



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Uso de la energía solar para climatización, por suelo
radiante, en vivienda rural de Cajamarca**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico-Eléctrico

Edmundo José Isaac Torrel Farro

Asesor:
Dr. Ing. Víctor Manuel Lizana Bobadilla

Piura, enero de 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

Tesis Edmundo Torrel Farro.docx

RECUENTO DE PALABRAS

20125 Words

RECUENTO DE CARACTERES

108025 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

128 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.9MB

FECHA DE ENTREGA

May 24, 2022 8:53 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 24, 2022 9:00 AM GMT-5**● 12% de similitud general**

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

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Fuentes excluidas manualmente

Dedicatoria

A Dios, por darme amor y fortaleza todos los días.

A mis padres y hermanos, por brindarme cariño y constante motivación en cada paso de mi vida.

A mi novia y su familia, por darme su cariño y hospitalidad.

Al ingeniero Víctor Lizana por guiarme y apoyarme en la elaboración de esta tesis.





Resumen

Esta tesis desarrolla el diseño de un sistema de calefacción por suelo radiante, para una vivienda rural en el Caserío de Sexemayo Lote 1, en Cajamarca.

El sistema funciona con tuberías de polietileno reticulado (PEX) embebidas en el pavimento, por donde circula agua caliente sanitaria (obtenida a partir del aprovechamiento de la energía solar), la cual eleva la temperatura del suelo y a la vez la temperatura de los ambientes donde está instalado.

El funcionamiento del sistema de este diseño, mejorará la condición de vida de los pobladores de zonas rurales, como Sexemayo Lote 1; ya que permitirá atenuar los problemas e inconvenientes generados por el frío y las bajas temperaturas.

Además, en el presente trabajo se utiliza el programa “Revit” (usado para modelación de edificaciones, en este caso se aplicó para el cálculo térmico); también se utilizó el cálculo térmico según la Norma Peruana EM.110. Esto permite comparar ambos procedimientos.

Asimismo, se evalúa el impacto económico, medio ambiental y social del sistema de calefacción.



Tabla de contenido

Introducción.....	15
Capítulo 1.....	17
Aspectos generales	17
1.1 Identificación del problema	17
1.2 Propuesta de solución.....	18
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo general.....	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
1.4 Justificación.....	19
1.5 Alcance y limitaciones del estudio	20
Capítulo 2.....	21
Marco teórico.....	21
2.1 Energías renovables.....	21
2.1.1 Introducción	21
2.2 Clasificación	23
2.2.1 Energía eólica.....	23
2.2.2 Energía marítima.....	23
2.2.3 Energía geotérmica.....	23
2.2.4 Energía de la biomasa	24
2.2.5 Energía hidráulica.....	25
2.2.6 Energía solar.....	26
2.3 Captadores solares	27
2.3.1 Captadores de alta y mediana temperatura	27
2.3.2 Captadores de baja temperatura	31
2.3.3 Descripción de una instalación de agua caliente sanitaria.....	32
Capítulo 3.....	35
Suelo radiante	35
3.1 Confort térmico	35
3.2 Descripción del sistema suelo radiante	36

3.2.1	Tipos de circuitos	38
3.3	Elementos de la instalación	40
3.3.1	Tuberías	40
3.3.2	Aislante	41
3.3.3	Colector (manifold)	42
3.3.4	Mortero	42
3.3.5	Recubrimiento del suelo	43
Capítulo 4.....		45
Zona de estudio		45
4.1	Ubicación geográfica.....	45
4.2	Datos climáticos	46
4.2.1	Temperatura.....	46
4.2.2	Radiación.....	46
4.3	Características de la población de la zona.....	47
4.3.1	Población.....	47
4.3.2	Viviendas.....	47
4.3.3	Economía.....	48
4.3.4	Educación.....	48
4.3.5	Descripción de las viviendas de la zona	49
Capítulo 5.....		51
Cargas térmicas		51
5.1	Cargas térmicas	51
5.1.1	Carga térmica por transmisión.....	51
5.1.2	Carga térmica por ventilación	58
5.1.3	Carga térmica por infiltración	59
5.2	Cálculo de las cargas térmicas con el software Revit 2019.....	60
5.3	Comparación de las cargas térmicas.....	61
Capítulo 6.....		63
Metodología y diseño del sistema de suelo radiante.....		63
6.1	Metodología de cálculo	63
6.1.1	Emisión térmica	63
6.1.2	Pérdidas descendentes.....	64
6.1.3	Potencia térmica del suelo radiante	65
6.2	Diseño del suelo radiante	65
6.2.1	Emisión térmica	65
6.2.2	Temperatura media de la superficie del suelo.....	66
6.2.3	Pérdidas descendentes	67
6.2.4	Pérdidas térmicas descendentes	68
6.2.5	Potencia térmica del suelo radiante.....	68
6.2.6	Análisis de transferencia de calor	68

6.2.7	Separación de las tuberías de polietileno reticulado	75
6.2.8	Longitud de la tubería de polietileno reticulado.....	76
6.2.9	Espesor del mortero	77
6.2.10	Factor de corrección del acabado del piso.....	77
6.2.11	Diámetro de la tubería y velocidad del agua.....	78
Capítulo 7.....		81
Cálculo de la instalación de agua caliente sanitaria.....		81
7.1	Metodología de cálculo	81
7.2	Cálculo de componentes	81
7.2.1	Demanda de agua caliente	82
7.2.2	Número de captadores	85
7.2.3	Elección de captadores.....	89
7.2.4	Volumen del tanque de acumulación.....	93
7.2.5	Pérdidas de carga.....	94
7.2.6	Vaso de expansión.....	97
7.3	Elección de la bomba	99
Capítulo 8.....		103
8.1	Impacto económico-evaluación financiera.....	103
8.2	Impacto social.....	107
8.3	Impacto ambiental.....	108
8.4	Impacto tecnológico.....	108
Conclusiones		109
Referencias bibliográficas		111
Apéndices		119
Apéndice A. Distribución de las casas del caserío de Sexemayo Lote 1		121
Apéndice B. Distribución y medidas de casa estudiada		122
Apéndice C. Informe completo del cálculo térmico mediante el software Revit		123
Apéndice D. Distancia entre las tuberías PEX.....		128
Apéndice E. Distribución y metrado de una instalación de suelo radiante por energía solar		129
Apéndice F. Captador Viessmann: Eficiencia anual/ número de captadores..		131
Apéndice G. Captador Termocan Neo: Eficiencia anual/ número de captadores		134
Apéndice H. Captador Slim Vertical: Eficiencia anual/ número de captadores		137

Apéndice I. Precio de productos importados situados en Sexemayo (calefacción solar).....	140
Apéndice J. Precio de productos importados situados en Sexemayo (calefacción eléctrica)	142
Apéndice K. Arreglo hidráulico de una instalación por suelo radiante con caldera eléctrica	144
Apéndice L. Arreglo eléctrico de una instalación por suelo radiante con caldera eléctrica	145
Anexos.....	147
Anexo A. Transmitancias térmicas y resistencias de la tierra, teja de arcilla, vidrio y pino	149
Anexo B. Resistencia superficial externa e interna de paredes, techo, suelo y cámara de aire.....	150
Anexo C. Horas sol.....	151
Anexo D. Factor de creación K.....	152
Anexo E. Datos técnicos y precio del captador Viessmann	153
Anexo F. Datos técnicos y precio del captador Termocan Neo 18 (1.8A)	154
Anexo G. Datos técnicos y precio del captador Slim Vertical	155
Anexo H. Tanque de acumulación.....	156
Anexo I. Caída de presión en las tuberías PEX Uponor	157
Anexo J. Vaso de expansión.....	158
Anexo K. Bomba de recirculación	159
Anexo L. Accesorios y tuberías.....	160
Anexo M. Ficha técnica del mortero Weberfloor.....	162
Anexo N. Materiales de construcción/precios.....	164
Anexo Ñ. Equipos y accesorios eléctricos.....	167
Anexo O. Cotización de mantenimiento del sistema de suelo radiante.....	169
Anexo P. Flete marítimo	170
Anexo Q. Flete terrestre.....	171

Lista de tablas

Tabla 1. Comparación de tuberías de distintos materiales	41
Tabla 2. Temperaturas en la ciudad de Cajamarca.	46
Tabla 3. Definición climática de la zona estudiada.....	51
Tabla 4. Transmitancias térmicas por zona bioclimática.....	52
Tabla 5. Verificación de los componentes de cerramientos de transmisión térmica.	56
Tabla 6. Carga térmica por transmisión en la cocina/sala	57
Tabla 7. Carga térmica por transmisión en la habitación 1/ habitación 2.....	58
Tabla 8. Resultados obtenidos para la casa estudiada	61
Tabla 9. Comparación de cargas térmicas (sin suelo).	61
Tabla 10. Resistencias ascendentes.....	67
Tabla 11. Resistencias descendentes.....	67
Tabla 12. Longitud de tubería por ambiente.....	77
Tabla 13. Demanda de agua caliente para el sistema de suelo radiante.....	83
Tabla 14. Demanda de agua caliente para el sistema de suelo radiante (continuación).....	84
Tabla 15. Determinación del número de captadores	85
Tabla 16. Determinación del número de captadores (continuación)	87
Tabla 17. Rendimiento captador Viessmann SV1F	90
Tabla 18. Rendimiento captador TERMOCAN Neo 18.....	91
Tabla 19. Rendimiento captador modelo: “CSV Slim vertical”	92
Tabla 20. Pérdidas de carga en tuberías PEX.....	94
Tabla 21. Pérdidas de carga en tuberías PEX (continuación)	94
Tabla 22. Metrado y características de la tubería de CPVC	95

Tabla 23. Resumen de pérdida de carga.....	97
Tabla 24. Inversión en un sistema de suelo radiante por energía solar	103
Tabla 25. Inversión en un sistema de suelo radiante por energía solar (continuación).....	104
Tabla 26. Inversión en un sistema de suelo radiante por energía eléctrica.....	105
Tabla 27. Inversión en un sistema de suelo radiante por energía eléctrica (continuación).....	106



Lista de figuras

Figura 1. Cocina de leña.....	18
Figura 2. Consumo mundial de energías renovables/no renovables en el 2022 ..	22
Figura 3. Crecimiento de las energías renovables en el Perú.....	22
Figura 4. Cantidad de residuos sin provecho, entre 2005-2011.....	25
Figura 5. Secado natural del café	26
Figura 6. Reflector de disco parabólico.....	28
Figura 7. Partes de un reflector cilindro parabólico.....	28
Figura 8. Reflector lineal de Fresnel.....	29
Figura 9. Partes de un captador parabólico compuesto	30
Figura 10. Captador de tubos de vacío	30
Figura 11. Captador solar de placa plana sin cubierta.....	31
Figura 12. Captadores solar de placa plana con cubierta.....	32
Figura 13. Tanque acumulador de ACS.....	33
Figura 14. Vaso de expansión	34
Figura 15. Tuberías de suelo radiante embebidas	36
Figura 16. Curvas de calefacción.....	37
Figura 17. Distribución de calor en un sistema por suelo radiante vs otros	37
Figura 18. Serpentín simple	38
Figura 19. Serpentín doble.....	39
Figura 20. Circuito en espiral.....	40
Figura 21. Elementos de una instalación de suelo radiante	40
Figura 22. Poliestireno expandido de alta densidad	41
Figura 23. Colector de suelo radiante	42
Figura 24. Colector propuesto.....	42

Figura 25. Vaciado de mortero.....	43
Figura 26. Recubrimiento del suelo tipo baldosa	44
Figura 27. Mapa de Cajamarca y ubicación del Caserío de Sexemayo	45
Figura 28. Radiación solar de la estación meteorológica Augusto Weberbauer ...	47
Figura 29. Casa de tapial	48
Figura 30. Vista satelital de la vivienda estudiada	49
Figura 31. Casa del Sr. Ramos y familia	50
Figura 32. Transmitancia térmica de marco de ventana.....	55
Figura 33. Transmitancia térmica en puertas exteriores.....	55
Figura 34. Curva característica de la norma UNE 1264.....	66
Figura 35. Resistencias térmicas.....	72
Figura 36. Separación entre tuberías PEX.....	76
Figura 37. Factor de corrección para diferentes recubrimientos	77
Figura 38. Sistema de agua caliente sanitaria y suelo radiante	82
Figura 39. Rendimiento mes a mes de cada captador analizado.....	92
Figura 40. Coeficiente de dilatación a diferentes temperaturas.....	98
Figura 41. Datos técnicos bomba Wilo-modelo Yonos Pico.....	100

Introducción

En el Perú existen departamentos cuya población es afectada por climas con bajas temperaturas, en los meses de invierno. Cajamarca es uno de los departamentos afectados por las heladas, por ejemplo, el 21 de julio del 2022, el distrito de La Encañada registró una temperatura de -9°C ; según Senamhi; además, según el INEI, Cajamarca en el año 2018 se posicionó como la ciudad con mayor pobreza monetaria en el Perú; por ello, las personas de bajos recursos de zonas rurales de la ciudad de Cajamarca, durante las heladas, no tienen alternativa para combatir el frío.

Cerca de Cajamarca se encuentra el Caserío de Sexemayo, donde los pobladores sufren notablemente las inclemencias del frío; en este Caserío se observa que las familias usan una técnica muy antigua para poder elevar la temperatura de sus hogares y con ello la temperatura de su cuerpo, la cual es mediante los gases de combustión que generan sus cocinas de leña, siendo esto perjudicial para su salud, ya que indirectamente están inhalando gases tóxicos, generados por la combustión, como el monóxido de carbono (CO).

Este problema se puede solucionar aprovechando energías renovables, tal como la solar, que es una energía abundante y que puede aprovecharse para fines térmicos y eléctricos. Estas aplicaciones son muy útiles a la sociedad ya que ayudan al medio ambiente, economía y buen impacto social.

En el presente trabajo, se diseña un sistema de calefacción usando la tecnología de suelo radiante. Esta tecnología ayuda a elevar la temperatura del ambiente en donde está instalado, haciéndolo de una forma ecoamigable, ya que trabaja con la energía solar. El suelo radiante está compuesto por una serie de tuberías instaladas debajo del pavimento por las cuales circula agua, que se calienta mediante captadores solares, elevando así la temperatura del ambiente y produciendo el confort térmico de los habitantes de dicha vivienda.



Capítulo 1

Aspectos generales

1.1 Identificación del problema

El departamento de Cajamarca pertenece a la sierra norte del Perú, tiene localidades con altitudes mayores a los 3000 m.s.n.m., donde se presentan heladas, llegando a temperaturas por debajo de 0°C entre abril y septiembre, siendo julio el mes más crítico (Senamhi, 2021). Además, según Senamhi en la sierra norte no es necesario que las temperaturas lleguen bajo 0°C para que este fenómeno suceda.

Algunos distritos de Cajamarca presentan temperaturas mínimas de -8°C a -6°C, en un periodo de 5 a 10 días en julio, provocando una tasa de neumonía de un 40.6 % en niños menores a los 5 años de edad (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2016). Estas localidades son Granja Porcón, La Encañada, Namora, y La Victoria (Senamhi, 2021).

Las zonas rurales de Cajamarca presentan, en su mayoría, escasa o nula intervención por parte del gobierno; lo cual se evidencia en las condiciones de vida de sus habitantes, pues la mayoría de ellos no tienen acceso a algunos de los servicios básicos, tal como alcantarillado y energía eléctrica.

Además, las construcciones de sus hogares son fabricadas con material de la zona, los principales cerramientos usados según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), son adobe y tapial, siendo Cajamarca el tercer departamento en disponer casas fabricadas con dichos materiales, con un total de 264 mil 310 viviendas, lo cual representa un 70.3 % de todas las viviendas del departamento (INEI, 2017). Se usan estos materiales por su bajo costo, fácil montaje y además porque son buenos aislantes térmicos.

Es costumbre de la mayoría de pobladores, luego de sus jornadas laborales, reunirse en la cocina, y aprovechar el calor emitido por la leña para climatizarse, tal como se aprecia en la figura 1, causando indirectamente daños en su salud, debido a los humos y partículas generados y emitidos por la combustión de la madera.

En este marco se puede afirmar que las bajas temperaturas; producen enfermedades y daños para la salud; y las pocas alternativas de solución, incrementan los inconvenientes y deterioran la salud.

Figura 1. Cocina de leña

1.2 Propuesta de solución

Debido a la problemática antes descrita, se busca dar una solución al problema de las bajas temperaturas dentro de los hogares de la zona rural de Cajamarca, para ello se plantea usar generadores de calor, accionados por recursos naturales de la zona (energía solar), debido a que la tarifa de energía eléctrica domiciliaria es del tipo BT5, lo que, por aspectos económicos, les impide usar sistemas de calefacción eléctrico o radiadores. Por ello se busca diseñar un sistema que funcione, en su totalidad, con energía solar para climatización de los hogares. El sistema que se propone es la alternativa de "suelo radiante", compuesto por tuberías subterráneas, por las que fluye agua caliente sanitaria, y emite calor al ambiente o recinto donde está instalado, logrando que la temperatura de la habitación aumente, y por lo tanto se tenga una sensación térmica confortable.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Dimensionar un sistema de calefacción, por piso radiante, usando como fuente la energía solar, para así brindar confort térmico a una vivienda rural en Cajamarca.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Diseñar una instalación de piso radiante de una vivienda rural típica de Cajamarca, en el Caserío de Sexemayo, ubicado a 3410 m.s.n.m., en el distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, del departamento de Cajamarca
- Dimensionar y seleccionar el sistema de energía solar (captadores y componentes) que permitan obtener el agua caliente.
- Diseñar el sistema hidráulico que permita transmitir la energía calorífica del agua en el proceso de climatización.

- Evaluar el uso de la energía solar como fuente principal, para instalar sistemas de climatización en el Caserío de Sexemayo, y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.
- Realizar un estudio económico de la instalación de un sistema de calefacción por suelo radiante, para evaluar la viabilidad de uso en hogares de bajos recursos.
- Comparar el porcentaje de error al hacer cálculos numéricos manuales y realizados con un software de cálculo de cargas térmicas (Revit).
- Hacer un estudio económico de la inversión promedio para una instalación por suelo radiante y un sistema de captación solar en una vivienda rural.
- Comparar la inversión de una instalación por suelo radiante con un sistema de captación solar en una vivienda rural vs con un sistema eléctrico.
- Demostrar el impacto ambiental positivo de instalar un sistema de climatización por energía solar.

1.4 Justificación

Las áreas rurales del Perú, principalmente las ubicadas en zonas medio y alto andinas carecen o disponen de un acceso restringido a servicios básicos que les permitan tener una mejor calidad de vida. Según una encuesta realizada por el INEI en el 2017, un 93% de la población de zonas rurales, dispone de agua potable; solo un 29% tiene servicios de alcantarillado; y el 79.6% cuenta con electrificación. Además, en la estación de invierno, con temperaturas muy bajas, las familias se ven afectadas por el frío al interior de sus viviendas que les perjudica la salud, principalmente con enfermedades respiratorias.

En esta zona de Cajamarca el recurso solar es de vital importancia, según datos obtenidos por el software de gestión de energías limpias, RetScreen, la radiación solar diaria durante todo el año se encuentra en una media de $5.66 \frac{\text{kW.día}}{\text{m}^2}$; lo cual es una ventaja, ya que incluso en los meses con temperaturas críticas, se puede aprovechar la energía solar.

Debido a los recursos de la zona, se propone usar un sistema de calentamiento de agua, utilizando energía solar. Con el calor que el fluido adquiera, este se recirculará por el sistema de suelo radiante, pudiendo llegar al confort térmico en el sitio donde se encuentra instalado el sistema.

Si bien este trabajo se aplicará en el área rural de Cajamarca, su desarrollo y metodología puede ser replicado en cualquier otra localidad, ya que la técnica a seguir es la misma; esto significará un gran aporte social y medio ambiental para las zonas rurales del Perú. También, fortalecerá el área de Edificación Sostenible (ya que se está aprovechando los recursos naturales existentes en la zona), incorporando en ella los conceptos de eficiencia energética y el aprovechamiento de recursos renovables; así

mismo integrará el desarrollo de los programas académicos de Arquitectura y de Ingeniería Mecánico Eléctrica de la Facultad de Ingeniería.

El desarrollo del tema propuesto en esta tesis servirá como un antecedente a ser considerado en futuros estudios de investigación. En este sentido el alcance de esta tesis es el estudio teórico y dimensionamiento del sistema de climatización. En una siguiente fase se podría optimizar este dimensionamiento con el soporte de algún software de simulación que permita la construcción de un prototipo al que se le puedan realizar las pruebas experimentales correspondientes.

1.5 Alcance y limitaciones del estudio

Debido al contexto actual que el Perú y el mundo atraviesa, el estudio ha tenido una fase experimental que consistió en visitar la zona de investigación, conocer la forma de vida y las costumbres, así como el aspecto cultural, y se obtuvo de fuente directa datos del tipo de viviendas del Caserío.

Los datos obtenidos acerca de la población y su forma de vida, han sido extraídos del último censo, el cual se realizó en el año 2017, cuyos resultados públicos fueron expuestos el 2018.

Los datos son tomados de las estaciones meteorológicas más cercanas al sitio de estudio, ya que dicho lugar específicamente, no cuenta con ningún tipo de monitoreo del clima.

