1	20.6	11.6	52	48	57	
08:12 a.m.	38.4	30.1	39.3	27.6	20.6	20.6	11.5	52	48	57	
08:16 a.m.	37.9	30.1	38.8	27.5	20.6	20.6	11.5	51	48	57	
08:20 a.m.	37.7	29.9	38.6	27.5	20.9	20.5	11.4	51	48	57	
08:24 a.m.	37.2	29.9	38.0	27.3	20.9	20.4	11.1	50	48	57	
08:28 a.m.	36.7	29.8	37.6	27.2	20.5	20.4	11.3	50	48	57	
08:32 a.m.	36.1	29.7	37.1	27.2	20.5	20.4	11.3	50	48	57	
08:36 a.m.	36.0	29.7	37.0	27.1	20.5	20.3	11.3	50	48	56	
08:40 a.m.	35.8	29.6	36.8	27.0	20.4	20.3	11.3	50	48	56	
08:44 a.m.	35.7	29.4	36.5	27.0	20.4	20.2	11.3	49	48	56	
08:48 a.m.	35.6	29.5	36.3	27.9	20.3	20.2	11.3	49	48	56	
08:52 a.m.	35.4	29.3	36.2	27.9	20.3	20.1	11.3	49	48	56	
08:56 a.m.	35.4	29.3	36.1	27.8	20.2	20.1	11.3	49	48	56	
09:00 a.m.	35.3	29.1	35.5	27.6	20.1	20.1	11.3	48	48	56	
09:04 a.m.	35.2	29.1	35.2	27.6	20.1	20.0	11.3	48	48	56	
09:08 a.m.	35.1	29.0	35.0	27.5	20.1	20.0	11.3	48	48	56	
09:12 a.m.	35.0	29.0	34.7	27.4	20.0	20.0	11.3	47	48	56	
09:16 a.m.	34.8	28.9	34.0	27.4	20.0	19.9	11.3	47	48	56	
09:20 a.m.	34.7	28.9	33.5	27.2	20.0	19.9	11.3	47	48	57	
09:24 a.m.	34.5	28.8	33.1	27.2	19.9	19.9	11.3	47	48	57	
09:28 a.m.	34.4	28.8	32.8	27.0	19.9	19.8	11.3	48	48	57	
09:32 a.m.	34.2	28.7	32.3	26.8	19.9	19.8	11.3	48	48	57	
09:36 a.m.	55.2	28.6	47.3	26.6	19.9	19.8	11.3	48	48	57	INICIO DE CARGA
09:40 a.m.	66.3	28.6	63.4	26.2	20.1	19.8	11.3	47	48	58	76.7
09:44 a.m.	68.8	28.6	67.2	26.2	20.1	19.9	11.3	47	48	58	76.5
09:48 a.m.	69.7	28.9	69.0	26.3	20.3	20.0	11.3	47	48	58	76.3
09:52 a.m.	71.3	29.4	70.8	26.7	20.1	20.1	11.3	48	48	58	76.1
09:56 a.m.	72.8	30.3	71.9	27.4	20.1	20.1	11.3	48	48	58	75.9
10:00 a.m.	73.0	31.1	72.0	28.1	20.3	20.3	11.3	48	48	59	75.7
10:04 a.m.	73.3	31.7	72.2	28.7	20.3	20.4	11.4	49	49	59	FIN DE CARGA