El alcance de esta tesis es dar una propuesta de solución a través de un estudio teórico, cuyo aporte principal será brindar datos de diseño, con el propósito de que, en el futuro, estos sean optimizados con un software de simulación.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Energías renovables

Las energías renovables existen a partir de fenómenos naturales inextinguibles; tal como el sol, viento, lluvias, etc. Siempre estarán disponibles porque son inagotables, es decir se regeneran de forma natural.

Un aspecto interesante acerca de las energías renovables es que la mayoría son originadas o están relacionadas de alguna forma con el sol. Esto se debe a que la radiación solar ocasiona el movimiento del aire que mueve las olas; además, también contribuye a la fotosíntesis de las plantas, dando origen a la biomasa (Osinergmin, 2019).

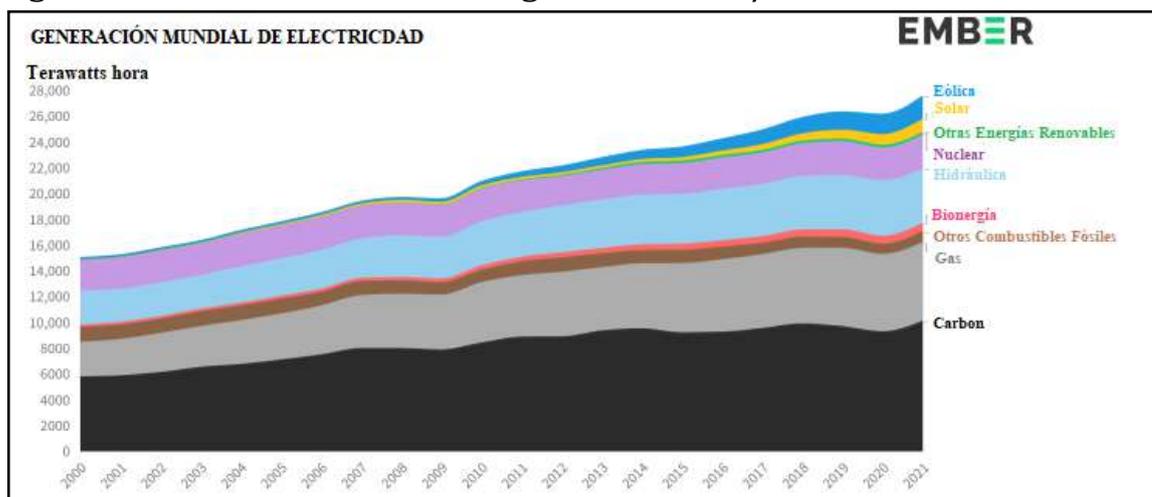
Estas energías son ecoamigables con el planeta, ya que al ser naturales no emiten ningún tipo de gases contaminantes, por ello su uso contribuye a la disminución del efecto invernadero.

2.1.1 Introducción

En la actualidad el uso de las energías renovables, están causando un gran entusiasmo en todo el mundo, debido a que se busca la descarbonización mundial, que consiste en el cierre de centrales de energía que tienen como fuente el diésel o carbón. Ante dicho cambio, en el 2021, un medio de la potencia instalada en el mundo (tal como se indica en la figura 2), ya era de fuentes naturales (EMBER, 2022).

Las energías renovables se clasifican en energías renovables convencionales (ERC) y no convencionales (ERNC). Las ERC engloba a las centrales hidroeléctricas, y dentro de las ERNC se encuentran las centrales minihidráulicas, centrales eólicas, centrales fotovoltaicas, centrales solares térmicas, centrales geotérmicas, centrales mareomotrices y centrales de biomasa (Osinergmin, 2014).

Figura 2. Consumo mundial de energías renovables/no renovables en el 2022

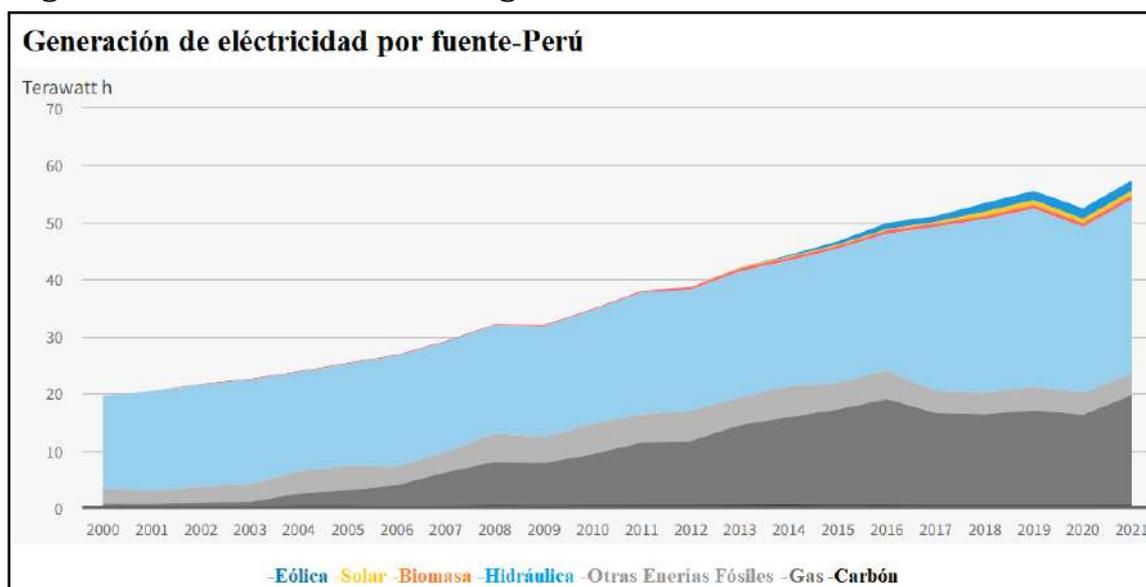


Nota. Adaptado de EMBER (2022).

En el Perú desde el 2008, con la aprobación de D.L. N°1002, se comenzó legalmente a usar energías renovables no convencionales. Durante los años 2000-2021 la capacidad instalada por energías limpias creció de 2.9 GW a 6.4 GW y la generación estas energías creció de 16.07 TWh a 33.76 TWh, ver figura 3, (EMBER, 2022).

Además, en la figura 3 se muestra que las energías renovables con mayor uso en el Perú son: hidráulica, eólica, solar y de biomasa.

Figura 3. Crecimiento de las energías renovables en el Perú



Nota. Adaptado de EMBER (2022).

2.2 Clasificación

2.2.1 Energía eólica

Es producida por el viento, gracias a la diferencia de temperatura entre distintas zonas geográficas (Zapata, 2019).

La máquina encargada de transformar la energía eólica en eléctrica o mecánica, está compuesta por aspas oblicuas firmemente unidas a un eje del generador eléctrico; se produce por fuerzas ejercidas por el viento sobre las palas del aerogenerador (Vásquez et al., 2017).

Las turbinas son instaladas en parques eólicos, los cuales pueden ser "Onshore" u "Offshore"; en el primer caso, las turbinas son de una gran altura para un buen aprovechamiento del viento, y están disponibles ya sea en zonas urbanas y rurales; en el segundo caso, las turbinas se encuentran instaladas en el mar, no necesitan de una altura tan elevada ya que, al estar a campo abierto, pueden capturar con mayor facilidad las fuerzas de los vientos (Bojorquez Chavez, 2018).

Según el Atlas Eólico, en el Perú la mayor potencia eólica se encuentra en la zona norte, siendo Piura, Lambayeque y La Libertad las regiones más adecuadas para parques eólicos. La velocidad promedio del viento en dichas regiones es de 6 m/s a 12 m/s. En el 2021 la generación de electricidad por esta fuente fue de 1.81 TWh y la capacidad instalada fue de 0.41 GW (EMBER, 2022).

2.2.2 Energía marítima

Tres cuartos del planeta está constituido por océanos, de las cuales se aprovecha la energía dentro de ellos para transformarla en energía eléctrica. Existen tres tipos de energía marítima: mareomotriz, undimotriz y maremotérmica.

La energía mareomotriz aprovecha el movimiento de las mareas, formadas a partir de la atracción de la luna hacia la tierra y la rotación de esta última. Presenta altos costos de instalación (Bojorquez Chavez, 2018).

La energía undimotriz es producida por el movimiento de las olas de los océanos, tiene la capacidad de acumular y trasladar energía sin perderla (Chenari et al, 2014).

La energía maremotérmica, aprovecha la energía térmica del mar mediante el gradiente de temperatura producido entre la temperatura de las profundidades del mar y de la superficie, esta variación debe ser de 20°C como mínimo (Osinermin, 2019).

2.2.3 Energía geotérmica

Aprovecha el calor que se encuentra en el interior de la tierra, rocas y agua. En cuanto aumente la profundidad del interior de la corteza terrestre, habrá mayor temperatura (Bojorquez Chavez, 2018).

Para convertir la energía geotérmica en energía eléctrica, se debe tener yacimientos geotérmicos de alta temperatura¹, en los cuales se utiliza un generador que, a su vez, está conectado a una turbina por la que circulan vapores que permiten el funcionamiento del sistema. Presentan costos de operación relativamente menores a otros tipos de energías renovables; además, no depende del clima y presenta alta disponibilidad (Fuentes, 2011).

El Perú cuenta con abundantes recursos geotérmicos, las principales fuentes de esta energía están en el sur del Perú (Cuzco, Arequipa y Puno) y parte de la sierra norte del Perú (Cajamarca y La Libertad). En algunas regiones se puede encontrar aguas termales o actividad volcánica (Osinergmin, 2019).

2.2.4 Energía de la biomasa

A diferencia de los otros tipos de energías renovables que provienen directamente del sol o aire, la biomasa se obtiene a partir de la materia orgánica producida por las plantas, residuos domésticos y desechos de animales; en las cuales influye indirectamente el sol, como es el caso de la fotosíntesis de las plantas (Maugard, 2015).

La materia orgánica producida por las plantas son los productos agrícolas que no pueden ser aptos para el consumo humano; también, los residuos de madera en dicha industria, y los de cultivos energéticos tal como la caña de azúcar.

La materia orgánica producida por animales son los desechos de las ganaderías, gallinaza y camales de todo tipo de animales.

Existen dos tecnologías para transformar la biomasa, mediante procesos bioquímicos y termoquímicos, con el primero la biomasa es degradada por microorganismos de los cuales se obtiene gases combustibles y biocombustibles tal como el etanol y biodiesel, que luego son usados en motores de combustión interna (Paul, 2013), logrando la disminución del uso de combustibles fósiles; también a partir de dicha tecnología se produce energía eléctrica. El segundo tipo de tecnología aprovecha la biomasa para producir calor con aplicaciones domésticas o industriales, tal como la cocción de alimentos y producción de energía eléctrica.

El Perú tiene grandes cantidades de biomasa distribuidas heterogéneamente en los departamentos de Lima, Lambayeque, Loreto. De acuerdo a *Mitigation Momentum* (figura 4), indica que hay 13 tipos de cultivos para producir energía eléctrica, de los cuales entre el 2005-2011 no se aprovecharon la suma de 31 millones de toneladas.

¹ Estos yacimientos presentan rocas calientes a temperatura mayores de 250°C, además deben presentar cada 100 m un gradiente geotérmico de 30°C.

Figura 4. Cantidad de residuos sin provecho, entre 2005-2011

Cultivo	Residuos (toneladas)
Algodón	572 083
Arroz	4 172 540
Caña de azúcar	18 967 989
Café	337 486
Cebada	236 006
Espárrago	499 400
Maíz amarillo duro	2 904 397
Maíz choclo	599 802
Maíz amiláceo	915 928
Fruta de palma	1 499 188
Oliva	22 027
Trigo	251 682
Uvas	34 265
Total	31 012 793

Nota. Adaptado de Mitigation Momentum (2015).

2.2.5 Energía hidráulica

Se da por el ciclo del agua; está relacionada indirectamente a la energía solar, pues al evaporarse el agua de los océanos, lagos y ríos, luego se precipitan en forma de lluvia a la superficie terrestre y retornar posteriormente al mar.

La energía hidráulica aprovecha la energía cinética y potencial de los cauces y corrientes de agua, y mediante una central hidroeléctrica se transforma en energía eléctrica. Estas centrales están compuestas por turbinas hidráulicas, en las cuales el agua ejerce una determinada fuerza haciéndolas rotar, para que esta energía mecánica sea transferida a un generador eléctrico (Endesa, 2021).

Las centrales hidroeléctricas se encuentran en lugares que presentan la suficiente cantidad de agua, están constituidas por presas, pantanos, turbinas y equipos generadores de electricidad. El costo de una central puede resultar elevado al principio, sin embargo, disminuye a medida que opera.

En el Perú existen centrales minihidráulicas, según el D.L. N°1002, estas centrales se caracterizan por tener su capacidad instalada menor a 20 MW y están conectadas a la red eléctrica (Osinergmin, 2019).

La primera central minihidráulica en nuestro país fue Carhuaquero. Además, en el 2018 se registró un total de 25 centrales minihidráulicas, ubicadas mayoritariamente en los departamentos de Lima, Junín y Cajamarca (Osinergmin, 2019).

2.2.6 Energía solar

Se da por las reacciones nucleares de fusión en el núcleo del sol, son transmitidas en forma continua y permanente al espacio a través de ondas electromagnéticas (Paul, 2013).

El planeta tierra absorbe un 70% de energía solar, y el resto es reflejado hacia la atmosfera (Paul, 2013).

La energía solar puede ser aprovechada de forma pasiva o activa, como también puede transformarse en forma térmica o eléctrica.

2.2.6.1 Energía solar pasiva. El aprovechamiento de la energía solar en forma pasiva no requiere ningún sistema de dispositivos, solo depende del clima del lugar; por ejemplo, en la figura 5 se observa el secado del café en la selva peruana.

Figura 5. Secado natural del café



Nota. Adaptado de Perfect Daily Grind (2017).

2.2.6.2 Energía solar activa. Para un aprovechamiento eficiente se requiere de dispositivos captadores de la radiación solar, tal como paneles fotovoltaicos o captadores solares, y también de sistemas mecánicos, como bombas de agua.

- **Energía solar fotovoltaica**

Transforma directamente la radiación solar en energía eléctrica. Se da por el efecto fotovoltaico; se utiliza dispositivos construidos a partir de materiales semiconductores, generalmente silicio tal como en las células fotovoltaicas (Salvador Escoda S.A., 2017).

La energía solar absorbida es transferida al material, en el que sus electrones rompen enlaces, dejando espacios vacíos; y, posteriormente, se comportan como partículas de carga positiva. Los electrones se acumulan en otra parte generando una carga negativa, resultando la diferencia de potencial que genera electricidad en forma de corriente continua (Cerdán Cabrea, 2010).

Los conjuntos de células fotovoltaicas son conocidas también como componentes fotovoltaicos y dependiendo de la aplicación, pueden tener arreglos en serie o paralelo.

- **Energía solar térmica**

Consiste en el aprovechamiento de la energía solar, con la cual se calienta un fluido caloportador mediante el uso de colectores o captadores solares. Existen captadores para diferentes usos, pueden ser de baja (menor a 80°C), media (menor a 300°C) y alta (hasta 4000°C) temperatura, esto dependerá de la aplicación. Por ejemplo, para climatizar una vivienda se usarán captadores de baja temperatura que permitan el calentamiento del fluido caloportador.

Otra aplicación de la energía solar térmica es la obtención de energía eléctrica mediante plantas de energía termosolar concentrada o centrales solares térmicas, donde se calienta un fluido caloportador, con el cual mediante el vapor que se produce, puede accionar el grupo turbina – generador.

2.3 Captadores solares

Los captadores solares son intercambiadores de calor que captan la energía solar y la transforman en energía térmica que es transferida a un fluido (generalmente agua, aire, aceite, o una mezcla de agua con otros fluidos), circulante a través del interior del captador para luego ser usado en distintas aplicaciones.

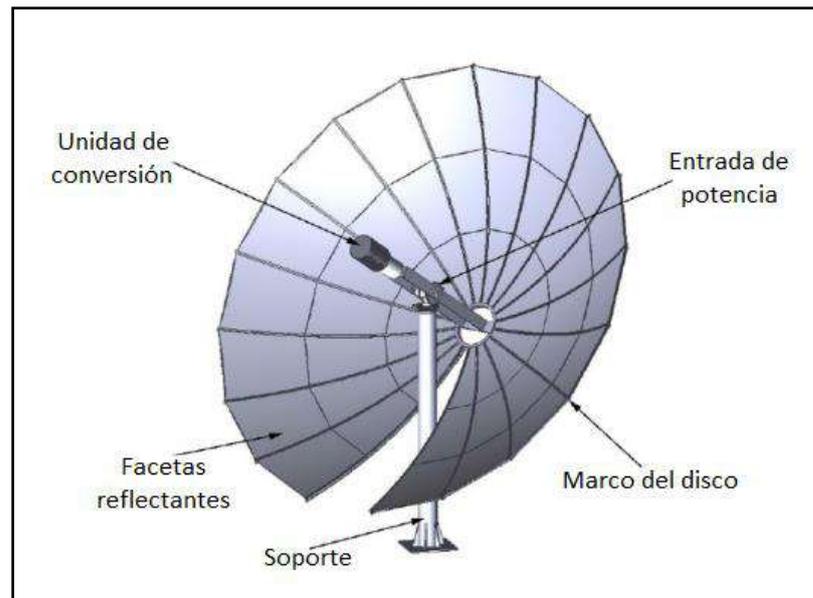
En el funcionamiento de los captadores solares se dan los tres tipos de transferencia térmica; presenta pérdidas por conducción y convección, además absorbe radiación solar, y emite radiación térmica (Paul, 2013). Actualmente se busca que los captadores tengan una gran absorción y menor cantidad de pérdidas.

2.3.1 Captadores de alta y mediana temperatura

- **Reflector de disco parabólico**

Presenta un mecanismo de seguimiento solar parecido al captador cilíndrico parabólico. Su disposición es similar a una antena parabólica para obtener una mayor absorción de la radiación solar (ver figura 6).

Los rangos de temperatura fluctúan entre los 600°C y 2000°C.

Figura 6. Reflector de disco parabólico

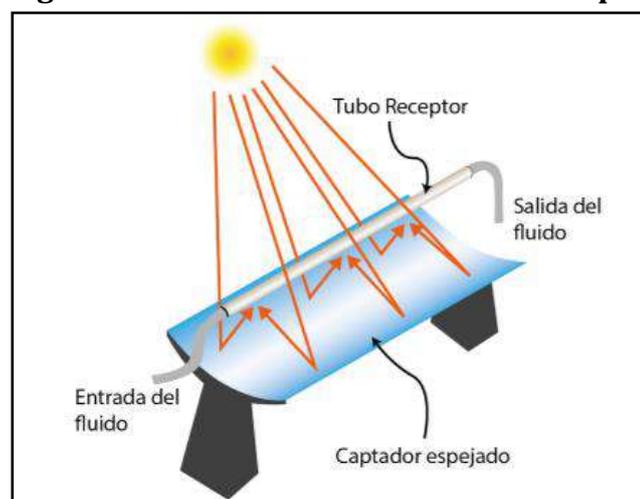
Nota. Adaptado de Hijazi et al. (2016).

▪ Captador cilíndrico parabólico

Está compuesto de material reflectante en forma de parábola. A lo largo de su línea focal posee un tubo absorbente receptor, tiene por un tubo de cristal y en su interior alberga un tubo de metal negro (ver figura 7). En este tipo de captadores las pérdidas por convección son muy bajas.

Poseen mecanismos electrónicos de seguimiento del sol, gracias a ello, pueden concentrar mayor cantidad de calor y tienen la ventaja de protegerse de peligros como ráfagas.

La temperatura de funcionamiento está en un rango entre los 50°C y 400°C.

Figura 7. Partes de un reflector cilindro parabólico

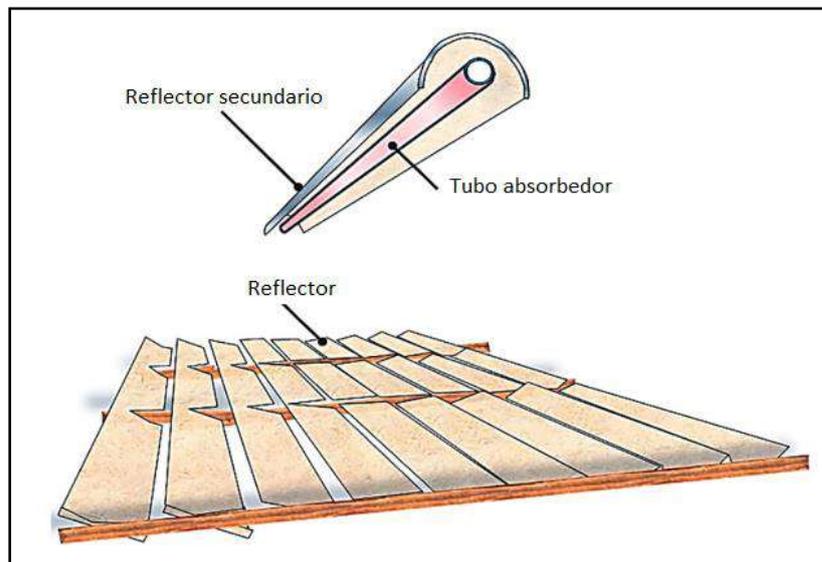
Nota. Adaptado de Panaroni et al. (2017).