10:08 a.m.	58.8	32.3	58.9	29.2	20.7	20.5	11.5	50	49	60	ENTREGA DE CALOR DEL PCM
10:12 a.m.	55.0	32.5	55.0	29.4	20.7	20.6	11.5	50	49	60	
10:16 a.m.	52.1	32.6	51.8	29.6	20.9	20.8	11.5	51	49	60	
10:20 a.m.	49.1	32.6	48.8	29.8	20.9	20.8	11.5	51	49	60	
10:24 a.m.	46.5	32.4	46.7	29.5	20.9	20.9	11.4	50	49	59	
10:28 a.m.	44.6	32.3	44.8	29.4	21.2	20.9	11.4	50	49	57	
10:32 a.m.	42.7	31.9	43.1	29.2	21.2	21.0	11.4	49	49	57	
10:36 a.m.	42.4	31.6	42.8	28.9	21.2	21.0	11.4	49	49	57	
10:40 a.m.	42.3	31.4	42.8	28.6	21.2	21.0	11.4	49	49	57	
10:44 a.m.	42.0	31.1	42.8	28.4	21.2	20.9	11.4	49	49	57	
10:48 a.m.	41.8	31.0	42.4	28.2	21.2	20.9	11.4	49	49	57	
10:52 a.m.	41.4	30.8	42.1	28.1	20.9	20.9	11.4	49	49	57	
10:56 a.m.	40.7	30.7	41.8	28.0	20.9	20.8	11.4	48	49	57	
11:00 a.m.	40.4	30.6	41.3	27.9	20.9	20.8	11.4	48	49	57	
11:04 a.m.	40.0	30.5	40.8	27.9	20.9	20.8	11.4	48	49	57	
11:08 a.m.	39.7	30.4	40.5	27.8	20.9	20.7	11.4	48	49	57	
11:12 a.m.	39.3	30.3	40.2	27.7	20.9	20.7	11.5	47	48	58	
11:16 a.m.	38.8	30.2	39.7	27.7	20.1	20.6	11.6	47	48	58	
11:20 a.m.	38.4	30.1	39.3	27.6	20.6	20.6	11.5	47	48	58	
11:24 a.m.	37.9	30.1	38.8	27.5	20.6	20.6	11.5	46	48	58	
11:28 a.m.	37.7	29.9	38.6	27.5	20.9	20.5	11.4	46	48	58	
11:32 a.m.	37.2	29.9	38.0	27.3	20.9	20.4	11.1	46	48	58	
11:36 a.m.	36.7	29.8	37.6	27.2	20.5	20.4	11.3	46	48	58	
11:40 a.m.	36.1	29.7	37.1	27.2	20.5	20.4	11.3	46	48	58	
11:44 a.m.	35.5	29.6	36.5	27.1	20.5	20.3	11.5	46	48	58	
11:48 a.m.	35.2	29.4	36.1	26.9	20.5	20.3	11.4	46	48	57	
11:52 a.m.	34.6	29.3	35.5	26.8	20.5	20.3	11.4	46	48	57	
11:56 a.m.	34.0	29.2	35.0	26.8	20.5	20.2	11.4	46	48	57	
12:00 p.m.	33.5	29.1	34.4	26.5	20.3	20.1	11.3	46	48	57	
12:04 p.m.	33.1	28.9	33.9	26.6	20.3	20.1	11.3	46	47	57	
12:08 p.m.	32.4	28.8	33.4	26.3	20.3	20.1	11.3	46	47	57	
12:12 p.m.	31.8	28.6	32.8	26.1	20.3	20.0	11.5	47	47	57	
12:16 p.m.	31.3	28.4	32.3	26.1	20.3	19.9	12.5	47	47	57	
12:20 p.m.	30.5	28.3	31.9	25.9	20.1	19.9	12.5	47	47	58	
12:24 p.m.	55.6	28.1	48.3	25.6	20.1	19.9	12.5	47	47	58	
12:28 p.m.	67.8	27.9	62.3	25.5	20.1	19.9	12.5	47	47	58	
12:32 p.m.	69.8	28.1	68.3	25.4	20.1	19.9	12.5	47	46	58	
12:36 p.m.	70.2	28.5	69.8	25.8	20.1	19.9	12.5	47	47	58	
12:40 p.m.	71.8	29.3	70.4	26.4	20.1	20.0	12.5	47	47	58	
12:44 p.m.	72.6	30.4	71.1	27.4	20.1	20.1	12.5	47	48	58	
12:48 p.m.	72.7	31.3	71.5	28.2	20.3	20.3	12.5	47	48	58	
12:52 p.m.	64.0	32.1	63.9	28.8	20.7	20.4	12.5	46	48	58	
12:56 p.m.	58.2	32.6	58.0	29.5	20.7	20.6	12.5	46	49	58	
01:00 p.m.	54.8	32.9	54.4	29.9	20.9	20.7	12.5	46	49	58	
01:04 p.m.	51.9	32.9	51.7	29.9	20.9	20.8	12.3	46	49	57	
01:08 p.m.	49.2	32.9	48.8	30.0	21.2	20.9	12.3	46	49	57	
01:12 p.m.	46.7	32.8	46.5	29.8	21.2	21.0	12.3	46	49	57	
01:16 p.m.	44.6	32.6	44.5	29.6	21.2	21.0	12.3	46	49	57	
01:20 p.m.	42.8	32.3	43.0	29.4	21.2	21.0	12.3	46	49	57	
01:24 p.m.	42.4	32.0	42.8	29.2	21.2	21.0	12.3	46	49	57	
01:28 p.m.	42.4	31.7	42.8	28.8	21.2	21.0	12.2	46	49	57	
01:32 p.m.	42.0	31.4	42.7	28.7	21.2	21.0	12.1	46	49	57	
01:36 p.m.	41.8	31.3	42.3	28.4	21.2	20.9	12.1	48	49	57	
01:40 p.m.	41.5	31.1	42.1	28.3	21.2	20.9	11.9	48	49	56	
01:44 p.m.	41.0	30.9	41.7	28.2	21.2	20.9	11.9	48	49	56	
01:48 p.m.	40.5	30.8	41.4	28.1	20.9	20.8	11.9	48	49	56	
01:52 p.m.	40.0	30.8	40.8	28.0	20.9	20.8	11.9	48	48	56	
01:56 p.m.	39.7	30.6	40.4	27.8	20.9	20.8	11.6	48	48	56	
02:00 p.m.	39.2	30.5	40.0	27.9	20.9	20.7	11.6	48	48	56	
02:04 p.m.	38.9	30.4	39.8	27.9	20.9	20.7	11.4	48	48	56	
02:08 p.m.	38.5	30.3	39.2	27.7	20.6	20.6	11.2	48	48	56	
02:12 p.m.	38.1	30.3	38.8	27.8	20.6	20.6	11.2	48	48	56	
02:16 p.m.	37.6	30.1	38.3	27.5	20.6	20.6	11.1	48	48	56	
02:20 p.m.	37.4	30.1	38.0	27.5	20.6	20.5	11.1	48	48	56	
02:24 p.m.	36.7	29.9	37.5	27.3	20.6	20.5	11.1	48	48	56	
02:28 p.m.	36.2	29.9	37.2	27.4	20.6	20.4	11.1	48	48	56	
02:32 p.m.	35.8	29.8	36.7	27.2	20.3	20.4	11.1	47	48	56	
02:36 p.m.	35.2	29.6	36.1	27.1	20.3	20.3	11.0	47	48	56	
02:40 p.m.	34.8	29.6	35.6	27.0	20.3	20.3	11.0	47	48	57	
02:44 p.m.	34.1	29.4	35.2	26.8	20.3	20.3	11.0	47	48	57	
02:48 p.m.	33.7	29.3	34.5	26.8	20.5	20.3	10.9	47	48	57	
02:52 p.m.	34.3	29.1	33.4	26.7	20.3	20.2	11.2	47	48	57	
02:56 p.m.	33.4	29.0	32.1	26.4	20.3	20.1	11.3	47	48	57	
03:00 p.m.	32.7	28.9	31.2	26.3	20.1	20.1	11.4	47	47	57	
03:04 p.m.	32.1	28.7	30.9	26.1	20.1	20.1	11.9	47	47	57	
03:08 p.m.	31.4	28.5	30.5	25.9	20.1	20.0	12.1	47	47	57	
03:12 p.m.	30.5	28.3	30.2	25.9	20.1	20.0	12.2	47	47	57	