- **Reflector lineal de Fresnel**

Consiste en un arreglo de tiras lineales, las cuales enfocan la luz solar hacia un receptor dispuesto en una torre lineal (ver figura 8). Estos captadores son más económicos y confiables que los captadores cilindro parabólicos para valores de temperatura menor a los 300°C.

Requiere gran área de captación, este inconveniente se atenúa aumentando la altura de la torre, aunque esto signifique el incremento del costo de la instalación.

Figura 8. Reflector lineal de Fresnel



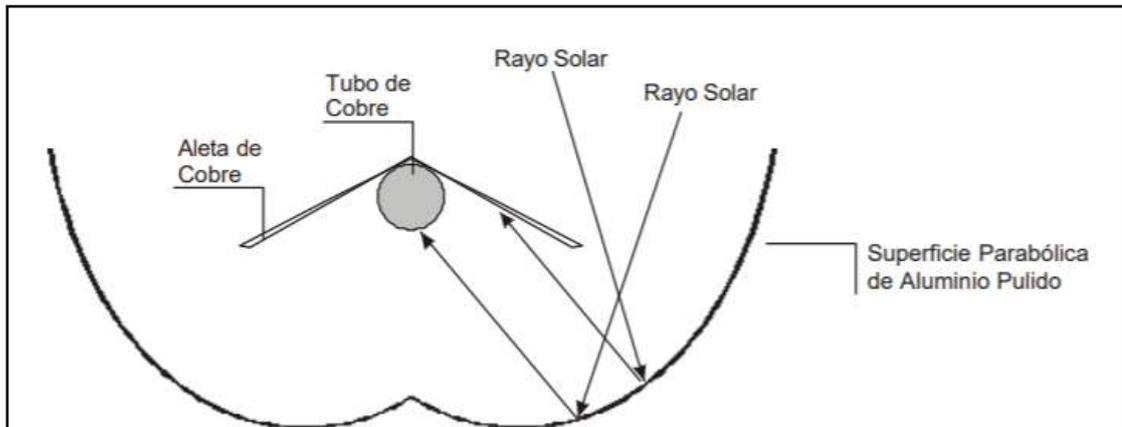
Nota. Adaptado de Suman et al. (2015).

- **Captadores parabólicos compuestos estacionarios**

Como se aprecia en la figura 9, tienen dos superficies parabólicas, un tubo central y aletas de cobre; esta geometría permite absorber radiaciones incidentes en una amplia gama de ángulos (Kumar et al., 2019). Generalmente tiene protección de vidrio para evitar la entrada de partículas externas como el polvo que reducen la capacidad de reflectividad de las paredes de las superficies parabólicas.

Temperaturas de trabajo entre los 80°C y 250°C.

Figura 9. Partes de un captador parabólico compuesto



Nota. Adaptado de Pacheco (2004).

▪ **Captadores de tubos de vacío**

Está compuesto por tubos de cobre (gran conductor de calor) con una envolvente de tubos de cristal evacuados. Estos tubos están directamente conectados al tanque de almacenamiento para evitar pérdidas de calor, ver figura 10.

Absorben radiación directa y difusa al igual que los captadores de placa plana, pero con una tecnología más avanzada para aplicaciones en lugares fríos, ya que no sufren variaciones de rendimiento en días fríos y nublados, gracias a que se disminuye las pérdidas de calor por convección y conducción al tener una tubería de alta temperatura dentro de una tubería sellada al vacío.

Tienen temperaturas de trabajo entre los 50°C y 200°C, con una eficiencia entre 70% y 80 % (Pineda Medina, 2014).

Figura 10. Captador de tubos de vacío



Nota. Adaptado de Ecofener (2018)

2.3.2 Captadores de baja temperatura

▪ Captadores de placa plana

Están compuestos por materiales planos en su mayoría, tal como cubiertas de vidrio o material polimérico, tubos y placas absorbentes. Pueden absorber radiación directa como difusa.

Se recomienda que la orientación de este tipo de captadores sea en dirección de la línea ecuatorial, y tengan una inclinación entre los 10° y 15°, dependiendo del lugar de instalación (Kumar et al., 2019)

Existen dos variantes de los captadores de placa plana:

▪ Captador de placa plana sin cubierta

Tienen un arreglo de tuberías que albergará al fluido caloportador, el material de la tubería mayormente es polimérico como el poliuretano, ver figura 11.

Presenta alta eficiencia, con valores entre 70% y 75%. El rango de temperatura de trabajo es entre los 10°C y 35°C (Kumar et al., 2019). Sus principales aplicaciones son recintos que requieren poca variación de temperatura, tal como la climatización de piscinas.

Figura 11. Captador solar de placa plana sin cubierta



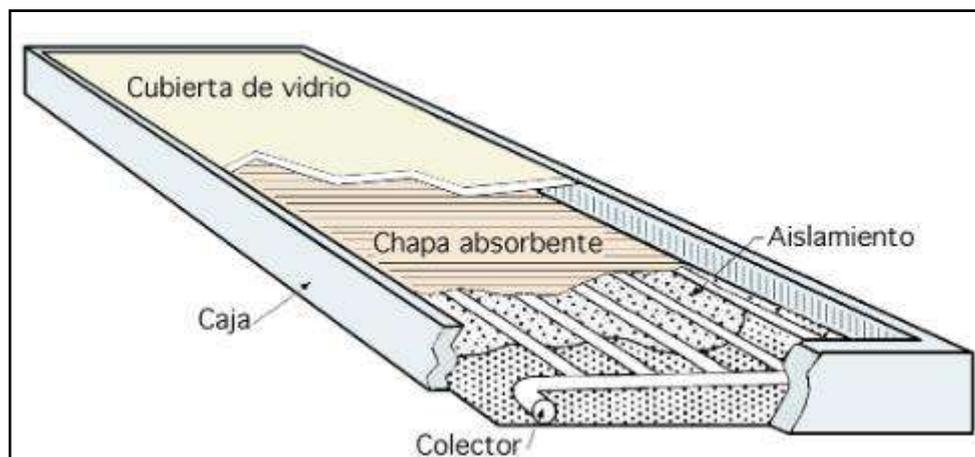
Nota. Adaptado de RDE (2022).

▪ Captador de placa plana con cubierta

Estos captadores alcanzan un rango de temperatura más elevado que los captadores sin cubierta. En la figura 12 se muestra que están compuestos por una cubierta de vidrio o plástico transparente, placas absorbedoras y tubos de cobre (Fauroux & Jagër, 2010). En este arreglo se produce el efecto invernadero y permite que las temperaturas de trabajo estén en el rango entre los 35°C y 75°C.

Su principal aplicación es la obtención de agua caliente sanitaria y la climatización (calefacción) de ambientes.

Figura 12. Captadores solar de placa plana con cubierta



Nota. Adaptado de Fernández (s.f).

2.3.3 Descripción de una instalación de agua caliente sanitaria

2.3.3.1 Componentes.

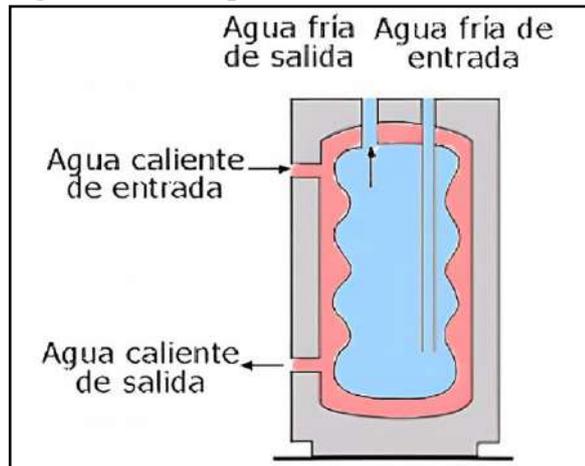
▪ Acumuladores

Son depósitos donde se almacena el agua caliente sanitaria. Pueden ir en disposiciones verticales (ver figura 13) u horizontales, este es uno de los aspectos más críticos del acumulador, ya que de esto depende el fenómeno de estratificación² (Cerdán García, 2014).

En la parte exterior e interior están compuestos de acero inoxidable o acero negro, y fibra de vidrio o polímeros termorresistentes, respectivamente. Se recomienda que el interior de estos acumuladores tenga protección catódica, para evitar la corrosión y garantizar mayor tiempo de vida útil del tanque (Cerdán García, 2014).

El volumen necesario, estará determinado de acuerdo a su aplicación; es importante encontrar las medidas necesarias, ya que, si se sobredimensiona, el agua no llegará a la temperatura deseada; y si sucede el caso contrario, el agua saldrá a una mayor temperatura de la requerida.

² Fenómeno en el que la masa del fluido adquiere diferentes posiciones en función a la densidad y temperatura. La masa con menor densidad va hacia la parte superior y la de mayor densidad hacia la parte inferior (Carrión, 2019).

Figura 13. Tanque acumulador de ACS

Nota. Adaptado de Cerdán García (2014).

- **Generador de calor**

Existen una amplia variedad de generadores de calor para un sistema ACS, entre los más usados están las calderas a gas, generadores de calor con fuente de energía eléctrica, y los captadores solares. El generador de calor más limpio y amigable con el planeta, es el captador solar.

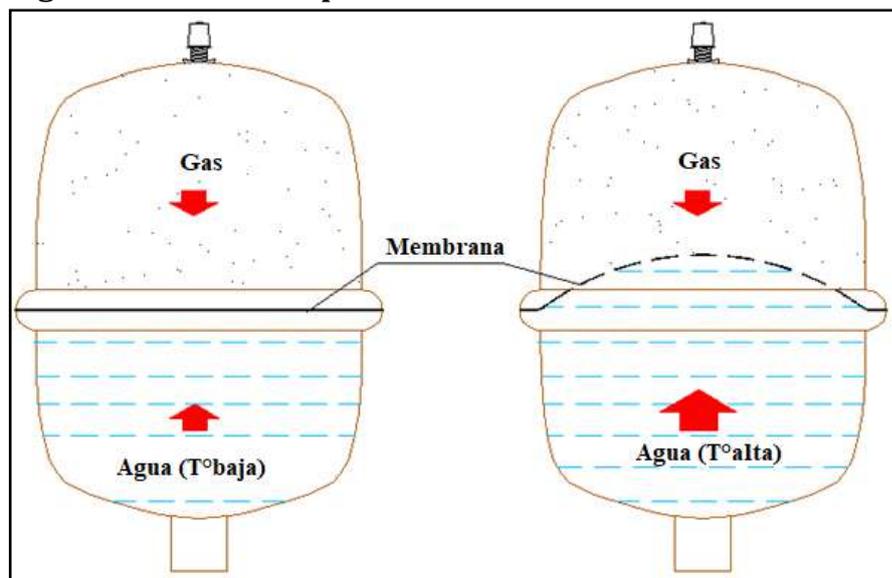
Gracias al generador de calor, el fluido circulante gana energía térmica, para distribuirla de acuerdo a la aplicación que se desea.

- **Vaso de expansión**

Al elevar la temperatura del agua, también se elevará la presión, por ello es necesario el uso del vaso de expansión, el cual controla la variación de presión existentes en un circuito cerrado, con ello el sistema tendrá mayor seguridad.

Está compuesto por un cuerpo metálico y dos membranas, una se conecta al sistema de ACS y la otra parte alberga aire en su interior. Su funcionamiento se ilustra en la figura 14; cuando aumenta la presión, el aire se traslada por el depósito y expande las membranas; y cuando disminuye la presión, estas vuelven a su posición inicial. (Novelec, 2019)

Figura 14. Vaso de expansión



Nota. Adaptado de AsKae (2018).

- **Accesorios**

Válvulas de paso: Su principal función es regular la cantidad de flujo de agua. Serán del tipo válvula de paso de bola.

Válvula check: Permite el paso del flujo en una sola dirección, irá colocada en la tubería de succión de la bomba de recirculación.

- **Tuberías**

Por el interior de las tuberías circulará agua con temperaturas mayores a los 35°C, por ello deben ser de cobre o de policloruro de vinilo clorado (CPVC) para una óptima duración del sistema. Presenta una conductividad térmica de $0.14 \frac{W}{m.K}$

Capítulo 3

Suelo radiante

3.1 Confort térmico

El confort térmico hace referencia al bienestar, salud y comodidad dentro de un espacio o ambiente, en el cual las personas no experimentan sensaciones abruptas de frío o calor; logrando desarrollar sus actividades con facilidad (Martinez, 2021).

En el cerebro se encuentra el hipotálamo, órgano responsable de mantener la temperatura corporal en equilibrio (36.5°C). Mientras mejor se lleve a cabo esta función, se tendrá una óptima sensación térmica del ambiente donde se encuentra.

Según la norma ISO 7730, el confort térmico depende tanto de parámetros externos e internos:

- **Externos**

- Temperatura del aire

Esta debe presentar valores entre 23°C y 25°C, en la temporada de verano, y en el invierno de 21°C a 23°C (Ministerio de la Presidencia-España, 2007)

- Humedad relativa

Al igual que la temperatura del aire, esta dependerá de las temporadas, estando en un rango de 45% a 60% en verano, y de 40% a 50% en invierno (Ministerio de la Presidencia-España, 2007).

- Velocidad del aire

Según la escala Beaufort, la cual mide la fuerza del viento, la velocidad del viento debe presentar valores entre 0 m/s y 0.5 m/s, debido a que en este rango la persona percibe una sensación de cambio en la temperatura ambiente de 0°C y 1°C; variación que no afectará el confort térmico (Solerpalau, s.f.).

- **Internos**

- Actividad física
- Tipo y cantidad de ropa
- Metabolismo

3.2 Descripción del sistema suelo radiante

Es un tipo de sistema de calefacción que se canaliza bajo el pavimento, el cual convierte al suelo en un sistema que emana calor por radiación en todas las direcciones al ambiente en el que está instalado (Warmup, 2021).

Este sistema de calefacción está compuesto principalmente por tuberías embebidas en el suelo, por las cuales fluye agua caliente que cederá calor al ambiente donde se encuentra instalado, tal como se muestra en la figura 15.

Estos sistemas pueden funcionar con cualquier tipo de generador de calor como calderas a gas, diésel o eléctricas y captadores solares.

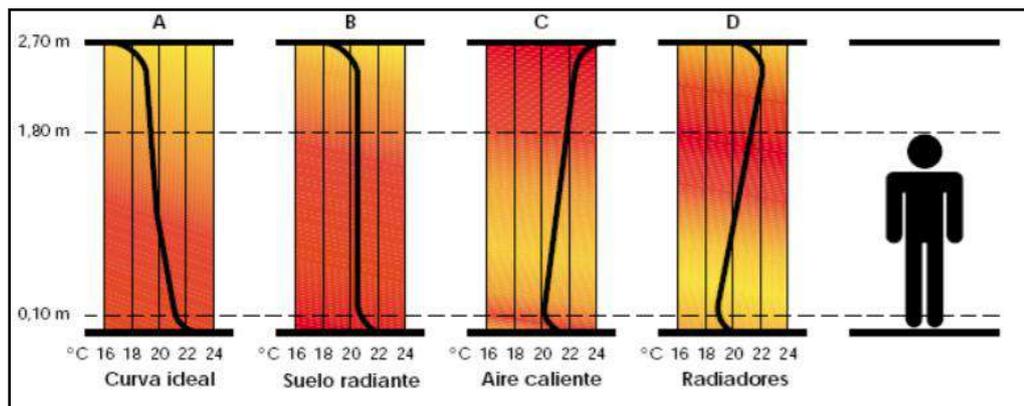
Figura 15. Tuberías de suelo radiante embebidas



Nota. Adaptado de AsKae (2018).

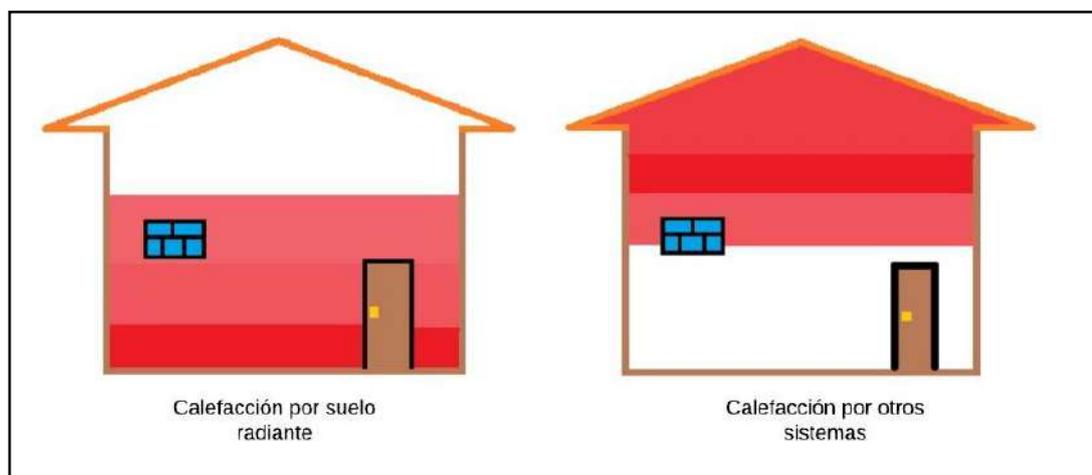
La temperatura a la que fluye el agua por las tuberías embebidas, está entre 40°C a la entrada y 45°C a la salida de las mismas, dando lugar a temperaturas entre 20°C y 29°C en el pavimento, y a través del mecanismo de transferencia de calor por radiación se logra climatizar la habitación entre temperaturas de 18°C y 22°C.

La calefacción por suelo radiante es la más parecida a la curva de confort ideal (sin puntos fríos y uniformidad térmica), se debe a que el calor va en dirección de abajo hacia arriba, es decir va de los pies de la persona a la cabeza, siendo casi despreciable el cambio de temperatura entre dicho tramo, tal como se aprecia en la imagen 16. Además, no se produce corrientes de aire, ya que estas son las causantes de la disminución de humedad en el ambiente.

Figura 16. Curvas de calefacción

Nota. Adaptado de Multimatt (2017).

Este sistema al encontrarse instalado en el suelo, permite obtener una mejor sensación térmica, y a la vez no se pierde energía como en otros sistemas de calefacción que, por el fenómeno de estratificación del aire, calientan mayormente las partes altas de la habitación donde están instalados, ver figura 17.

Figura 17. Distribución de calor en un sistema por suelo radiante vs otros

Este sistema permite mejorar la estética de la habitación donde está instalado, ya que no existen equipos que limitan espacio y generen ruido; por ejemplo, los radiadores y fan coils. Además, es sumamente seguro, ya que están compuestos por una misma tubería y no hay uniones debajo del suelo.

El suelo radiante presenta el inconveniente en requerir 8 cm adicionales para su instalación, puesto que en dicho espacio van los circuitos de las tuberías, el aislante térmico y el mortero.

Presenta diversas aplicaciones en lugares como:

- Hogares
- Hoteles

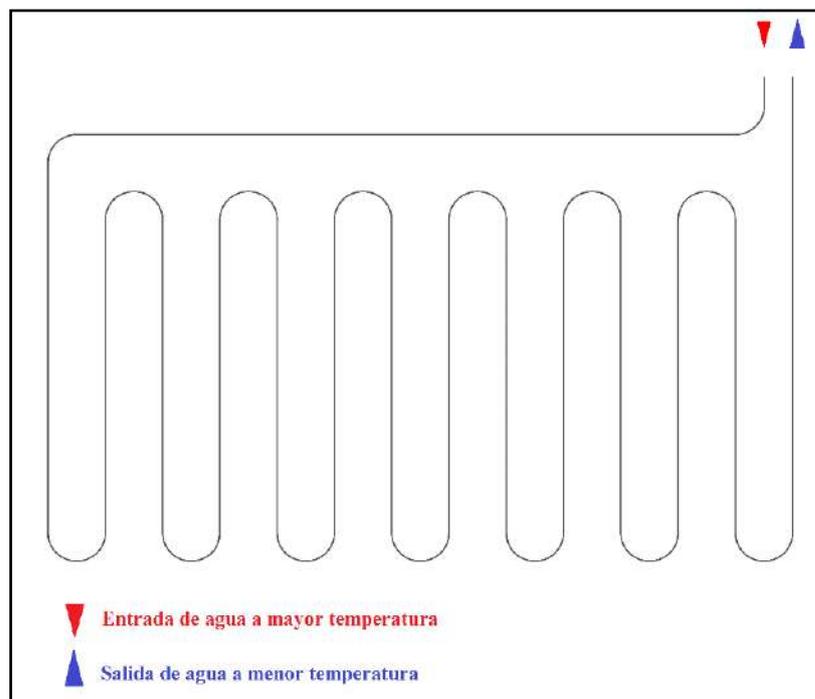
- Colegios
- Granjas
- Centros comerciales
- Instituciones educativas

3.2.1 Tipos de circuitos

La tubería embebida en el suelo, debe tener una distribución adecuada, para que se tenga una óptima distribución de calor en la habitación a climatizar. Se recomienda que las tuberías de los circuitos estén separadas entre 10 cm o 15 cm de las paredes.