03:16 p.m.	54.2	28.0	48.5	25.5	20.1	19.9	12.4	48	47	57	INICIO DE CARGA
03:20 p.m.	62.3	27.9	60.1	25.4	20.1	20.0	12.4	48	47	58	74.5
03:24 p.m.	66.1	28.1	65.2	25.4	20.1	19.9	12.5	48	47	58	74.3
03:28 p.m.	69.4	28.4	68.8	25.8	20.1	19.9	12.6	49	47	58	74.1
03:32 p.m.	69.9	29.1	69.1	26.3	20.1	20.0	12.7	49	47	59	73.9
03:36 p.m.	70.5	30.0	69.8	26.9	20.1	20.1	12.7	49	47	59	73.7
03:40 p.m.	70.9	30.9	70.0	27.8	20.3	20.1	12.6	50	47	59	73.5
03:44 p.m.	71.5	31.9	70.9	28.7	20.3	20.3	12.4	50	47	60	FIN DE CARGA
03:48 p.m.	66.3	32.6	65.8	29.3	20.7	20.4	12.4	51	47	60	ENTREGA DE CALOR DEL PCM
03:52 p.m.	61.4	33.1	61.6	29.8	20.7	20.6	12.2	51	47	60	
03:56 p.m.	57.0	33.4	56.4	30.1	20.9	20.8	12.1	51	47	60	
04:00 p.m.	53.4	33.5	52.9	30.3	20.9	20.9	11.9	52	47	59	
04:04 p.m.	50.3	33.5	50.1	30.3	21.2	21.0	11.9	52	47	59	
04:08 p.m.	48.0	33.3	48.0	30.1	21.2	21.1	11.9	51	47	59	
04:12 p.m.	45.6	33.1	45.7	30.0	21.2	21.1	11.9	51	47	59	
04:16 p.m.	43.8	32.9	43.9	29.9	21.2	21.1	11.7	51	47	59	
04:20 p.m.	42.2	32.5	42.7	29.5	21.2	21.1	11.6	51	47	59	
04:24 p.m.	42.3	32.2	42.8	29.3	21.2	21.1	11.5	51	47	59	
04:28 p.m.	42.1	31.9	42.8	29.1	21.2	21.1	11.5	51	47	59	
04:32 p.m.	41.9	31.6	42.5	28.7	21.2	21.1	11.4	51	47	59	
04:36 p.m.	41.4	31.4	42.2	28.5	21.2	21.1	11.4	51	47	59	
04:40 p.m.	41.2	31.3	41.8	28.5	21.4	21.0	11.4	51	47	59	
04:44 p.m.	40.5	31.2	41.7	28.4	21.2	21.0	11.3	51	47	58	
04:48 p.m.	40.2	31.0	41.2	28.3	21.2	20.9	11.3	51	47	58	
04:52 p.m.	39.9	30.9	40.7	28.2	21.2	20.9	11.0	51	47	58	
04:56 p.m.	39.9	30.9	40.4	28.1	21.2	20.9	11.3	50	47	58	
05:00 p.m.	40.0	30.5	40.8	27.9	20.9	20.8	11.6	50	47	58	
05:04 p.m.	39.7	30.4	40.5	27.8	20.9	20.7	11.6	50	49	58	
05:08 p.m.	39.3	30.3	40.2	27.7	20.9	20.7	11.5	50	48	58	
05:12 p.m.	38.8	30.2	39.7	27.7	20.1	20.6	11.6	50	48	58	
05:16 p.m.	38.4	30.1	39.3	27.6	20.6	20.6	11.5	50	48	58	
05:20 p.m.	37.9	30.1	38.8	27.5	20.6	20.6	11.5	50	48	58	
05:24 p.m.	37.7	29.9	38.6	27.5	20.9	20.5	11.4	50	48	58	
05:28 p.m.	37.2	29.9	38.0	27.3	20.9	20.4	11.1	50	48	58	
05:32 p.m.	36.7	29.8	37.6	27.2	20.5	20.4	11.1	49	48	58	
05:36 p.m.	36.1	29.7	37.1	27.2	20.5	20.4	11.1	49	48	58	
05:40 p.m.	35.5	29.6	36.5	27.1	20.5	20.3	11.1	49	48	58	
05:44 p.m.	35.2	29.4	36.1	26.9	20.5	20.3	11.1	49	48	57	
05:48 p.m.	34.6	29.3	35.5	26.8	20.5	20.3	11.1	49	48	57	
05:52 p.m.	34.0	29.2	35.0	26.8	20.5	20.2	11.0	49	48	57	
05:56 p.m.	33.5	29.1	34.4	26.5	20.3	20.1	11.0	49	48	57	
06:00 p.m.	33.1	28.9	33.9	26.6	20.3	20.1	11.0	49	47	57	
06:04 p.m.	32.4	28.8	33.4	26.3	20.3	20.1	11.0	49	47	57	
06:08 p.m.	31.8	28.6	32.8	26.1	20.3	20.0	11.0	48	47	57	
06:12 p.m.	31.3	28.4	32.3	26.1	20.3	19.9	11.0	48	47	57	
06:16 p.m.	30.5	28.3	31.9	25.9	20.1	19.9	11.0	48	47	57	

Elaboración: Propia

ANEXO N° 04: PROPIEDADES DE PCMs

Tabla D1: PROPIEDADES DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE

PCM	λ SÓLIDO [W/m·K]	λ LÍQUIDO [W/m·K]	Q [kg/m ³]	hi [k /kg]	Tf [°C]
Mn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + MnCl ₂ ·4H ₂ O(4%w/w)	n.d.	n.d.	1750	125,9	20
MAGIC BOX MEZCLA HODROC.SAT E INSAT	0,464	0,232	1110	188	23
PARAFFIN WAX (RT20)	1,8	0,2	800	140,3	23
EUTECTIC MIXTURE OF CAPRIC-LAURIC ACID	n.d.	0,139	870	171,98	23
CLIMSEL C24	0,7	0,5	1380	108	24
SP22 A4	0,6	0,6	1380	265	24
EUTECTIC MIXTURE OF CAPRIC-PALMITIC ACID	n.d.	0,143	860	196,07	24
SP22	1,3	0,6	1460	182	24
SAVENRG PCM 24P*	1,09	0,54	1820	185	25
DELTA®-COOL 24	1,12	0,56	1555	158	25
SP25 A8	0,6	0,6	1380	180	26
STL27	n.d.	n.d.	1090	213	27
S27	n.d.	n.d.	1470	207	27
AC27	1,85	1,15	867	184,78	27
CLIMSEL C28	0,7	0,5	1420	162	28
RT27	0,2	0,2	870	179	28
PX27	0,1	0,1	640	112	28
GR27	0,2	0,2	750	72	28
DELTA®- COOL 28	1,12	0,56	1555	188	28
SAVENRG PCM 29P*	1,09	0,54	1840	190	29
PURE SALT HYDRATE (CaCl ₂ ·6H ₂ O)	1,4	1,09	1710	213.12	29
TME(63%w/w)+H ₂ O(37%w/w).	n.d.	n.d.	1100	218	29,8

Fuente: universidad de Madrid

ANEXO N° 05: CALEFACCION POR RADIADORES (Fancoils)



FIGURA E1: fancoil – sistema de calefacción con fancoils

Fuente: domos Perú

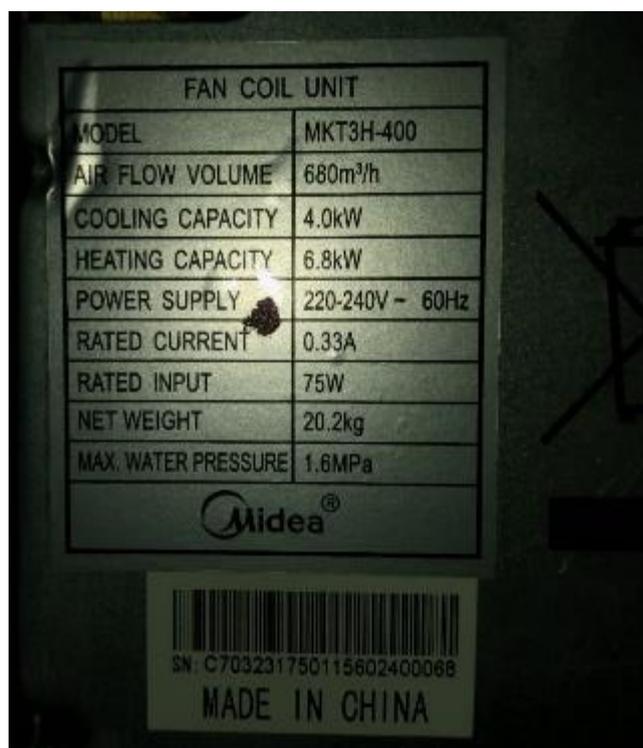


FIGURA E2: Características de un radiador con fancoils

Fuente: domos Perú

ANEXO N° 06: COSTO DE LA ENERGIA ELECTRICA EN PUNO

Electro Puno S.A.A.
 Empresa Regional de Servicio Público
 RECIBO N° 24-1223837
 www.electropuno.com.pe