3.2.1.1 Circuitos en serpentín simple. En la figura 18 se muestra el arreglo de las tuberías del circuito en serpentín simple, presentan forma paralela, cada una es de la misma medida, y es muy fácil de instalar; sin embargo, con este arreglo el calor no se distribuye uniformemente, debido a que habrá variaciones de temperatura marcadas entre la entrada y salida del circuito, presentándose mayor calor en la parte inicial de las tuberías y menor calor en la parte final. Además, la separación mínima entre cada tubería paralela debe ser de 24 cm, ya que una medida inferior generará inconvenientes en el doblado de dicha tubería (Rodea & Oscar, 2012).

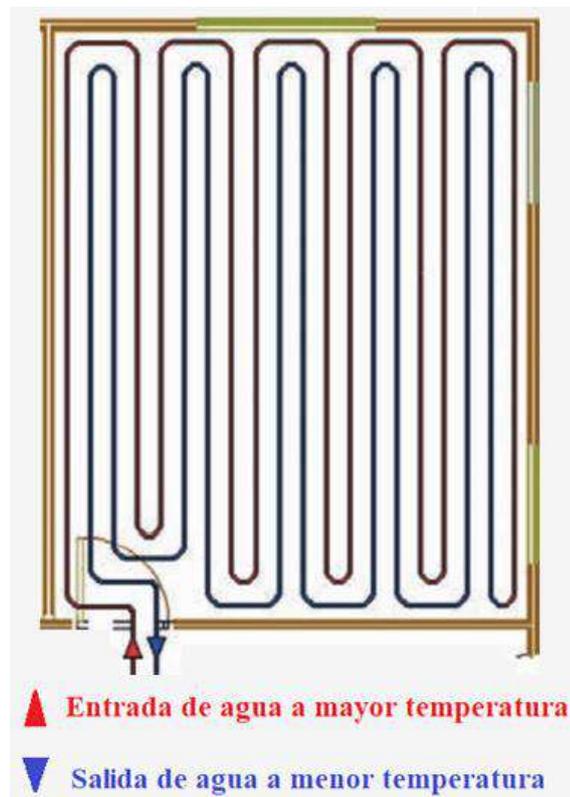
Figura 18. Serpentín simple



Nota. Adaptado de Fegeca (2017).

3.2.1.2 Circuitos en serpiente doble. Tal como se muestra en la figura 19, en este circuito las tuberías van en forma paralela como en el circuito anterior. Se diferencia en que se intercala una línea de ida con una línea de vuelta, mejorando la distribución del calor. Presenta el inconveniente que en el doblar de las tuberías de vuelta se generan radios pequeños, los cuales puede dificultar la instalación. Su principal uso es en habitaciones alargadas.

Figura 19. Serpiente doble

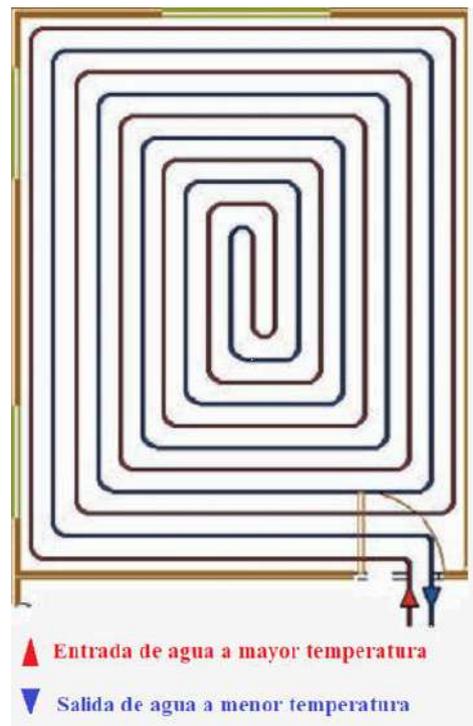


Nota. Adaptado de Fegeca (2017).

3.2.1.3 Circuito en espiral. Se considera como el mejor arreglo de los circuitos de suelo radiante, ya que la distribución de calor es totalmente homogénea, debido a que la tubería de retorno siempre estará al mismo nivel de la tubería de entrada, lo cual genera una sensación uniforme de calor; además, no existe el problema de los radios pequeños a la hora del doblar. La tubería es colocada desde el extremo inicial hacia el centro del habitáculo, de donde se parte para el retorno de la misma, ver figura 20. Tiene una óptima aplicación en habitaciones rectangulares o cuadradas.

Esta configuración será adoptada en este trabajo de tesis debido a que distribuye uniformemente el calor, el pliegue de las tuberías se dará con facilidad y también porque las habitaciones de la casa son de forma rectangular.

Figura 20. Circuito en espiral

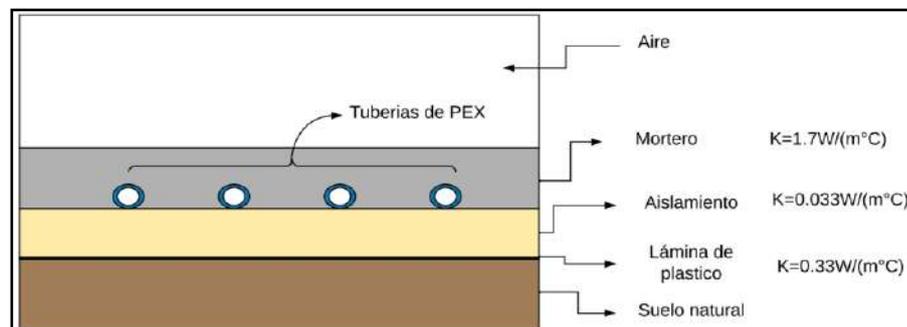


Nota. Adaptado de Fegeca (2017).

3.3 Elementos de la instalación

Para un óptimo funcionamiento del suelo radiante, además del tipo de circuito, se debe escoger adecuadamente los elementos de su instalación, los cuales se describen en la figura 21.

Figura 21. Elementos de una instalación de suelo radiante



3.3.1 Tuberías

Son la parte principal de la instalación del suelo radiante. Los principales criterios que deben cumplir son: ser termoresistentes, de fácil doblado, buena conductividad térmica e insensibles a la corrosión. En el mercado existen varios materiales que cumplen con los requisitos (ver tabla 1), siendo los termoplásticos los de mayor acogida por el fácil doblado y su sencilla instalación.

Tabla 1. Comparación de tuberías de distintos materiales

Características	Unidad	Polibutileno (PB)	Polipropileno (PP-C)	Polietileno reticulado (PEX)
Densidad	gr/cm^3	0.93	0.91	0.94
Resistencia a la rotura	N/mm^2	33	45	23
Alargamiento hasta la rotura	%	280	1.10	250
Módulo de elasticidad	N/mm^2	350	1.00	750
Conductividad térmica	W/mK	0.22	0.22	0.38
Coefficiente de dilatación lineal	mm/mK	0.13	0.18	0.19

Nota. Adaptado de Rodea & Oscar (2012).

El termoplástico más usado es el "polietileno reticulado" (PEX), ya que además de presentar las características antes mencionadas, y comparado con otros termoplásticos, como se muestra en la tabla 1, tiene mejor conductividad térmica, alta vida útil y una óptima presión de trabajo.

3.3.2 Aislante

Evita las pérdidas de calor por debajo del circuito de tuberías, logrando que la mayoría de calor sea transmitido al mortero, para luego ser transferido al ambiente del habitáculo, por ello la elección del material debe ser óptima; su uso permite que el sistema presente un mejor rendimiento.

En el mercado se puede encontrar planchas de cloruro de polietileno y polivinilo, todas ellas con tetones para poder fijar las tuberías, otra opción es usar planchas de poliestireno expandido de densidad no menor a $20 kg/m^3$ (figura 22). Se usa como mínimo dicha densidad, para que el aislante no se deforme con el peso del mortero, además es recomendable usar una lámina de polietileno para evitar los puentes térmicos. Este tipo de aislante se usará en el diseño del suelo radiante.

Figura 22. Poliestireno expandido de alta densidad

Nota. Adaptado de ArchiExpo (s.f).

3.3.3 Colector (manifold)

En la figura 23 se muestra un colector comercial, están compuestos por dos tuberías paralelas dispuestas horizontalmente, denominadas colector de emisión y colector de retorno respectivamente. De cada colector nacen boquillas verticales en las cuales se conecta las tuberías de ida y de retorno de cada circuito. Generalmente debe ir un colector por nivel, y por lo regular cada uno tiene circuitos asociados a las habitaciones de dicho nivel. En los colectores también van asociadas llaves de cortes, purgadores, caudalímetros, válvulas de llenado y purga; y termómetros.

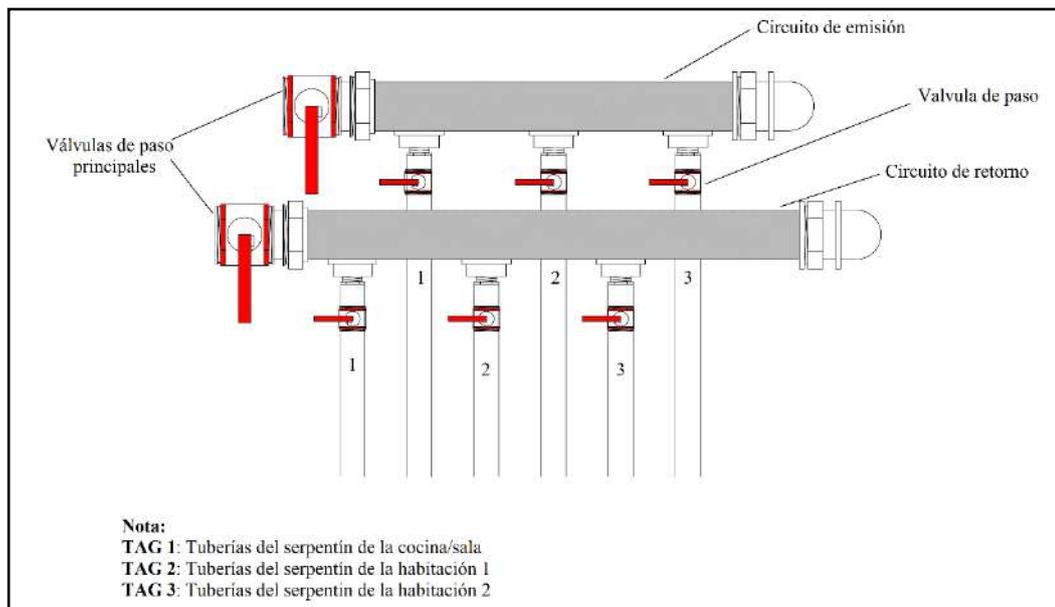
Figura 23. Colector de suelo radiante



Nota. Adaptado de Souza (2021).

En este estudio se plantea que el colector esté compuesto por válvulas de paso, las cuales se colocarán a la entrada del colector de emisión y del de retorno, también irán verticalmente en las tuberías que parten a cada circuito del suelo radiante, tal como se muestra en la figura 24.

Figura 24. Colector propuesto



3.3.4 Mortero

Cubre las tuberías del sistema del suelo radiante. Existen dos tipos de morteros:

- Tradicional: compuesto por arena, grava (tamaño de 0mm a 8mm), agua y cemento. Debido a que no tiene aditivos, presenta problemas de resquebrajamiento y encogimiento en la puesta en marcha del sistema de suelo radiante, ya que la temperatura del agua caliente disminuye la humedad de la mezcla anteriormente mencionada. Presenta conductividades térmicas de $0.5 \frac{W}{mK}$ (Cotrina, 2019).
- Autonivelante: Compuesto por cemento- anhidridita, o resinas poliméricas como conglomerante. Este último permite aumentar la conductividad térmica de la mezcla y así mismo se obtiene mayor masa líquida con menor porcentaje de agua, evitando la formación de resquebrajamiento y encogimiento en el mortero. Además, con dicha opción se puede usar cualquier tipo de recubrimiento. Presenta conductividades térmicas a partir desde $1.2 \frac{W}{m.^{\circ}C}$ (Eurotherm, 2017).

Según la norma DIN-18560 todo mortero debe presentar un espesor de 45 mm como mínimo.

Asimismo, la norma UNE-EN-13454, indica que la resistencia a la compresión del mortero debe ser mayor a $20 \frac{N}{mm^2}$.

Figura 25. Vaciado de mortero



Nota. Adaptado de Leterlite (s.f.).

3.3.5 Recubrimiento del suelo

Se instala después del mortero, y se usa para que el suelo radiante quede con un buen terminado, ver figura 26. Se pueden usar distintos materiales, de preferencia que tengan un alto coeficiente de conducción de calor, el material más usado es la baldosa.

Figura 26. Recubrimiento del suelo tipo baldosa



Nota. Adaptado de Instalaciones y eficiencia energética (2021).



Capítulo 4

Zona de estudio

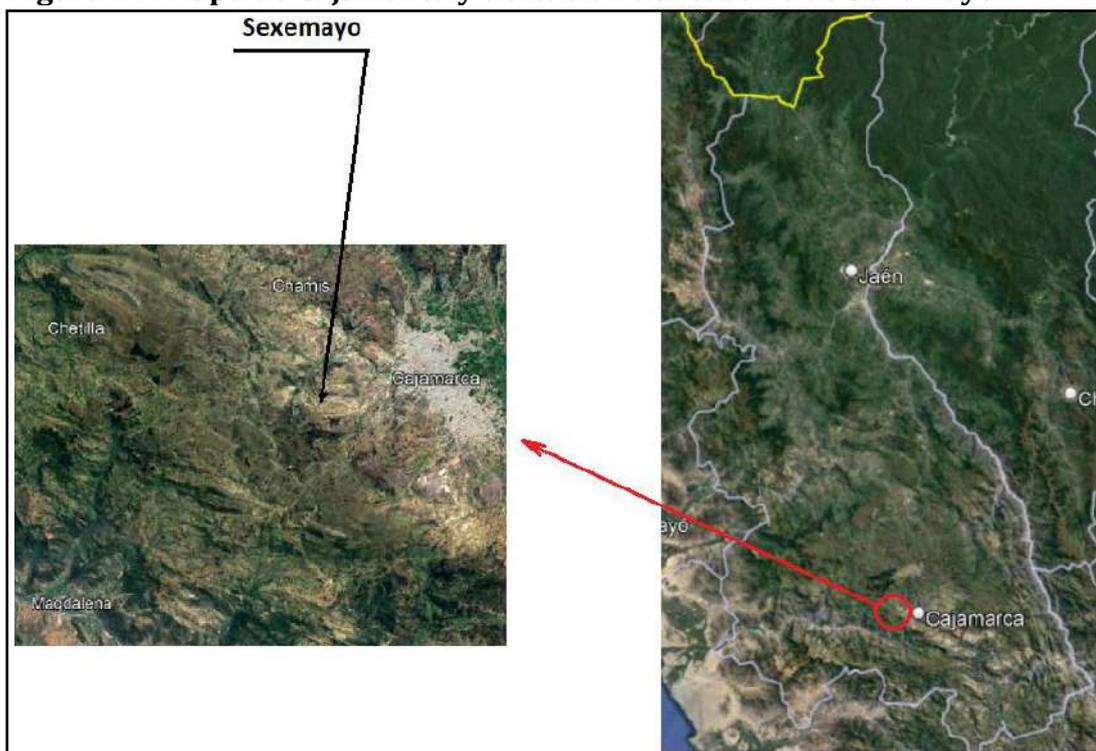
4.1 Ubicación geográfica

La localidad a estudiar es el Caserío de Sexemayo Lote 1; se encuentra ubicado en el Centro Poblado “El Cumbe”, en la provincia de Cajamarca, en la región Cajamarca. La provincia de Cajamarca cuenta con una extensión de 2980 km^2 , dentro de dicho territorio se encuentran 56 centros poblados, según el informe del INEI en el 2017. Siendo El Cumbe uno de ellos, conformado por los Caseríos de Sexemayo Lote 1, Victoria Capellanía, Urubamba Sector IV, Huayllapampa Alta, Huayllapampa Baja, El Millipo, El Cumbe, Urubamba III y San Vicente Alto

Sexemayo colinda por el Oeste de la provincia de Cajamarca, y el Este del distrito de Magdalena, como se muestra en la figura 27.

Pertenece al piso altitudinal quechua, y está ubicado a 3410 m.s.n.m.

Figura 27. Mapa de Cajamarca y ubicación del Caserío de Sexemayo



Nota. Adaptado de Google Earth (2022).

4.2 Datos climáticos

Sexemayo, posee condiciones climáticas desfavorables, ya que en los meses de invierno se presenta el fenómeno natural de las heladas, propiciando que las temperaturas disminuyan considerablemente, especialmente durante la madrugada (desde las 10 p.m. hasta las 6 a.m.) (Senamhi, 2021)..

4.2.1 Temperatura

Las temperaturas se han tomado de la estación meteorológica Augusto Weberbauer, la cual se encuentra ubicada en la Universidad Nacional de Cajamarca, y es parte del SENAMHI.

Su ubicación se encuentra en las coordenadas:

- Latitud sur: 7°10'2.98''
- Longitud oeste: 78°29'35.14''

Se ha tomado las temperaturas registradas durante el año 2019 de dicha estación, como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 2. Temperaturas en la ciudad de Cajamarca

Mes	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Enero	21.5	9.3
Febrero	21.2	9.7
Marzo	21.2	9.6
Abril	21.5	9.0
Mayo	21.9	7.0
Junio	21.9	5.6
Julio	21.7	4.9
Agosto	22.1	5.6
Setiembre	22.2	7.1
Octubre	22.0	8.2
Noviembre	22.1	8.0
Diciembre	21.9	8.9

Nota. Adaptado de Senamhi (2020).

En la tabla 2, se observa que la temperatura más baja es en julio, cuyo valor es de 4.9°C.

4.2.2 Radiación

Para cuantificar la radiación solar se debe tener en cuenta:

- Irradiancia: Magnitud que permite medir la potencia de la radiación solar sobre una determinada área.

- Irradiación: Está directamente ligada a la irradiancia, ya que es el flujo de radiación o energía proveniente del sol por unidad de tiempo, que absorbe todo punto que se encuentra encima de la atmósfera terrestre (Planas, 2019).

Mediante la plataforma RetScreen (ver figura 28), los datos de la estación meteorológica y la ubicación de la instalación, se obtuvo los datos exactos de la irradiación de Sexemayo, la cual tiene un promedio de $5.66 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$.

Figura 28. Radiación solar de la estación meteorológica Augusto Weberbauer

		Unidad	Ubicación de datos meteorológicos	Ubicación de la instalación	Fuente
Latitud			-7.2	-7.2	
Longitud			-78.5	-78.6	
Zona climática			6B - Frío - Seca		Definido por el usuario
Elevación	m	2357		2774	NASA - Mapa
Temperatura de diseño de la calefacción	°C	11.8			NASA
Temperatura de diseño del aire acondicionado	°C	24.3			NASA
Amplitud de la temperatura del suelo	°C	15.2			NASA

Mes	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m ² /d	Presión atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura del suelo °C	Grados-días de calefacción 18 °C °C-d	Grados-días de refrigeración 10 °C °C-d
Enero	15.9	68.9%	53.32	5.54	77.1	2.1	18.3	65	183
Febrero	15.9	71.7%	57.96	5.30	77.1	2.0	18.2	59	165
Marzo	16.1	71.6%	67.58	5.62	77.1	1.9	18.1	59	189
Abril	16.3	69.8%	54.90	5.40	77.1	1.7	18.0	51	189
Mayo	16.4	64.2%	18.29	5.28	77.1	1.8	18.0	50	198
Junio	16.0	58.5%	6.30	5.16	77.1	2.2	17.8	60	180
Julio	15.9	54.5%	3.72	5.33	77.1	2.5	18.0	65	183
Agosto	16.7	51.8%	4.65	5.72	77.1	2.4	19.3	40	208
Setiembre	17.3	53.9%	16.20	6.04	77.1	2.1	20.4	21	219
Octubre	16.6	59.5%	40.61	6.18	77.1	2.0	19.5	43	205
Noviembre	16.0	61.4%	41.40	6.35	77.0	2.1	18.5	60	180
Diciembre	16.0	65.2%	42.16	6.00	77.0	2.1	18.4	62	186
Anual	16.3	62.5%	407.09	5.66	77.1	2.1	18.5	635	2,285
Fuente	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Medido a					m	10	0		

Nota. Adaptado de RetScreen (2022).

4.3 Características de la población de la zona

4.3.1 Población

Sexemayo presenta una población de 108 habitantes, de los cuales 51 son de sexo masculino y 57 de sexo femenino (INEI, 2017).

4.3.2 Viviendas

Este Caserío presenta 18 casas unifamiliares las cuales en su mayoría son hechas de tapial y adobe (ver apéndice A).

4.3.2.1 Adobe. Compuesto principalmente por tierra mezclada con agua y paja, esta mezcla se vierte en moldes rectangulares para que seque con el calor solar. Para unir los bloques de adobe se usa cemento, yeso o bosta.

Presenta la principal ventaja de ser económico, además tiene baja conductividad térmica, permitiendo que los pobladores no perciban cambios bruscos de temperatura.