Para consultas su número de cliente es:
001-0004299

MES FACTURADO Abril-2017

DATOS DEL CLIENTE

NOMBRE: BERRIO H. ANGEL
 D.N.I.:
 DIRECCIÓN: JR. LEONCIO PRADO 577
 ENTREGA: JR. LEONCIO PRADO 577
 DPTO./PROV: PUNO - PUNO - PUNO
 ZONA: Puno - 30 - PUNO ZONA 030
 RUTA: 401-03-02-001800 NO RESIDENCIAL

DATOS TÉCNICOS

TARIFA BT5B POTENCIA 0.20 KW. CONEXION C11
 ACOMETIDA Aerea SISTEMA MONOFASICO 2 Hilos
 MEDIDOR 606649968 ELECTRONICO 220 V

DETALLE DEL CONSUMO

LECTURA ACTUAL: OK 1933 27 Abr 2017
 LECTURA ANTERIOR: OK 1857 27 Mar 2017
 FACTOR: 1.00 CUENTES: 1
 CONSUMO FACTURADO: 76.00 kWh
 EL COSTO DE kWh ES: S/ 0.6387
 Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE, Monto S/ 1.50

DETALLE FACTURACIÓN

CONCEPTO	IMPORTE S/
ALUMBRADO PUBLICO	3.36
CARGO FIJO	3.12
ENERGIA	48.54
INTERESES COMPENSATORIOS	0.13
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION	1.05
SUBTOTAL	56.20
IGV 18%	10.12
TOTAL A PAGAR S/	***66.95

OTROS PAGOS

LEY 28745 ELECTRIFICACION RURAL 0.62
 REDONDEO DEL MES -0.02
 REDONDEO MES ANTERIOR 0.03

EVOLUCION DE CONSUMO DE ENERGIA

MONTO 201703: S/57.60 MONTO 201704: S/54.95

FECHA EMISIÓN 01 may 2017
FECHA VENCIMIENTO 17 may 2017
TOTAL A PAGAR S/ ***66.95

SON: SESENTA Y SEIS CON 95/100 SOLES

MENSAJES

Le recomendamos no usar calefactores eléctricos,
 para evitar el incremento de su consumo de energía

PAGUE SÓLO EN CENTROS AUTORIZADOS NO AL MENSAJERO

MES FACTURADO: Abril-2017
 VENCIMIENTO: 17 may 2017
 001-0004299
 24-1223837
 2017001000003575462

Figura F1 tarifa eléctrica actual – Electro Puno S.A.A.

Fuente: fotografía recibo Electro Puno - propia

ANEXO N°07: PROPIEDADES DEL AGUA

TABLA G1: propiedades del agua a 70°C

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Densidad (kg/m ³)	Módulo de elasticidad (kN/m ²)	Viscosidad dinámica (N·s/m ²)	Viscosidad cinemática (m ² /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m ²)
0	9,805	999,8	1,98 · 10 ⁶	1,781 · 10 ⁻³	1,785 · 10 ⁻⁶	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	2,05 · 10 ⁶	1,518 · 10 ⁻³	1,519 · 10 ⁻⁶	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	2,10 · 10 ⁶	1,307 · 10 ⁻³	1,306 · 10 ⁻⁶	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	2,15 · 10 ⁶	1,139 · 10 ⁻³	1,139 · 10 ⁻⁶	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	2,17 · 10 ⁶	1,102 · 10 ⁻³	1,003 · 10 ⁻⁶	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	2,22 · 10 ⁶	0,890 · 10 ⁻³	0,893 · 10 ⁻⁶	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	2,25 · 10 ⁶	0,708 · 10 ⁻³	0,800 · 10 ⁻⁶	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	2,28 · 10 ⁶	0,653 · 10 ⁻³	0,658 · 10 ⁻⁶	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	2,29 · 10 ⁶	0,547 · 10 ⁻³	0,553 · 10 ⁻⁶	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	2,28 · 10 ⁶	0,466 · 10 ⁻³	0,474 · 10 ⁻⁶	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	2,25 · 10 ⁶	0,404 · 10 ⁻³	0,413 · 10 ⁻⁶	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	2,20 · 10 ⁶	0,354 · 10 ⁻³	0,364 · 10 ⁻⁶	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	2,14 · 10 ⁶	0,315 · 10 ⁻³	0,326 · 10 ⁻⁶	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	2,07 · 10 ⁶	0,282 · 10 ⁻³	0,294 · 10 ⁻⁶	0,0589	101,33