El inconveniente de este material se debe a que cada bloque es de tamaño moderado, ocupando una mayor área en la construcción; además es higrófilo, es decir absorbe humedad atmosférica, dando lugar a una disminución de resistencia a la compresión.

4.3.2.2 Tapial. Gracias al tapial, la construcción de casas en zonas de bajo recursos se hace muy fácil, ya que principalmente está compuesto por tierra arcillosa y piedras. Para la construcción de los muros se encofra utilizando dos maderas colocadas de forma paralela, las cuales sirven como moldes de la pared.

Una pared de tapial está constituida por una capa de tierra a una altura de 80 cm, y una capa de piedras, y así sucesivamente hasta alcanzar la altura de la pared deseada, ver figura 29.

Las principales ventajas que presenta son muy parecidas al adobe, ya que es económico y de fácil adquisición; además tiene una baja conductividad térmica.

La desventaja principal es que presenta espesores mayores al adobe, siendo este 50 cm.

Figura 29. Casa de tapial



4.3.3 Economía

Más de un 75% de los jefes de familia trabajan independientemente, y un 25% son obreros o moto taxistas en la ciudad de Cajamarca. Adicional a ello, con el apoyo familiar realizan actividades de agricultura y ganadería.

En el sector de la agricultura, las principales siembras son menestras como la lenteja, cereales como el trigo, avena, y tubérculos como las papas.

En el sector de la ganadería, los principales animales criados son: toros, cuyes y carneros.

4.3.4 Educación

Existe la escuela 82972, la cual alberga 36 estudiantes. Presenta niveles de pronoei (inicial) y primaria. La enseñanza es multigrado, es decir existe un mismo profesor para distintos grados.

4.3.5 Descripción de las viviendas de la zona

Típicamente las viviendas de las zonas rurales de Cajamarca están hechas con muros de tapial y techos de teja de arcilla o calamina. La distribución comprende de dos habitaciones, una para los padres y la otra para sus hijos, además tienen un cuarto grande que usan como sala, comedor y cocina.

En el diseño del suelo radiante, se va a tomar en cuenta la casa del Sr. Martin Ramos, un padre de familia del Caserío de Sexemayo. Esta casa es del tipo unifamiliar y presenta lo anteriormente descrito.

Su ubicación se encuentra en las coordenadas:

- Latitud sur: $7^{\circ}10'2.98''$
- Longitud oeste: $78^{\circ}29'35.14''$

En la figura 30, se puede observar la vista satelital de Google Maps de la casa estudiada (señalada en un círculo), y en la imagen 31 se muestra una fotografía de la casa del Sr. Ramos.

Figura 30. Vista satelital de la vivienda estudiada



Nota. Adaptado de Google Maps (2022)

Figura 31. Casa del Sr. Ramos y familia



Capítulo 5

Cargas térmicas

5.1 Cargas térmicas

Es la cantidad de energía necesaria que se debe añadir a un ambiente, para poder contrarrestar las pérdidas de calor por la variación de temperatura entre el exterior e interior del espacio (S&P, 2020).

Para climatizar la casa, objeto de este trabajo, se debe hallar la cantidad de energía requerida para lograr la temperatura de confort. Existen cargas térmicas (pérdidas de calor del recinto) por transmisión, ventilación e infiltración.

5.1.1 Carga térmica por transmisión

El cálculo de la carga térmica por transmisión, se realiza según la norma peruana EM.110 (2014); aplicada en ampliación, remodelación, refracción y acondicionamiento de edificaciones. También, establece los lineamientos de diseño para el confort térmico en cada zona bioclimática del Perú.

- **Cálculo del coeficiente de transmisión de calor**

En la tabla 3, se debe definir el tipo de zona bioclimática donde se encuentra el lugar de estudio (Sexemayo).

Tabla 3. Definición climática de la zona estudiada

Zona bioclimática	Definición climática	Altitud (m.s.n.m)
1	Desértico costero	0-2000
2	Desértico	400-2000
3	Interandino bajo	2000-3000
4	Mesoandino	3000-4000
5	Altoandino	4000-4800
6	Nevado	>4800
7	Ceja de montaña	1000-3000
8	Subtropical húmedo	400-2000
9	Tropical húmedo	80-1000

Nota. Adaptado de El Peruano (2014)

Como se mencionó en el Capítulo 4, la zona de estudio está ubicada a 3410 m.s.n.m., por lo tanto, según la figura anterior, extraída de la norma EM.110 (2014); la zona pertenece a la cuarta determinación, cuya definición bioclimática es del tipo mesoandino.

En la tabla 4 se encuentra las transmitancias térmicas máximas del muro, techo y piso.

Tabla 4. Transmitancias térmicas por zona bioclimática

Zona bioclimática	Transmitancia térmica del muro ($U_{\max muro}$) $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$	Transmitancia térmica del techo ($U_{\max techo}$) $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$	Transmitancia térmica del piso ($U_{\max piso}$) $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$
1	2.36	2.21	2.63
2	3.2	2.2	2.63
3	2.36	2.21	2.63
4	2.36	2.21	2.63
5	1	0.83	2.63
6	0.99	0.8	2.63
7	2.36	2.2	2.63
8	3.6	2.2	2.63
9	3.6	2.2	2.63

Nota. Adaptado de El Peruano (2014).

Los valores de cada transmitancia térmica de los elementos constructivos de la vivienda estudiada, son:

$$U_{\max muro} \text{ es } 2.36 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}, U_{\max techo} \text{ es } 2.21 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ y } U_{\max piso} \text{ es } 2.63 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Estos valores representan el límite máximo permitido para el cálculo de las transmitancias térmicas de cada elemento constructivo.

La transmitancia térmica del piso, muros y techo, se calcula según la fórmula que se encuentra en la norma EM.110 (2014).

$$U = \frac{1}{Rse + Rsi + \frac{e}{k}} \quad (1)$$

Donde:

$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$: Transmitancia térmica

$Rse \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]$: Resistencia superficial externa (depende de cada elemento constructivo)

$Rsi \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]$: Resistencia superficial interna (depende de cada elemento constructivo)

e [m]: Espesor

k $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$: Conductividad térmica

Piso

Está compuesto por una capa de tierra de 20.00 cm, se usa para anivelar la superficie del piso. El valor de la conductividad térmica se consideró de la lista de características higrométricas de los materiales de construcción, según el anexo 3 de la norma EM 110 (2014), ver anexo A.

La resistencia superficial externa e interna se obtienen según el anexo 2 de la norma EM.110 (2014), ver anexo B.

Donde:

$$R_{se} \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]: 0.09$$

$$R_{si} \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]: 0.09$$

$$e \quad [m]: 0.20$$

$$k \quad \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]: 0.52$$

De acuerdo a la ecuación (1), la transmitancia térmica en el piso es $1.78 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$.

▪ **Paredes**

Están formadas por tapial, presentan un espesor de 50.00 cm. El valor de la conductividad térmica se tomó del paper "Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha" (Cutiño et al., 2015).

La resistencia superficial externa e interna se obtienen según el anexo 2 de la norma EM.110 (2014), ver anexo B.

Donde:

$$R_{se} \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]: 0.11$$

$$R_{si} \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]: 0.06$$

$$e \quad [m]: 0.50$$

$$k \quad \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]: 0.60$$

De acuerdo a la ecuación (1), la transmitancia térmica en la pared es $0.99 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$.

▪ Techo

Está compuesto por tapial y tejas de arcilla. Estas últimas presentan un espesor de 4 cm, y el valor de la conductividad térmica se consideró de la lista de características higrométricas de los materiales de construcción, según el anexo 3 de la norma EM.110 (2014), ver anexo A.

La resistencia superficial externa e interna se obtienen según el anexo 2 de la norma EM.110 (2014), ver anexo B.

Donde:

- Teja

$$e \text{ [m]: } 0.04$$

$$k \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]: 1.00$$

- Tapial

$$e \text{ [m]: } 0.50$$

$$k \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]: 0.60$$

- Resistencias superficiales

$$R_{se} \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]: 0.05$$

$$R_{si} \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]: 0.09$$

- Resistencia de la cámara de aire

$$R_c \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]: 0.16$$

De acuerdo a la ecuación (1), la transmitancia térmica en el techo es $0.85 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

▪ Ventanas

La norma EM.110 (2014), indica que se debe tomar el valor de la transmitancia térmica del vidrio del anexo 3 de la lista de características higrométricas (ver anexo A) de los materiales de construcción. Además, según el tipo de material que se usa, para el caso de la carpintería, la transmitancia térmica de los marcos también cuenta con valores tabulados (figura 32).

Figura 32. Transmitancia térmica de marco de ventana

Material	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$
Metálico	
Sin rotura de puente térmico	5.7
Con rotura de puente térmico, entre 4 y 12 mm	4
Con rotura de puente térmico, mayor a 12 mm	3.2
Madera	
Madera de densidad media alta. Densidad: 700 kg/m ³	2.2
Madera de densidad media baja. Densidad: 500 kg/m ³	2
PVC	
PVC (dos cámaras)	2.2
PVC (tres cámaras)	1.8

Nota. Adaptado de El Peruano (2014).

- Madera:

La madera usada en la carpintería es de pino, está clasificada como una madera de densidad "medio alta". En la figura 32 se observa que su valor de transmitancia térmica es $2.20 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

- Vidrio:

El vidrio usado es del tipo crudo, con espesor de 6mm, cuya transmitancia térmica es $5.70 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

- Puerta exterior

Al igual que en la carpintería de los marcos de la ventana, para las puertas que están en contacto con el exterior, según el anexo 2 de la norma EM.110 (2014), las transmitancias térmicas también vienen tabuladas, ver figura 33.

Figura 33. Transmitancia térmica en puertas exteriores

Tipo de puerta	Transmitancia térmica $U \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$
Carpintería	
Hoja maciza de madera (cualquier espesor)	3.5
Hoja contraplacada de fibra MDF (espesor: 4cm)	4.7
Hoja de vidrio simple en <30% de la superficie de la hoja de madera maciza (cualquier espesor)	4
Hoja de vidrio simple en 30% a 60% de la superficie de la hoja de madera maciza (cualquier espesor)	4.5
Hoja de vidrio doble	3.3

Nota. Adaptado de El Peruano (2014).

De acuerdo a la figura 33, la transmitancia térmica es $3.50 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

▪ **Puerta interior**

Para el interior se debe hallar mediante la fórmula de transmitancia térmica. La madera usada es de pino, su valor se encuentra en la lista de características higrométricas de los materiales de construcción, según el anexo 3 de la norma EM.110 (2014), ver anexo A. Es clasificada como una madera de densidad "medio alta".

$$e \text{ [m]: } 0.05$$

$$k \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]: 0.18$$

De acuerdo a la ecuación (1), la transmitancia térmica en la puerta interior es $3.5 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

En la tabla 5 se compara los valores de la transmitancia térmica máxima y la calculada.

Tabla 5. Verificación de los componentes de cerramientos de transmisión térmica

Elemento constructivo	Transmitancia térmica calculada $U \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$	Transmitancia térmica máxima $U_{max} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$
Muros	0.99	2.36
Techo	0.85	2.21
Piso	1.78	2.63

Se aprecia que las transmitancias térmicas calculadas no superan las transmitancias térmicas máximas, por tanto, los cálculos y los materiales de la casa son los apropiados para dicho estudio.

La carga térmica por transmisión de cada componente, en el ambiente del hogar de estudio, se muestra en las siguientes tablas.

La carga térmica por transmisión se calcula según la siguiente expresión:

$$Q = U \cdot (T_{int} - T_{ext}) \cdot A = U \cdot \Delta T \cdot A \quad (2)$$

Donde:

Q [W]: Calor por transmisión

Qt [W]: Calor total por transmisión

A [m^2]: Área

T_{int} [$^\circ C$]: Temperatura interior

T_{ext} [$^\circ C$]: Temperatura exterior

ΔT [$^\circ C$]: Variación de temperatura ($(T_{int} - T_{ext})$)

$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$: Transmitancia térmica

En el capítulo 3 se mencionó que por el sistema de suelo radiante se logra climatizar la habitación entre temperaturas de 18°C y 22°C. En este caso, los cálculos se desarrollan para que la temperatura interior de la casa sea de 18°C. El valor fue elegido con el propósito que los usuarios no sientan un cambio de temperatura brusco al ingresar a sus hogares.

La temperatura exterior está representada por la temperatura mínima durante el año, que, según la tabla 2 (capítulo 4), tiene el valor de 4.9°C. Se asume esta temperatura, por ser la más crítica durante todo el año.

En las tablas 6 y 7 se encuentra la carga térmica (según la ecuación (2)) de la cocina/sala, habitación 1 y habitación 2, respectivamente.

Las medidas y ubicaciones de cada elemento de la vivienda se encuentran en el apéndice B.

Tabla 6. Carga térmica por transmisión en la cocina/sala

Ambiente	Elemento constructivo	Partes de los elementos	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$	Área $[m^2]$	ΔT $[^\circ C]$	Q $[W]$	Qt $[W]$
Cocina/Sala	Suelo	Cocina	1.78	22.50	13.10	524.70	1448.7
	Paredes	Pared 4	0.99	7.50	13.10	97.30	
		Pared 2	0.99	7.00	13.10	90.80	
		Pared 8	0.99	7.00	13.10	90.80	
		Pared 5	0.99	18.75	13.10	243.20	
		Pared 7	0.99	2.50	13.10	32.40	
		Pared 6	0.99	2.50	13.10	32.40	
	Puerta	Exterior	3.5	1.90	13.10	87.10	
Techo	Cocina	0.85	22.50	13.10	250.00		

La carga térmica total en la cocina/sala es de 1448.7 W

Tabla 7. Carga térmica por transmisión en la habitación 1/ habitación 2

Ambiente	Elemento constructivo	Partes de los elementos	U [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$]	Área [m^2]	ΔT [$^\circ C$]	Q [W]	Qt [W]
Habitación 1- Habitación 2	Suelo	Habitación 1	1.78	14.00	13.10	326.50	1073.5
	Paredes	Pared 1	0.99	12.50	13.10	162.10	
		Pared 2	0.99	7.00	13.10	90.80	
		Pared 3	0.99	10.00	13.10	129.70	
		Pared 8	0.99	7.00	13.10	90.80	
	Puerta	Interior	3.50	1.90	13.10	87.10	
	Ventana	Vidrio	5.70	0.30	13.10	24.50	
		Madera	2.20	0.20	13.10	6.10	
	Techo	Habitación 1	0.85	14.00	13.10	155.90	

Las medidas de la habitación 1 y 2, son idénticas, en cada una la carga térmica total es de 1073.5 W.

El valor total de la carga térmica por transmisión es de 3595.70 W.

5.1.2 Carga térmica por ventilación

La ventilación es la renovación del aire cada cierto tiempo, se hace para mantener en óptimas condiciones sanitarias el ambiente del hogar.

Según la norma DIN-EN-12831, viene determinado por:

$$Q_{\text{vent}} = 0.34 \cdot n \cdot V \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (3)$$

Donde:

n [r/h]: Número de renovaciones por hora, según norma UNE EN 12831, se debe tener como mínimo una renovación por hora (1r/h).

V [m^3]: Volumen de la habitación.

T_{int} [$^\circ C$]: Temperatura interior.

T_{ext} [$^\circ C$]: Temperatura exterior.

0.34: Constante (relaciona el calor específico y la densidad del aire medidos a nivel del mar).

Cada habitación tiene un volumen de 35 m^3 (área de 14 m^2 y alto de 2.5m), y la cocina/sala tiene un volumen de 56.25 m^3 (área de 22.5 m^2 y alto de 2.5m).

Debido a que la constante es medida a nivel del mar, se debe corregir, ya que la presión a nivel del mar es de 1atm y a 3410 m.s.n.m. es de 0.669atm , teniendo un valor de 0.227 a dicha altura.

Por lo que:

$$Q_{\text{vent}} = 0.227 \cdot n \cdot V \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (4)$$

Se aplica la ecuación (4) para hallar el calor por ventilación en cada ambiente de la casa, teniendo como resultado la siguiente:

- $Q_{\text{vent cocina/sala}}$: 167.00W
- $Q_{\text{vent habit1}}$: 104.00W
- $Q_{\text{vent habit2}}$: 104.00W
- Q_{total} : 375.00W

5.1.3 Carga térmica por infiltración

Vendrá dada por la infiltración en la puerta exterior y las ventanas exteriores.

$$Q_{\text{inft}} = V_{\text{inft}} \cdot \rho_a \cdot C_p \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (5)$$

Donde:

$V_{\text{inft}} [\text{m}^3]$: Volumen infiltrado

$\rho_a \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$: Densidad del aire

$C_p \left[\frac{\text{J}}{\text{kg.K}} \right]$: Calor específico del aire

$T_{\text{int}} [^\circ\text{C}]$: Temperatura interior

$T_{\text{ext}} [^\circ\text{C}]$: Temperatura exterior

El volumen infiltrado, se determina considerando lo estipulado en la norma peruana EM.110 (2014), donde indica que la permeabilidad de la zona climática D (mesoandino), debe ser menor a $20 \frac{\text{m}^3}{\text{h.m}^2}$; por lo tanto, se toma una permeabilidad de $19 \frac{\text{m}^3}{\text{h.m}^2}$.

Entonces el volumen infiltrado será:

$$V_{\text{inft}} = \frac{19}{3600} \cdot (A_{\text{ventana 1 o 2 o puerta}})$$

La carga térmica por infiltración, según la ecuación (5) modificada se expresa por:

$$Q_{inf t} = \frac{19}{3600} \cdot (A_{ventana\ 1\ o\ 2\ o\ puerta}) \cdot \rho_a \cdot C_p \cdot (T_{int} - T_{ext}) \quad (6)$$

Además:

$$\rho_a \quad \left[\frac{kg}{m^3}\right]: 1.20$$

$$C_p \quad \left[\frac{J}{kg.K}\right]: 1,000.00$$

$$A_{ventana\ 1\ o\ 2} [m^2]: 0.50$$

$$A_{puerta} [m^2]: 1.90$$

Reemplazando los valores antes mencionados, en la ecuación (6); la carga térmica por infiltración es:

$$Q_{inf\ventana\ 1}: 41.50\ W, Q_{inf\ventana\ 2}: 41.50\ W, Q_{infpuerta}: 157.64\ W$$

La carga térmica por infiltración será la suma de los tres resultados anteriores:

$$Q_{inf\total}: 240.40\ W$$

5.2 Cálculo de las cargas térmicas con el software Revit 2019

Revit, pertenece a la familia Autodesk; es un software BIM (modelado de información de construcción), que contiene herramientas para los campos profesionales de arquitectura, ingeniería y construcción, los cuales pueden integrarse entre sí, dentro del programa, es decir si hay un cambio en la parte de arquitectura, también se dará en ingeniería y construcción.

Dentro del área de arquitectura, el software Revit, contiene la sección de cálculo de cargas térmicas para calefacción y/o refrigeración, para ello antes se debe hacer el diseño de la construcción.

En este caso se diseñó la casa de tapial, de acuerdo a la geometría del hogar del Sr. Ramos. Luego en el área de arquitectura se debe establecer el nombre y el análisis energético de cada espacio, en este caso son dos dormitorios y una cocina. Una vez que se ha realizado el paso anterior de manera correcta, se hace el cálculo de las cargas térmicas de calefacción.

Revit permite ubicar las coordenadas del sitio estudiado, y se rige de acuerdo al servicio de información geográfica vía internet, más cercano, o caso contrario el usuario puede colocar la información manualmente. En este estudio se colocó la información manualmente de la estación meteorológica Augusto Weberbauer, ya que el radar que encontraba Revit, estaba muy lejos del punto de estudio.

Para el análisis se considera las condiciones interiores y exteriores del diseño, presencia de infiltración y/o ventilación, falta de luz solar (días nublados), y no se considera la presencia de personas, luces y accesorios.

Tabla 8. Resultados obtenidos para la casa estudiada

Componentes	Refrigeración		Calefacción	
	Cargas (W)	Porcentaje del total	Cargas (W)	Porcentaje del total
Muro	0		1,487	51.68%
Ventana	0		65	2.26%
Puerta	0		251	8.72%
Cubierta	0		553	19.21%
Claraboya	0		0	0.00%
Partición	0		0	0.00%
Infiltración	0		167	5.81%
Ventilación	-		355	12.32%
Iluminación	0			
Potencia	0			
Personas	0			
Plénium	-			
Calor del ventilador	-			
Recalentamiento	-			
Total	-		2,877	100%

En la tabla 8 se observa que el total de pérdida de calor es 2877 W; el componente con mayores pérdidas de calor son los muros de la vivienda, y la mínima pérdida se da en las ventanas; esto se debe al área ocupada por cada uno, ver informe completo en el apéndice C.

5.3 Comparación de las cargas térmicas

El total de cargas térmicas es la suma de la carga térmica por transmisión (3595.7 W), ventilación (375.00 W) e infiltración (240.40 W), cuyo valor total es de 4211.1 W. Sin embargo, como se aprecia en la tabla 8, el software Revit 2019, en el procedimiento de cálculo de las cargas térmicas, no toma en cuenta las cargas por transmisión en el suelo, por ello, en la tabla 9 para comparar los cálculos manuales y de Revit, no se toma en cuenta dicho componente.

Tabla 9. Comparación de cargas térmicas (sin suelo)

	Cargas [W]	
	Cálculo manual	Revit 2019
Muro	1,527.20	1,487.00
Ventana	61.20	65.00
Puerta	261.30	251.00
Techo	561.80	553.00
Infiltración	240.40	236.00
Ventilación	375.00	375.00
Total	3,036.9	2,877.00

Se puede observar que el total de cargas térmicas sin considerar el suelo, manualmente es 3026.9 W, y con el software Revit es 2877 W.

Se tiene un error de 5.2 %, el cual está en un rango aceptable, lo que quiere decir que los cálculos manuales pueden validarse con los cálculos realizados por el software.

Cabe resaltar que los cálculos manuales son más conservadores que los cálculos hechos por Revit 2019.



Capítulo 6

Metodología y diseño del sistema de suelo radiante

6.1 Metodología de cálculo

Para el desarrollo del diseño del suelo radiante, se tomará como referencia la norma española UNE-EN-1264 (la cual fue considerada en el trabajo de tesis “Evaluación de un sistema de calefacción por suelo radiante” desarrollado por Hinojosa Mateo Antonio (2015)). La norma está compuesta por 5 partes, de las cuales se usará la parte 2 y 3: UNE-EN-1264-2 y UNE-EN-1264-3, respectivamente.

La norma UNE-EN-1264-2, cuyo nombre es métodos para determinación de suelo radiante, se aplica en sistemas de suelo radiante que funcionan por agua caliente; con esta se puede hallar la potencia térmica emitida por el sistema.

La norma UNE-EN-1264-3, permite el dimensionamiento, mediante las curvas características y límites de la norma UNE-EN-1264-2.

Además, para que el sistema tenga un óptimo funcionamiento, se determinará la adecuada separación y longitud de las tuberías de polietileno reticulado, espesor del mortero, factor de corrección del piso y temperatura media de este.

Por último, se va a comprobar la emisión de calor usando términos de transferencia de calor.

6.1.1 Emisión térmica

Con una buena emisión térmica se logra una adecuada homogeneidad de temperatura en el suelo radiante. Está determinada por el tipo de arreglo de las tuberías del suelo radiante y, también, por variables como la carga térmica, temperatura del agua y temperatura del interior del recinto.

Según la norma UNE EN 1264, la temperatura máxima permisible para el pavimento es de 29°C, por lo que no se debe exceder de dicha medida; además, este valor se considera en el diseño.

$$q_{max} = 8.92 * (T_{med} - T_{int})^{1.1} \quad (7)$$

Donde:

q_{max} [$\frac{W}{m^2}$]: Emisión térmica del suelo

T_{med} [$^{\circ}C$]: Temperatura media del suelo en zona ocupada

T_{int} [$^{\circ}C$]: Temperatura interior de la habitación (18 $^{\circ}C$)

6.1.2 Pérdidas descendentes

A fin de tener un buen rendimiento, el sistema de suelo radiante, se debe identificar las resistencias ascendentes y descendentes, y con estos valores se puede hallar la pérdida descendente, esta debe ser lo menor posible.

Para ello es necesario conocer las resistencias térmicas. Según la norma UNE EN 1264-3, se tiene:

- **Resistencia ascendente**

$$R_A = \frac{1}{\alpha} + \frac{S_u}{\lambda_u} + R_R \quad (8)$$

Donde:

R_A [$\frac{m^2 \cdot ^{\circ}C}{W}$]: Resistencia ascendente

$\frac{1}{\alpha}$ [$\frac{m^2 \cdot ^{\circ}C}{W}$]: Resistencia convectiva

R_R [$\frac{m^2 \cdot ^{\circ}C}{W}$]: Resistencia térmica del recubrimiento (baldosa)

$\frac{S_u}{\lambda_u}$ [$\frac{m^2 \cdot ^{\circ}C}{W}$]: Resistencia térmica del pavimento por encima del tubo (tubo)

- **Resistencia descendente**

$$R_D = R_{\lambda,ins} + R_{\lambda,techo} \quad (9)$$

Donde:

R_{ais} [$\frac{m^2 \cdot ^{\circ}C}{W}$]: Resistencia térmica del aislamiento térmico

R_T [$\frac{m^2 \cdot ^{\circ}C}{W}$]: Resistencia térmica del material por debajo del aislante

- **Pérdidas térmicas descendentes:**

Las pérdidas descendentes deben ser las mínimas posibles, de acuerdo a la norma UNE-EN-1264-3, viene determinado por:

$$q_d = \frac{1}{R_D} (R_A q + T_{int} - T_T) \quad (10)$$

Donde:

q_d $\left[\frac{W}{m^2}\right]$: Emisión térmica descendente del sistema de suelo radiante

R_D $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]$: Resistencia a la transmisión térmica descendente del sistema del suelo radiante

R_A $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]$: Resistencia a la transmisión térmica ascendente del sistema del suelo radiante

T_{int} $[^\circ C]$: Temperatura media del ambiente interior

T_T $[^\circ C]$: Temperatura media del terreno bajo el suelo radiante

6.1.3 Potencia térmica del suelo radiante

Totaliza la suma de las pérdidas térmicas descendentes y el calor máximo en el recinto.

$$Q_{Tt} = Q_d + q_{max} A \quad (11)$$

Donde:

Q_{Tt} $[W]$: Potencia térmica total

Q_d $[W]$: Perdidas térmicas descendentes

q_{max} $\left[\frac{W}{m^2}\right]$: Flujo máximo de calor

A $[m^2]$: Área del habitáculo

6.2 Diseño del suelo radiante

6.2.1 Emisión térmica

Se debe hallar primero el flujo de calor que existe en el lugar estudiado, luego se encuentra la temperatura media del suelo y el flujo de calor máximo.

Flujo de calor en el habitáculo estudiado:

$$q = \frac{CT}{A} \quad (12)$$

Donde:

q $\left[\frac{W}{m^2}\right]$: Flujo de calor

CT $[W]$: Carga térmica, hallada en el capítulo 5

A [m^2]: Área del habitáculo

Además:

CT [W]: 4211

A [m^2]: 50.5

De acuerdo a la ecuación (12), el flujo de calor (q) es $83 \left[\frac{W}{m^2} \right]$.

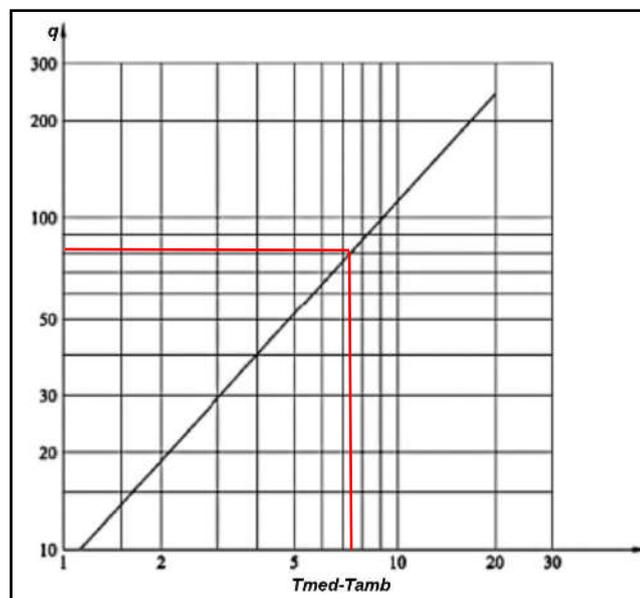
6.2.2 Temperatura media de la superficie del suelo

Se debe hacer uso de la curva característica de la norma UNE-EN-1264-2, figura 34.

En eje "y" se encuentra el valor de la emisión térmica y el eje "x" es la diferencia entre la temperatura media y ambiente.

Con esta curva se encuentra el valor de la diferencia entre la temperatura media y ambiente.

Figura 34. Curva característica de la norma UNE 1264



Nota. Adaptado de AENOR (1998).

Donde:

$$T_{med} - T_{int} = 7.60$$

$$T_{med} = 7.60 + 18 = 25.6^{\circ}C$$

Con el dato anterior, se puede hallar la emisión térmica, mediante la ecuación (7).

$$q_{max} \left[\frac{W}{m^2} \right]: 83.00$$

6.2.3 Pérdidas descendentes

- **Resistencia ascendente:**

Las resistencias ascendentes serán las del mortero, baldosa y tubería pex, tal como se muestra en la tabla 10.

La resistencia descendente es la inversa de la ecuación (1).

Tabla 10. Resistencias ascendentes

Materiales	e [m]	k [$\frac{W}{m^{\circ}C}$]	R [$\frac{m^2^{\circ}C}{W}$]
Mortero ³	0.045	1.700	0.027
Tubería PEX ⁴	0.0018	0.350	0.005
Baldosa ⁵	0.01	1.000	0.010
$\frac{1}{\alpha}$			0.093
Total (R_A)			0.134

El total de las resistencias ascendentes (R_A), es $0.13 \left[\frac{m^2^{\circ}C}{W} \right]$.

- **Resistencia descendente**

Compuesta por la tubería PEX, poliestireno, polietileno y el terreno. En la tabla 11 se muestran los espesores, conductividad térmica y resistencia térmica de estos materiales.

Tabla 11. Resistencias descendentes

Materiales	e [m]	k [$\frac{W}{m^{\circ}C}$]	R [$\frac{m^2^{\circ}C}{W}$]
Tubería PEX	0.0018	0.350	0.005
Poliestireno ⁵	0.050	0.033	1.515
Polietileno ⁵	0.0001	0.330	0.0003
Tierra ⁵	0.200	0.520	0.385
Total (R_D)			1.91

De la tabla 11 se obtiene el total de las resistencias descendentes (R_D), cuyo valor es $1.91 \left[\frac{m^2^{\circ}C}{W} \right]$.

³ Nota. Adaptado de Weber (2017).

⁴ Nota. Adaptado de Uponor (2020).

⁵ Nota. Adaptado de El Peruano (2014).

6.2.4 Pérdidas térmicas descendentes

Al reemplazar en la ecuación (10) los valores de las resistencias anteriormente calculadas, se obtiene que el valor del flujo de pérdidas térmicas descendentes será:

$$q_d \left[\frac{W}{m^2} \right]: 11.20$$

La potencia de pérdidas térmicas descendentes en toda la superficie, viene determinada por el flujo de pérdidas térmicas descendentes y el área del habitáculo estudiado.

$$Q_d = 565.60W$$

6.2.5 Potencia térmica del suelo radiante

Los valores obtenidos en los puntos anteriores se reemplazarán en la ecuación (11).

Donde:

$$Q_{Tt} [W]: 4,757.00$$

$$q_{Tt} \left[\frac{W}{m^2} \right]: 94.20$$

6.2.6 Análisis de transferencia de calor

6.2.6.1 Conducción. Es un tipo de transmisión de calor que ocurre en elementos sólidos y fluidos. En los sólidos la energía térmica se transfiere de las regiones más calientes a las más frías, debido a la diferencia de temperatura, por medio de las vibraciones de las moléculas adyacentes (Cengel & Ghajar, 2011).

En el suelo radiante la conducción se da entre el agua caliente con la tubería PEX, la tubería PEX con el aislante, la tubería PEX con el mortero y el mortero con el recubrimiento del suelo.

La ecuación de transferencia de calor por conducción es llamada Ley de Fourier, para modelar el flujo de calor por conducción que ocurre a través de una pared plana y un cilindro, la esta ley es la siguiente:

$$\dot{Q}_{conducción_paredplana} = k * A * \left(\frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \right) \quad (13)$$

$$\dot{Q}_{conducción_cilindro} = k * 2\pi * L * \left[\frac{T_1 - T_2}{\ln \left(\frac{d_2}{d_1} \right)} \right] \quad (14)$$

Donde:

$k \left[\frac{W}{m.K} \right]$: Coeficiente de conductividad

$A [m^2]$: Área transversal

$T_1 [^{\circ}C]$: Temperatura de la parte caliente

$T_2 [^{\circ}C]$: Temperatura de la parte fría

$L [m]$: Longitud del cilindro

$\Delta x [m]$: Espesor de la pared

$d_2 [m]$: Diámetro exterior

$d_1 [m]$: Diámetro interior

6.2.6.2 Convección. Mecanismo de transferencia de calor a través de un fluido en movimiento. La convección puede ser natural o forzada, cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos, se denomina convección forzada y convección natural si el flujo se mueve por un gradiente de densidad (Cengel & Ghajar, 2011)

La ecuación de transferencia de calor por convección es llamada Ley de Enfriamiento de Newton.

$$\dot{Q}_{cv} = h_{cv} * A * (T_1 - T_2) \quad (15)$$

Donde:

$h_{cv} \left[\frac{W}{m.K} \right]$: Coeficiente de convección

$A [m^2]$: Área transversal

$T_1 [^{\circ}C]$: Temperatura de la parte caliente

$T_2 [^{\circ}C]$: Temperatura de la parte fría

A diferencia del coeficiente de conductividad, el cual es una constante que depende directamente del material que se usa; el coeficiente de convección (h_{cv}) se debe hallar analíticamente. Este coeficiente depende del tipo y velocidad del flujo.

Debido a que el fluido es agua que circula por tuberías, el coeficiente convectivo se halla con la ecuación de Nusselt.

$$Nu = \frac{h_c \cdot d_{int}}{K} \quad (16)$$

Donde:

$h_c [\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}]$: Coeficiente de convección

Nu : Número de Nusselt

$K [\frac{W}{m \cdot K}]$: Conductividad térmica del agua

$d_{int} [m]$: Diámetro interno de la tubería

El número de Nusselt para tuberías viene determinado por el número de Prandtl y el número de Reynolds:

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.3} \quad (17)$$

Donde:

Nu : Nusselt

Re : Reynolds

Pr : Prandtl

El número de Prandtl viene determinado por:

$$Pr = \frac{\mu C_p}{K} \quad (18)$$

Donde:

Pr : Prandtl

$\mu [\frac{kg}{m \cdot s}]$: Viscosidad dinámica

$C_p [\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}]$: Calor específico

$K [\frac{W}{m \cdot K}]$: Conductividad térmica del agua

El número de Reynolds viene determinado por:

$$Re = \frac{\rho V d_{int}}{\mu} \quad (19)$$

Donde:

Re : Reynolds

$\mu [\frac{kg}{m \cdot s}]$: Viscosidad dinámica del agua a temperatura media (40°C)

ρ [$\frac{kg}{m^3}$]: Densidad del agua a temperatura media (40°C)

V [$\frac{m}{s}$]: Velocidad

d_{int} [m]: diámetro interno

Si Reynolds < 2000, el régimen es laminar; si Reynolds > 2500, es turbulento; y si está entre 2000 y 2500, será transitorio.

6.2.6.3 Radiación. Es la propagación de energía calorífica a través de ondas electromagnéticas, también conocida como radiación térmica. Un cuerpo con temperatura superior al cero absoluto (0° K), puede transferir calor por radiación (Connor, 2019).

La radiación, no necesita contacto directo con la fuente de calor.

La transferencia de calor por este mecanismo se halla por la Ley de Stefan-Boltzmann:

$$\dot{Q}_{radiación} = A \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (20)$$

Donde:

σ [$\frac{W}{m^2 \cdot K^4}$]: Constante de Stefan

ε [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$]: Emisividad

▪ **Resistencia térmica**

Es una medida de la oposición al paso del flujo de calor. Similar a los fenómenos eléctricos, los mecanismos de transferencia de calor formulan una resistencia térmica que permite calcular con mayor facilidad el flujo de calor de un sistema que está inmerso en varios mecanismos de transferencia de calor (Lobontiu, 2010).

Resistencia térmica por conducción:

Las ecuaciones 13 y 14 se pueden expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{conducción} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{conducción}} \quad (21)$$

siendo:

$$R_{conducción} = \frac{\Delta x}{k \cdot A} \quad (22)$$

Resistencia térmica por convección:

La ecuación (15) se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{convección} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{convección}} \quad (23)$$

siendo:

$$R_{convección} = \frac{1}{h_C \cdot A} \quad (24)$$

Resistencia térmica por radiación:

La ecuación (20) se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{radiación} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{radiación}} \quad (25)$$

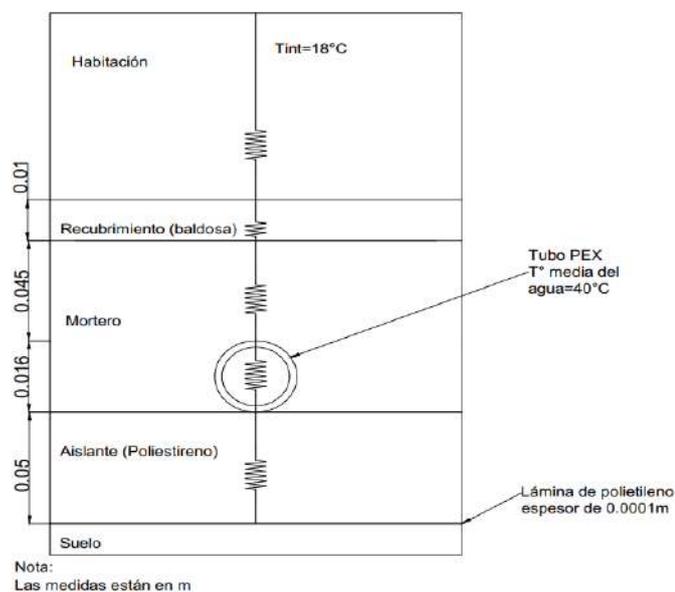
siendo:

$$R_{radiación} = \frac{1}{\sigma \varepsilon (T_{med} + T_{int})(T_{med}^2 + T_{int}^2) \cdot A} \quad (26)$$

▪ Análisis

El suelo radiante del hogar y las habitaciones de la casa estudiada, se modelarán mediante resistencias térmicas. En la figura 35 se observa la resistencia térmica del aislante, mortero, recubrimiento y de la habitación.

Figura 35. Resistencias térmicas



Para hallar el coeficiente de convección, se debe encontrar el número de Reynolds, Prandtl y Nusselt.

Para hallar el número de Reynolds, se usa la ecuación (19).

Los datos serán los siguientes:

$$\mu \left[\frac{kg}{m.s} \right]: 0.000653$$

$$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]: 992.21$$

$$V \left[\frac{m}{s} \right]: 0.46 \text{ (hallada en el punto 6.2.9)}$$

$$d_{int} [m]: 0.0124$$

Donde:

$$Re: 8,667.00$$

El número de Reynolds pertenece al régimen turbulento.

Para hallar el número de Prandtl, se usa la ecuación (18).

Los datos serán los siguientes:

$$\mu \left[\frac{kg}{m.s} \right]: 0.000653$$

$$Cp \left[\frac{J}{kg.^{\circ}C} \right]: 4,186.00$$

$$K \left[\frac{W}{K.m} \right]: 0.63$$

Donde Prandtl (Pr) es 4.31

Para hallar el número de Nusselt se usa la ecuación (17).

Los datos serán los siguientes:

$$Re: 33,185.00$$

$$Pr: 4.31$$

Donde Nusselt (Nu) es 50.4

El coeficiente convectivo se halla mediante la ecuación (16):

$$Nu: 50.4$$

$$K \left[\frac{W}{K.m} \right]: 0.63$$

$$d_{int} [m]: 0.026$$

Donde el coeficiente de convección (h_c) es $2.5 \left[\frac{kW}{m^2.^{\circ}C} \right]$

El análisis de transferencia de calor vendrá determinado por la suma del calor que se pierde debajo de la tubería de PEX y el calor emitido hacia el ambiente.

El calor descendente vendrá determinado por:

$$Q_D = \frac{T_{ma} - T_{suelo}}{R_{total1}} \quad (27)$$

Donde:

T_{ma} [°C]: Temperatura media del agua (40°C)

T_{suelo} [°C]: Temperatura del suelo (obtenido del programa RetScreen, ver figura 28)

Siendo:

$$R_{total1} = R_{aislante} + R_{tubería} \quad (28)$$

El calor ascendente se vendrá determinado por:

$$Q_A = \frac{T_{ma} - T_{habitación}}{R_{total2}} \quad (29)$$

Donde:

T_{ma} [°C]: Temperatura media del agua (40°C)

$T_{habitación}$ [°C]: Temperatura de la habitación

Siendo:

$$R_{total2} = R_{mortero} + R_{tubería} + R_{recubrimiento} + R_{radición} \quad (30)$$

La potencia térmica total será la suma del calor ascendente más el calor descendente:

$$Q_T = Q_D + Q_A \quad (31)$$

▪ Cálculo de resistencias

Los valores de la conductividad térmica y espesor serán los mismos de las tablas 10 y 11. El área será el área total de la casa estudiada (50.5 m²)

▪ Resistencias por conducción:

Aplicando la ecuación (22), el valor de las resistencias será:

$$R_{aislante} : 0.03$$

$$R_{Tubo} : 0.0006$$

$$R_{mortero} : 0.0006$$

$$R_{baldosa} : 0.000198$$

- Resistencia por convección:

Aplicando la ecuación (24), el valor de la resistencia (R_{tubo}) será $6.1 * 10^{-4}$

- Resistencia por radiación:

Aplicando la ecuación (26), el valor de la resistencia (R_{rad}) es 0.00418.