Fuente: (Calle Páez, 2008)

ANEXO N° 08: ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL COBRE

TABLA H1: PROPIEDADES FISICAS DEL COBRE

Densidad	8,92 kg/dm ³
Temperatura de fusión	1 083 °C
Conductividad térmica a 20 °C	293-364 W (m K) 0,923 cal/cm ² cm s °C
Conductividad eléctrica a 20 °C	68-90% IACS 41-52 m/Ohm · mm ²
Coefficiente de dilatación lineal	16,5 x 10 ⁻⁶
Calor específico de 0 °C a 100 °C	0,092 cal/g °C
Resistividad eléctrica a 20 °C (inverso de conductividad)	0,022 Ohm mm ² /m 1,915-2,53 microohm cm
Coefficiente térmico de resistencia por °C	0,00393
Reacción al fuego (según código europeo Euroclases)	Clase A1 No inflamable
Módulo de elasticidad a 20 °C	12 000 kg/mm ²

Fuente: http://elcobre.com/sites/default/files/publication_files/manual-tubo-cobre.pdf-fecha de acceso.20/07/17

TABLA H2: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS TUBOS DE COBRE

Estado de tratamiento		Diámetro exterior nominal (DN) (mm)		Resistencia a la tracción (Rm) (MPa ¹)	Alargamiento (A) (%)	Mín. dureza (indicativa) HV5
Designación según EN 1173	Designación usual	Mín.	Máx.	Mín.		
R 220	Recocido	6	54	220	40	(40 a 70) ²
R 250	Semiduro	6	66,7	250	30	(70 a 100)
		6	159		20	
R 290	Duro	6	267	290	3	(mín. 100)

Fuente: http://elcobre.com/sites/default/files/publication_files/manual-tubo-cobre.pdf-fecha de acceso.20/07/17

TABLA H3: TUBO DE COBRE FLEXIBLE Y TIPO DE USOS

TUBO DE COBRE FLEXIBLE TIPO USOS GENERALES Y AUTOMOTRICES

**Tubería fabricada bajo la norma mexicana NMX-W-018-SCFI y ASTM B-88
PRODUCTOS DE COBRE Y SUS ALEACIONES. TUBOS DE COBRE SIN COSTURA PARA
CONDUCCION DE FLUIDOS A PRESION. ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA***

Nominal MM/Inches	Real MM/Inches	Máximo MM/Inches	Mínimo MM/Inches	Real MM/Inches	Máximo MM/Inches	Mínimo MM/Inches	Tramo Kg/Lbs
3.175	3.175	3.226	3.124	0.762	0.838	0.686	0.784
1/8	0.125	0.127	0.123	0.030	0.033	0.027	1.729
4.750	4.750	4.801	4.699	0.762	0.838	0.686	1.297
3/16	0.187	0.189	0.185	0.030	0.033	0.027	2.858
6.350	6.350	6.401	6.299	0.762	0.838	0.686	1.817
1/4	0.250	0.252	0.248	0.030	0.033	0.027	4.006
7.925	7.925	7.976	7.874	0.813	0.889	0.737	2.468
5/16	0.312	0.314	0.310	0.032	0.035	0.029	5.440
9.525	9.525	9.576	9.474	0.813	0.889	0.737	3.023
3/8	0.375	0.377	0.373	0.032	0.035	0.029	6.665
12.700	12.700	12.751	12.649	0.813	0.889	0.737	4.125
1/2	0.500	0.502	0.498	0.032	0.035	0.029	9.094
15.875	15.875	15.926	15.824	0.889	0.991	0.787	5.686
5/8	0.625	0.627	0.623	0.035	0.039	0.031	12.535
19.050	19.050	19.113	18.986	0.889	0.991	0.787	6.891
3/4	0.750	0.752	0.747	0.035	0.039	0.031	15.192

Longitud del rollo : 15.20 mt.

Los valores mostrados son teóricos pudiendo variar de acuerdo a los rangos establecidos en la norma de fabricación.

Aplicaciones :

- Instalaciones de gas, automotrices y redes de agua en tendidos subterráneos.