La resistencia total del calor descendente se hallará mediante la ecuación 28.

$$R_{total1} : 0.03$$

La potencia descendente (Q_D) vendrá determinada por la ecuación (27), cuyo valor es 716.00 W

La resistencia total del calor descendente (R_{total2}), se hallará mediante la ecuación (30), cuyo valor es 0.00498

La potencia descendente (Q_A) vendrá determinada por la ecuación (29), cuyo valor es 3,914.00 W

El calor total (Q_T) se hallará mediante la ecuación (31), cuyo valor es 4,630.00W

Se observa que el cálculo de la potencia térmica del suelo radiante mediante transferencia de calor es de 4,630 W; y mediante la norma UNE-EN-1264 es de 4,757 W, por lo tanto, el cálculo mediante la norma es más conservador. El error del cálculo manual respecto a la norma es de 2.6%.

En los cálculos posteriores se aplicará el valor calculado mediante la norma UNE-EN-1264.

6.2.7 Separación de las tuberías de polietileno reticulado

Para que el sistema de calefacción por suelo radiante tenga un buen performance, los tubos que transportan el fluido caloportador deben tener una determinada separación. Mediante la figura 36, se encontrará la separación de las tuberías que van embutidas en el piso.

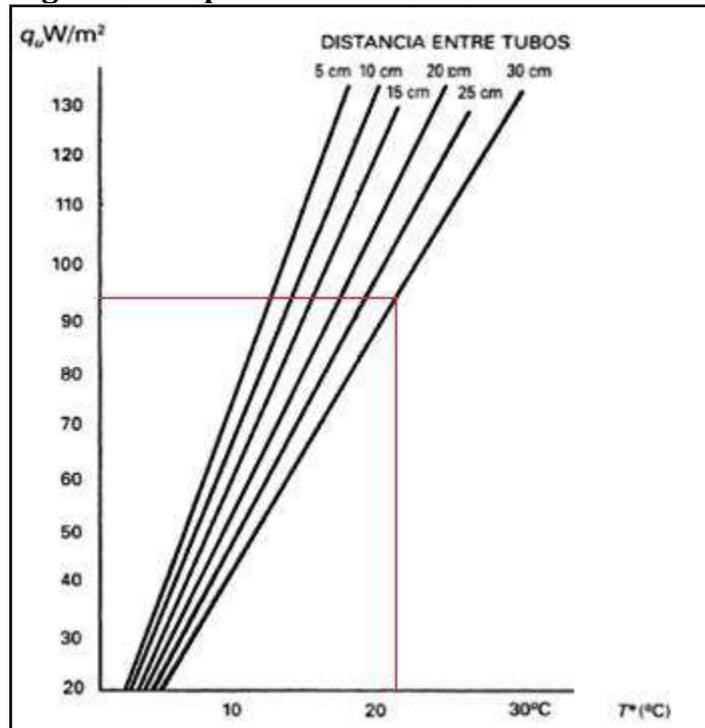
En el eje "y" de la gráfica se ubicará el flujo de calor total obtenido en el apartado 6.2.5.

En el eje "x" se ubicará la diferencia entre la temperatura media del agua y la temperatura interna del habitáculo (a la que se quiere llegar):

- ✓ Temperatura media del agua: 40°C

- ✓ Temperatura del habitáculo: 18°C
- ✓ Diferencia: 22°C, este valor se ubica en el eje "x"

Figura 36. Separación entre tuberías PEX



Nota. Adaptado de Ortega Rodríguez & Ortega Rodríguez (2000).

Como se puede observar, las líneas rojas se cruzan en la recta que indica una separación de 30 cm entre las tuberías de polietileno reticulado.

6.2.8 Longitud de la tubería de polietileno reticulado

Para hallar la longitud necesaria de tubería de cada área, se debe usar la siguiente fórmula según Barba, 2014

$$L = \frac{A}{P} + 2DC \quad (32)$$

Donde:

$A [m^2]$: Área

$P [m]$: Distancia entre tubos, ver apéndice D

$DC [m]$: Distancia del colector al inicio de las tuberías enterradas, ver apéndice E

En la tabla 12, se aplicará la ecuación (32), para hallar la longitud necesaria de cada tubería por ambiente de la casa.

Tabla 12. Longitud de tubería por ambiente

Ambiente	A [m ²]	P [m]	DC [m]	L [m]
Habitación 1	14.00	0.30	0.67	48.00
Habitación 2	14.00	0.30	0.67	48.00
Cocina/Sala	22.50	0.30	0.67	76.34
Total	173 m			

El total de longitud de tuberías del sistema de suelo radiante será de 173 m.

6.2.9 Espesor del mortero

Como se mencionó en el subpunto 3.3.4, existen dos tipos de morteros: tradicional y autonivelante. El mortero a usar en este diseño será del tipo autonivelante anhídrido de la marca Weber, debido a lo siguiente:

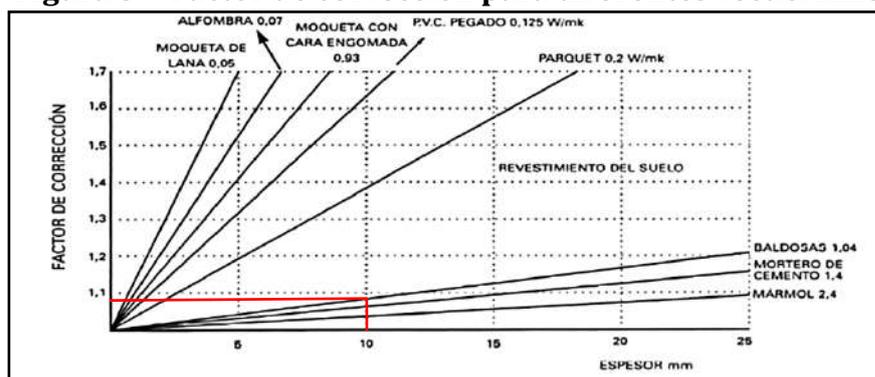
- Presenta buena conductividad térmica ($1.7 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$).
- Resistencia a la compresión mayor a los $20 \frac{N}{mm^2}$.
- No se presenta resquebrajamiento ni encogimiento.
- Presenta certificado de calidad por la norma UNE-EN-13454.

Además, se usará el espesor recomendado por la norma DIN-18560 (45 mm) por encima de las tuberías PEX.

6.2.10 Factor de corrección del acabado del piso

A nivel comercial existen variedad de acabados para el terminado del suelo, y cada uno de estos materiales tiene diferente conductividad de calor. en la figura 37, se debe ubicar el espesor del recubrimiento elegido (baldosa) y con ello se obtendrá el factor de corrección.

Este factor corregirá la potencia térmica del suelo radiante (hallada en el subpunto 6.2.5)

Figura 37. Factor de corrección para diferentes recubrimientos

Nota. Adaptado de Ortega Rodríguez & Ortega Rodríguez (2000).

La baldosa generalmente tiene un espesor de 10 mm, para este caso el valor del factor de corrección (F_c) es 1.09, entonces este factor incrementará en un 9% la potencia térmica total, hallada en el punto 6.2.5.

$$Q_{Ttc} = Q_{Tt} \cdot F_c \quad (33)$$

Donde:

Q_{Ttc} [W]: Potencia corregida.

Q_{Tt} [W]: Potencia térmica total, hallada en el punto 6.2.5

F_c : Factor de corrección, hallado de la figura 37.

Siendo:

Q_{Ttc} [W]: 5,185

Esta será la potencia que se usará en los cálculos posteriores.

6.2.11 Diámetro de la tubería y velocidad del agua

Según el fabricante de las tuberías de polietileno reticulado, UPONOR, la velocidad de agua no debe sobrepasar los $2 \frac{m}{s}$, para evitar sonidos molestos, por ello se comprueba el diámetro de la tubería escogida con el cálculo de la velocidad.

Las tuberías PEX se distribuyen en tres circuitos: circuito de la cocina/sala, circuito de la habitación 1 y circuito de la habitación 2. Estas requieren una determinada potencia térmica, de acuerdo al área ocupada. Para el área total de la casa (50.5 m^2), la potencia térmica total del suelo radiante (Q_{Ttc}) es de 5,185.0 W, entonces la potencia térmica de la cocina (22.5 m^2) es de 2285 W; mientras que para los ambientes de cada dormitorio (14 m^2) es de 1421.9 W.

El caudal de cada circuito se halla mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{Tamb} = C * \rho * \Delta T * C_e \quad (34)$$

La ecuación (34) permite determinar el flujo volumétrico en cada circuito.

Donde:

Q_{Tamb} [W]: Potencia térmica del suelo radiante por ambiente

C [$\frac{m^3}{s}$]: Flujo volumétrico de agua (caudal)

ρ [$\frac{kg}{m^3}$]: Densidad del agua

ΔT [°C]: Variación de temperatura (10°C)

C_e [$\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$]: Calor específico del agua ($4,186 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$)

Se aplica la ecuación (34), siendo el caudal de la cocina $5.5 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{s}$ y el caudal de cada habitación de $3.4 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{s}$.

Además, se escoge la tubería comercial Uponor AquaPipe PEX de 16 mm de diámetro exterior, con espesor de 1.8 mm y diámetro interior de 12.4 mm.

$$v = \frac{C}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi} \quad (35)$$

Donde:

$C \left[\frac{m^3}{s}\right]$: Caudal por ambiente

$d [m]$: Diámetro interior de la tubería

$v \left[\frac{m}{s}\right]$: Velocidad

Cocina/sala:

Donde:

$C \left[\frac{m^3}{s}\right]$: $5.5 \cdot 10^{-5}$

$d [m]$: 0.0124

Reemplazando los datos en la ecuación (35), la velocidad del agua ente circuito será de:

$v \left[\frac{m}{s}\right]$: 0.46

Habitación 1 y 2:

Donde:

$C \left[\frac{m^3}{s}\right]$: $3.4 \cdot 10^{-5}$

$d [m]$: 0.0124

Reemplazando los datos en la ecuación (35), la velocidad del agua ente circuito será de:

$v \left[\frac{m}{s}\right]$: 0.3

Se comprueba que el diámetro escogido es correcto, ya que en ninguno de los circuitos la velocidad sobrepasará el valor antes mencionado.



Capítulo 7

Cálculo de la instalación de agua caliente sanitaria

7.1 Metodología de cálculo

Se hará uso de la metodología CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar) para hallar el área total de captación. Esta es el resultado del cociente entre la demanda energética y la energía solar necesaria por unidad de área.

La demanda energética es la cantidad de energía que se requiere para calentar el agua y climatizar los ambientes del hogar de Sexemayo.

La energía solar necesaria es la cuantificación de energía solar que se tiene durante todo el año. Está determinada por la irradiancia y factores de corrección que se consideran relevantes y que se explican en el desarrollo del apartado 7.2.2

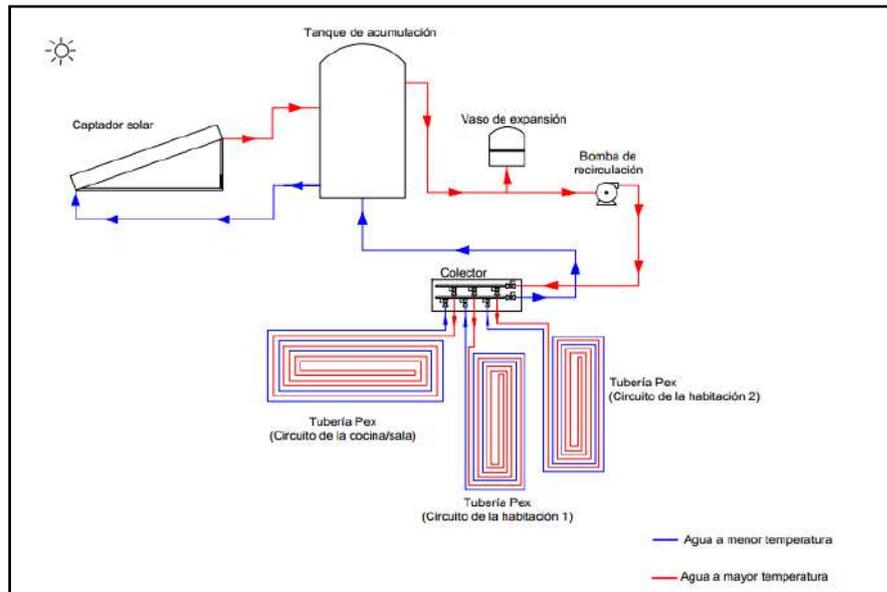
El área total de captación necesaria permite determinar el número de captadores a usar en la instalación; el cual se calcula como el cociente entre el área de captación total y el área de captación de cada captador.

7.2 Cálculo de componentes

Para elevar la temperatura del fluido que recorre las tuberías PEX del suelo radiante, se debe usar varios de los componentes de una instalación de agua caliente sanitaria; en este caso, se requiere de captadores solares, tanque de acumulación, vaso de expansión y bomba de recirculación, tal como se aprecia en el esquema de la figura 38.

El agua caliente sanitaria, con la que se climatiza el hogar estudiado, es generada por captadores solares durante el día. El agua se almacena en un tanque de acumulación del tipo inercia, este equipo permite mantener por tiempos prolongados la temperatura que el agua ganó al calentarse durante el día, mediante los captadores solares. Del tanque saldrá agua caliente hacia el sistema del suelo radiante. La conexión entre el sistema de agua caliente sanitaria y el sistema de suelo radiante es el colector (manifold).

El colector está compuesto por dos tuberías primarias, una de entrada y otra de salida de agua caliente sanitaria. De la tubería primaria de entrada salen 3 ramales de tuberías PEX, las cuales van debajo del suelo, y están dispuestas en forma de serpentín. El agua es impulsada por una bomba de recirculación, y el sistema está protegido por un vaso de expansión.

Figura 38. Sistema de agua caliente sanitaria y suelo radiante

Para hallar la cantidad de captadores solares, se debe determinar el consumo de ACS, la demanda energética para la obtención del ACS, y la cantidad de energía solar disponible en el lugar de la instalación, para que este último cubra, ya sea de manera total o parcial, la demanda energética.

7.2.1 Demanda de agua caliente

El flujo volumétrico requerido en el sistema, se halla mediante la ecuación (34). La potencia térmica Q_{Tamb} es igual a Q_{Ttc} (5,185 W).

En la tabla 13, se muestra, mes a mes, la demanda de ACS; para su elaboración se consideró:

- Número de días:

Días totales de cada mes.

- Demanda de ACS mensual total: Resultado del producto flujo volumétrico diario por el número de días totales en el mes. Se halla mediante la ecuación (34):

$$C = \frac{5185}{10 * 4186 * 1000} = 1.2 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$C = 10.368 \frac{m^3}{día}$$

Demanda de ACS mensual total = $10.368 \frac{m^3}{día} * \text{días del mes}$.

- Porcentaje de ocupación:

Indicador que hace referencia al funcionamiento u operación del suelo radiante durante el transcurso del día.

Las personas en Sexemayo suelen descansar 8 horas al día, empezando su jornada a las 5 a.m. y terminándola a las 9 p.m., es decir el 33.3% del día.

El funcionamiento del sistema de suelo radiante será en turno nocturno, ya que durante la madrugada se presentan las temperaturas más bajas del día. Esto es posible debido a que el agua almacenada en el tanque de inercia (calentada durante la mañana por los captadores solares) puede mantener su temperatura gracias a que estos tanques cuentan con aislamiento térmico sobredimensionado en poliuretano rígido inyectado en molde, que mantiene la temperatura de acumulación del agua durante largos periodos de tiempo (Lapesa, 2022).

- Demanda de ACS mensual:

Es la cantidad de agua necesaria de ACS considerando el porcentaje de ocupación por suelo radiante.

Tabla 13. Demanda de agua caliente para el sistema de suelo radiante

Mes	Número de días	Demanda ACS mensual total [m ³]	Porcentaje de ocupación [%]	Demanda ACS mensual [m ³]
Enero	31.00	331.8	34.00	112.8
Febrero	28.00	299.7	34.00	101.9
Marzo	31.00	331.8	34.00	112.8
Abril	30.00	321.1	34.00	109.2
Mayo	31.00	331.8	34.00	112.8
Junio	30.00	321.1	34.00	109.2
Julio	31.00	331.8	34.00	112.8
Agosto	31.00	331.8	34.00	112.8
Septiembre	30.00	321.1	34.00	109.2
Octubre	31.00	331.8	34.00	112.8
Noviembre	30.00	321.1	34.00	109.2
Diciembre	31.00	331.8	34.00	112.8

La tabla 14 muestra la demanda energética que se necesita para que el agua pueda incrementar su temperatura.

Para su elaboración se consideró:

- Salto térmico:

Es la diferencia de la temperatura del agua a la entrada del suelo radiante y a la salida del mismo. Según la norma UNE-EN-1264, este valor debe ser de 5°C, pero fabricantes como UPONOR, recomiendan valores entre 5°C y 10°C. En este caso de estudio se toma el valor de 10°C, ya que, al tener una mayor variación de temperatura, el sistema de ACS será más económico, debido a que se necesitará menos energía para llegar a la temperatura deseada.

- Demanda energética mensual [Termias]:

Resultado del producto de la demanda de ACS mensual, el salto térmico y el calor específico del agua.

- Demanda energética mensual [MJ]:

Es la conversión de la demanda energética mensual en termias a MJ, se considera un factor de conversión de 4.1868.

Tabla 14. Demanda de agua caliente para el sistema de suelo radiante (continuación)

Mes	Temperatura de entrada al suelo radiante [°C]	Temperatura a la salida del suelo radiante [°C]	Salto térmico [°C]	Demanda [Termias]	Demanda mes [MJ]
Enero	45.00	35.00	10.00	1128.0	4719.5
Febrero	45.00	35.00	10.00	1018.8	4262.8
Marzo	45.00	35.00	10.00	1128.0	4719.5
Abril	45.00	35.00	10.00	1091.6	4567.3
Mayo	45.00	35.00	10.00	1128.0	4719.5
Junio	45.00	35.00	10.00	1091.6	4567.3
Julio	45.00	35.00	10.00	1128.0	4719.5
Agosto	45.00	35.00	10.00	1128.0	4719.5
Septiembre	45.00	35.00	10.00	1091.6	4567.3
Octubre	45.00	35.00	10.00	1128.0	4719.5
Noviembre	45.00	35.00	10.00	1091.6	4567.3
Diciembre	45.00	35.00	10.00	1128.0	4719.5

La suma de todos los valores de demandas mensuales de la tabla 14, totaliza la demanda necesaria. El valor es de 55568.5 MJ.

7.2.2 Número de captadores

Para encontrar el número de captadores solares, se debe hallar previamente el área de captación que necesita la instalación, ésta depende de la demanda energética que requiere el ACS. y la energía solar que se dispone en el sitio de estudio por unidad de área.

En las tablas 15 y 16 se muestra el cálculo de la energía solar en la localidad de Sexemayo; para ello es necesario conocer la radiación horizontal, el factor de corrección K y el número de horas de sol en la zona.

Tabla 15. Determinación del número de captadores

Mes	Irradiación solar horizontal [$\frac{MJ}{m^2}$]	Irradiación corregida por tipo de zona [$\frac{MJ}{m^2}$]	Factor de corrección por ubicación [K]	Irradiancia corregida [$\frac{MJ}{m^2}$]
Enero	19.944	20.9412	1.09	21.46
Febrero	19.08	18.126	1.08	18.40
Marzo	20.232	19.2204	1.04	18.79
Abril	19.44	18.468	0.98	17.01
Mayo	19.008	18.0576	0.91	15.45
Junio	18.576	17.6472	0.91	15.10
Julio	19.188	18.2286	0.85	14.56
Agosto	20.592	19.5624	0.87	16.00
Septiembre	21.744	20.6568	0.92	17.86
Octubre	22.248	21.1356	0.98	19.47
Noviembre	22.86	21.717	1.03	21.03
Diciembre	21.6	20.52	1.07	20.64

A continuación, se describen cada uno de los parámetros considerados en la tabla 15:

- Irradiación solar horizontal:

Energía procedente del disco solar, medida sobre la superficie del suelo de Cajamarca (SeisCubos, 2021). Los valores son obtenidos por el programa RETScreen, ver figura 28.

- Irradiación corregida por la zona.

Según el desarrollo de las actividades económicas-productivas, la atmosfera puede verse perjudicada si éstas causan polución o material particulado. Debido a que la localidad de Sexemayo se encuentra en una zona campestre, en la que no hay actividad industrial, su atmosfera es totalmente limpia; por lo que se puede considerar un factor de 1.05 en zonas campestres, 1 en zonas urbanas y 0.95 en zonas de polución.

- Factor de corrección por ubicación [K]:

Está en función de la latitud del lugar de estudio y la inclinación del captador solar.

Sexemayo tiene una latitud de -7° , ya que se encuentra en el hemisferio sur.

La inclinación óptima de los captadores es 10° mayor a la latitud, entonces la inclinación será de 17° . Debido a que este valor no se encuentra en la tabla del anexo D, para los cálculos se toma el valor de 20° .

En el anexo D, se citan las tablas para el factor "k". Estos valores están definidos sólo para el hemisferio norte, en nuestro caso, se deberá considerar una latitud positiva de 7° y, además, desfasar en seis meses estos valores ya que corresponden a localidades europeas.