Fuente: <http://www.tumatsa.com/assets/tubo-de-cobre-flexible-tipo-usos-generales-y-automotrices.png> fecha de acceso. 13/07/17.

ANEXO N°09: RADIACION SOLAR EN LA CIUDAD DE PUNO

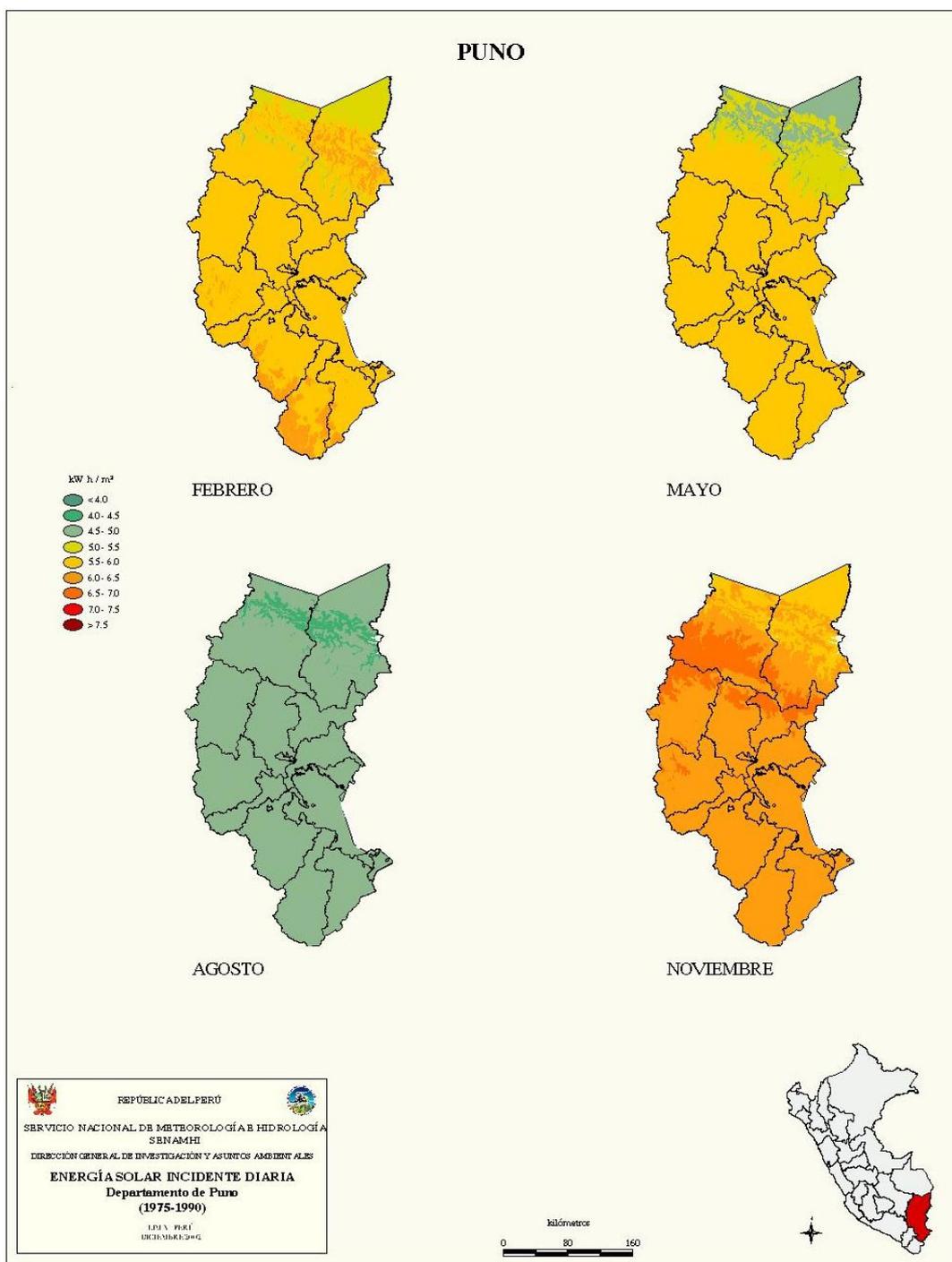


Figura 11: Mapa de radiación solar en la región de Puno

Fuente: (“Energía Renovable Peru con Deltavolt,” n.d.)