- Irradiación corregida:

La irradiación corregida por la zona va a ser rectificada por el factor de corrección por ubicación [K].

La tabla 16 cita los valores de las horas sol durante cada mes, obtenidos de CENSOLAR TOMO III, 2007; estos se escogen de acuerdo a la latitud y ubicación de la zona (ver anexo C). También, se incluyen la irradiancia mes a mes, esta se calcula por la intensidad útil incidente sobre la superficie de los captadores, que vendrá determinada por el cociente de la irradiancia corregida y el número de horas sol de cada mes.

Tabla 16. Determinación del número de captadores (continuación)

Mes	Horas útiles de sol [h]	Irradiancia [$\frac{W}{m^2}$]
Enero	8.75	681.16
Febrero	9.25	552.60
Marzo	9.50	549.42
Abril	9.25	510.90
Mayo	8.75	490.37
Junio	8.50	493.32
Julio	8.75	462.37
Agosto	9.25	480.43
Septiembre	9.50	522.34
Octubre	9.25	584.69
Noviembre	8.75	667.51
Diciembre	8.50	674.48

Nota. Adaptado de CENSOLAR TOMO III (2007).

Una vez obtenida la intensidad útil (irradiación) que incidirá sobre los captadores, se calcula el rendimiento del captador escogido, para saber cuánta energía es aprovechada (aporte solar), y hallar la energía neta mensual y anual.

Rendimiento del captador:

Indica el uso efectivo de la energía solar (radiación total) recibida por el captador solar, y la capacidad de aprovechamiento de este (conversión de energía solar a energía térmica) (Jiménez Soriano, 2019).

El rendimiento puede modelarse mediante ecuaciones lineales o cuadráticas, esto dependerá de los datos del fabricante.

Está determinado por el rendimiento óptico y coeficiente de pérdidas, estos valores son alcanzados por el fabricante; y también por la diferencia de temperatura de trabajo del agua caliente, sobre la irradiación recibida.

En este caso, los captadores se modelarán de forma cuadrática, mediante la siguiente fórmula:

$$\eta = 100 \cdot \left[0.94\eta_o - k_1 \left(\frac{T_{AC} - T_{amb}}{I} \right) - k_2 \frac{(T_{AC} - T_{amb})^2}{I} \right] \quad (36)$$

Donde:

η : Rendimiento del captador.

η_o : Rendimiento óptico.

k_1 y k_2 : coeficientes de pérdidas.

T_{AC} : Temperatura de trabajo del agua caliente sanitaria

T_{amb} : Temperatura ambiente.

I : Irradiancia.

Los valores del rendimiento óptico y los coeficientes de pérdidas de cada captador, se encuentran en los anexos E, F y G.

▪ Aporte solar:

Se determina por el producto de la irradiancia corregida y el rendimiento del captador solar (en porcentaje).

▪ Energía solar neta mensual:

Es la energía de captador. Considerando pérdidas del 15% en el tanque de acumulación.

La suma de los valores mensuales de energía solar neta dará la energía solar anual neta.

Obtenida la energía solar neta anual, el área de captación será el resultado del cociente de la demanda energética y la energía solar neta durante todo el año.

$$\text{Área de captación} = \frac{\sum \text{Demanda energética}}{\text{Energía solar neta anual}} \quad (37)$$

Por último, obtenida el área de captación, el número de captadores será el cociente de esta y el área de cada captador (dependerá de cada fabricante).

$$\text{Número de captadores} = \frac{\text{Área de captación}}{\text{Área de cada captador}} \quad (38)$$

7.2.3 Elección de captadores

En el capítulo 2, se analizó cada uno de los tipos de captadores que existen (de alta, mediana y baja temperatura). En este estudio la temperatura máxima a la que va a trabajar el sistema de suelo radiante es de 45°C, por ello se debe elegir un captador de baja temperatura.

Entre estos captadores tenemos los de placa plana con cubierta y placa plana sin cubierta. Las razones por las cuales se optará por los captadores de placa plana con cubierta:

- Sus temperaturas de trabajo están en el rango de 35°C y 75°C, en cambio las del captador de placa plana sin cubierta son de 10°C a 35°C.
- Su aplicación es ideal para la obtención de agua caliente sanitaria y calefacción de ambientes.

Conociendo el tipo de captador, se seleccionará la mejor marca, para una óptima performance de la instalación. Para la elección del captador de placa plana con cubierta se tomará en cuenta la eficiencia, certificaciones, y el costo de los captadores.

Además, el número de captadores y la eficiencia serán calculados según la metodología antes descrita.

- Captador Viessmann SV1F

Están comprobados bajo la norma ISO 9806 o EN12975, que permite determinar el desempeño térmico de los captadores solares con vidrio.

Presenta un área de captación de 2.31 m², el precio unitario en el mercado español es de 563.2 euros (ver anexo E).

El número de captadores a usar en la instalación es de 9 unidades, y en la tabla 17 se muestra la eficiencia durante los distintos meses del año, el detalle de estos resultados (número de captadores y eficiencia) se muestra en el apéndice F.

Tabla 17. Rendimiento captador Viessmann SV1F

Mes	Rendimiento (%)
Enero	53.58
Febrero	48.09
Marzo	48.14
Abril	46.20
Mayo	45.03
Junio	44.72
Julio	42.41
Agosto	44.75
Septiembre	48.05
Octubre	50.42
Noviembre	53.19
Diciembre	53.44

En la tabla 17 se observa que el mes con un mayor rendimiento de los captadores solares es en enero, y el de menor rendimiento es en julio.

- Captador Termocan Neo 18:

Están comprobados bajo la norma ISO 9001:2000, que indica que el producto cumple con un óptimo sistema de gestión de calidad.

El área de captación es de 1.77 m^2 , el precio unitario en el mercado español es de 549 euros (ver anexo F).

El número de captadores a usar en la instalación es de 12 unidades, y en la tabla 18 se muestra la eficiencia durante los distintos meses del año, el detalle de estos resultados (número de captadores y eficiencia) se muestra en el apéndice G.

Tabla 18. Rendimiento captador TERMOCAN Neo 18

Mes	Rendimiento (%)
Enero	52.98
Febrero	48.75
Marzo	48.78
Abril	47.27
Mayo	46.36
Junio	46.14
Julio	44.37
Agosto	46.13
Septiembre	48.66
Octubre	50.52
Noviembre	52.67
Diciembre	52.86

Al igual que el captador Viessmann, los meses con el mayor y menor rendimiento son de enero y julio, respectivamente; sin embargo, se observa que el rendimiento mensual es menor que el del captador anterior.

- Captador CSV Slim vertical:

No están comprobados bajo ninguna norma.

Presenta un área de captación de 1.83 m^2 , el precio unitario es en el mercado español es de 474 euros (ver anexo G).

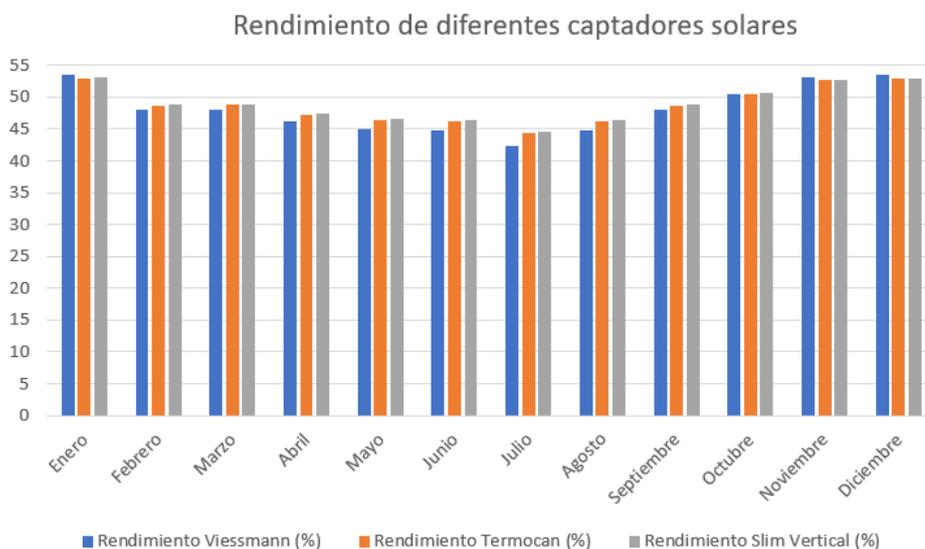
El número de captadores a usar en la instalación es de 11 unidades, y en la tabla 19 se muestra la eficiencia durante los distintos meses del año, el detalle de estos resultados (número de captadores y eficiencia) se muestra en el apéndice H.

Tabla 19. Rendimiento captador modelo: "CSV Slim vertical"

Mes	Rendimiento (%)
Enero	53.06
Febrero	48.90
Marzo	48.94
Abril	47.46
Mayo	46.57
Junio	46.34
Julio	44.59
Agosto	46.35
Septiembre	48.86
Octubre	50.66
Noviembre	52.77
Diciembre	52.95

Presenta mayores rendimientos que los captadores antes mencionados en los meses de febrero hasta octubre.

A continuación, en la figura 39, se compara los rendimientos de los 3 captadores analizados anteriormente:

Figura 39. Rendimiento mes a mes de cada captador analizado

De la figura 39, se observa que el captador Slim Vertical presenta un mayor rendimiento, durante el rango de meses de febrero a octubre. Cabe resaltar que, el rendimiento del captador Slim Vertical solo es mayor en un 0.75% en promedio, respecto al captador Viessmann y 0.2% respecto al captador Termocan.

Luego de analizar 3 marcas de captadores (Viessmann, Termocan y Slim Vertical), se elige la marca Viessmann por lo siguiente:

- El captador Viessmann presenta un óptimo rendimiento durante todo el año, es decir tendrá una adecuada conversión de energía solar a energía térmica. Si bien el rendimiento promedio es menor en un 0.75% respecto al captador Slim Vertical, la diferencia no es significativa.
- Presenta certificación ISO 9806, lo que se traduce en un óptimo desempeño térmico y vida útil del captador.
- En la instalación solo se necesita 9 captadores, por lo que el precio es el menor de todos los anteriores captadores.

7.2.4 Volumen del tanque de acumulación

Según el Documento Básico HE, sección 2.2.5 del Código Técnico de Edificación de España (CTE), publicado en el Boletín del Estado de España (BOE), 2013; para dimensionar el sistema de almacenamiento en una instalación ACS se debe cumplir la siguiente expresión:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad (39)$$

Donde:

V [l]: Volumen del tanque de acumulación

A [m²]: Área de los captadores Viessmann.

Al despejar el volumen de la ecuación (39), los valores permitidos estarán en el rango de 1039.5 litros y 2742 litros.

Se escoge el valor de 1500 litros, ya que de este volumen se encuentra dentro del rango y es comercial, ver anexo H.

$$\frac{V}{A} = \frac{1500}{20.39} = 73.56$$

Se observa que sí cumple con la condición.

7.2.5 Pérdidas de carga

▪ Pérdidas en las tuberías de suelo radiante

Las pérdidas de carga en las tuberías del suelo radiante vendrán determinadas por la longitud de las tuberías PEX, y la caída de presión. Esta última se halla de acuerdo al caudal que pasa por cada tubería.

En la tabla 20 se detalla la carga térmica, el salto térmico y el caudal de cada ambiente del hogar, este último se halla mediante la ecuación (34).

Tabla 20. Pérdidas de carga en tuberías PEX

Ambiente	Carga Térmica[W]	Salto térmico[°C]	Caudal (l/s)
Cocina/Sala	2285.2	10	0.055
Cuarto 1	1421.9	10	0.034
Cuarto 2	1421.9	10	0.034

En la tabla 20 se aprecia que el ambiente por donde circulará un mayor caudal es en la cocina/sala (0.055 l/s).

En la tabla 21 se muestra la caída de presión, longitud de las tuberías y pérdida de carga. Se considera tuberías PEX de la marca UPONOR. En su manual se encuentra la caída de presión de cada caudal por metro de tubería (ver anexo I). Por ello, para determinar la pérdida de carga se debe multiplicar la caída de presión por la longitud.

Tabla 21. Pérdidas de carga en tuberías PEX (continuación)

Ambiente	Caída de presión [mbar/m]	Longitud [m]	Pérdida de carga [mbar]
Cocina/Sala	3.136	76.34	239.40
Habitación 1	0.900	48.34	43.51
Habitación 2	0.900	48.34	43.51

En la tabla 21, se muestra que la pérdida de carga en la cocina/sala es de 239.4 mbar, y en cada habitación es de 43.51 mbar, sumando en total 326mbar o 3.26 mca.

▪ Pérdidas de carga en las tuberías

La tubería de distribución (tuberías que van desde el tanque de acumulación hasta el colector y viceversa) será de CPVC, marca PavcoWavin, por los siguientes criterios:

- Durabilidad: las tuberías de CPVC son resistentes a la corrosión, ante químicos tal como el cloro.
- Resistencia a la temperatura: son resistentes hasta los 80°C
- Resistencia a la presión: resisten hasta 9 kg/cm²

- Fácil instalación: comparado con la instalación de tuberías de cobre, las de CPVC son más fáciles de instalar, ya que no se requiere personal calificado para hacerlo.
- Fácil obtención: debido a que este material tiene una amplia participación en el mercado peruano, es fácil de obtener en cualquier ferretería.
- Presenta una conductividad térmica de $0.14 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$.

Definido el material de la tubería de distribución, en la tabla 22 se muestra el metrado y características de una tubería de CPVC de $\frac{3}{4}$ ".

Tabla 22. Metrado y características de la tubería de CPVC

Material de la tubería	CPVC
Longitud [m]	9.00m
Diámetro exterior [m]	0.0222
Diámetro interior [m]	0.0182
Espesor de la tubería [mm]	2.03mm
Rugosidad absoluta [mm]	0.0015mm

La longitud total de la tubería es 9.00 m, se halla sumando las medidas de cada tubería de distribución de la instalación, ver apéndice E.

Las medidas de la tabla 22 sirven para calcular el número de Reynolds, el factor de fricción, y la pérdida de carga en las tuberías de distribución; éstas que, por la ecuación de Darcy-Weisbach, se determinan según:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (40)$$

Donde:

h_f [m]: Pérdidas de cabeza

f: Factor de fricción

L[m]: Longitud de la tubería de CPVC

D[m]: Diámetro interior

$V \left[\frac{m}{s} \right]$: Velocidad

$g \left[\frac{m}{s^2} \right]$: Gravedad

Para el cálculo de las pérdidas de cabeza en las tuberías se debe hallar el factor de fricción (relacionado directamente con el número de Reynolds), y la velocidad del agua en los tubos de CPVC.

En la fórmula de Reynolds, la única variable desconocida es la velocidad. Esta viene determinada por la ecuación (19).

El caudal total usado, será la suma de caudales de la tabla 20, este tiene un valor de $0.12 \frac{l}{s}$ o $0.432 \frac{m^3}{h}$.

Reemplazando los datos en la ecuación (35), la velocidad es $0.5 \frac{m}{s}$.

Reemplazando los datos en la ecuación (19), Reynolds es 13,828

Debido a que el número de Reynolds pertenece al régimen turbulento, el factor de fricción se debe hallar mediante la fórmula de Colebrook, que requiere un método de cálculo por iteraciones. Sin embargo, en la práctica se usan fórmulas simplificadas, como la de Haaland.

$$f = \left\{ -1.8 \log \left[\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right] \right\}^{-2} \quad (41)$$

Reemplazado los valores antes expuestos en la ecuación (41), el factor de fricción es 0.081

Las pérdidas por carga equivalen a 0.2 m; se hallan mediante la ecuación (40).

- **Pérdidas de carga en los accesorios (pérdidas secundarias)**

Las pérdidas de cabeza vienen determinadas por la siguiente ecuación:

$$h_{fs} = \sum K \frac{V^2}{2g} \quad (42)$$

Donde:

$h_{fs}[m]$: Pérdidas de cabeza

K: Factor de fricción en accesorios

$V[\frac{m}{s}]$: Velocidad

$g \left[\frac{m}{s^2} \right]$: Gravedad

El coeficiente de pérdida de carga en accesorios “K” toma los siguientes valores:

- Codo de 90°: 1.2
- Válvula de bola abierta: 0.5
- Válvula de seguridad: 2.5

Además, la instalación dispone de 6 codos de 90°, 8 válvulas de bola y 1 válvula de seguridad. (Ver arreglo en el apéndice E).

De la ecuación (42), las pérdidas en los accesorios resultan: 0.2 m.

En la tabla 23 se hace un resumen de las pérdidas de carga en la instalación:

Tabla 23. Resumen de pérdida de carga

Tuberías/Accesorio	Pérdidas de carga [m]
Tuberías PEX	3.26
Tuberías de distribución	0.2
Accesorios	0.2

Se observa que las pérdidas de carga en las tuberías PEX es de 3.26 m, en las tuberías de distribución del material de CPVC y en los accesorios (codos y válvulas) es de 0.2 m, teniendo un total de 3.66 m de pérdidas de carga.

7.2.6 Vaso de expansión

Según se indica en el capítulo 2, el vaso de expansión controla la variación de presión en un circuito cerrado. Su volumen se calcula según la fórmula obtenida por (CENSOLAR TOMO III, 2007):

$$\text{Vol} = \text{vf. n.} \frac{P_f}{P_f - P_i} \quad (43)$$

Donde:

Vol[l]: Volumen del vaso de expansión

vf[l]: Volumen del fluido

n: Coeficiente de dilatación

$P_f \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$: Presión final del vaso de expansión

$P_i \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$: Presión inicial del vaso de expansión

- El volumen del fluido (vf) se determina por:
 - ✓ Volumen de fluido en los captadores

Se usará un total de 1.83 litros por captador, ver anexo E. Se tiene 9 captadores solares, por lo que el volumen total será de 16.5 litros.

- ✓ Volumen del fluido en las tuberías de distribución

Vendrá determinado por la siguiente expresión:

$$V_{\text{Tub}} = L \cdot \pi \frac{d^2}{4} \quad (44)$$

El volumen se hallará con los datos de la tabla 22, reemplazando los valores en la ecuación (44), cuyo resultado es 2.5 litros.

- ✓ El volumen en el intercambiador de calor

El área del intercambiador de calor es de 3.1 m², por lo tanto, el volumen del intercambiador de calor es de 20 litros.

El volumen total (vf) será la suma del volumen del fluido en los captadores y el volumen en las tuberías de distribución, dando el valor de 39 litros.

El coeficiente de dilatación vendrá determinado por la temperatura máxima del sistema de suelo radiante en la instalación. En la siguiente imagen se cita la tabulación de valores de coeficiente de dilatación según la temperatura.

Figura 40. Coeficiente de dilatación a diferentes temperaturas

Temperatura	%
40°C	0,782
50°C	1,21
60°C	1,71
70°C	2,27
80°C	2,9
90°C	3,59
100°C	4,34

Nota. Adaptado de Carribero Pérez (2010).

La temperatura máxima del sistema de suelo radiante más próxima es la de 50°C; por lo que el coeficiente de dilatación se considera de 1.21%.

La presión inicial, debido a los captadores solares, debe tomar como mínimo el valor de $0.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ y al igual que la final, se debe agregar el valor de $1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ para obtener la presión absoluta.

Reemplazando los valores antes mencionados en la ecuación (43), el volumen del vaso de expansión es de un litro. A este último valor se le debe agregar un volumen de reserva para compensar pérdidas del fluido, que es de 3 litros (Carribero Pérez, 2010). El vaso de expansión usado será de la marca Baiondo de 5 litros, ver anexo J.

7.3 Elección de la bomba

Bomba de recirculación para el sistema de suelo radiante

En las instalaciones de suelo radiante, se usan bombas de recirculación. Para una adecuada selección se debe tener en cuenta las pérdidas de carga de la instalación.

La potencia de la bomba se define mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q \cdot g \cdot \rho \cdot P_c}{\eta \cdot 746} \quad (45)$$

Donde:

$C \left[\frac{m^3}{s} \right]$: Caudal

$g \left[\frac{m}{s^2} \right]$: Gravedad

$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$: Densidad

$P_c [m]$: Pérdidas de carga

$\eta [%]$: Rendimiento de la bomba

$\frac{1}{746}$: Factor de conversión de kW a HP

Mayoritariamente, el rendimiento de las bombas de recirculación es de un 60%, el caudal es de $0.12 \frac{1}{s}$, la densidad es de $992.3 \frac{kg}{m^3}$, y las pérdidas 3.66 m.c.a. Reemplazando todos los valores en la ecuación (45), la potencia es de 0.010 hp.

Se escoge la bomba marca Wilo, debido a que es apta para aplicaciones de calefacción.

De acuerdo a la potencia hallada, la bomba de recirculación adecuada sería el modelo Yonos Pico 15/ 1-6, debido a que la potencia hallada se encuentra dentro del rango de ajuste de las potencias (4W a 40 W o de 0.005 hp a 0.05 hp), ver figura 41.

El precio de este equipo en el mercado español es de 255.4 euros (ver anexo k).

Figura 41. Datos técnicos bomba Wilo-modelo Yonos Pico

Bomba de recirculación EC		FICHA PRODUCTO		
				
DIMENSIONES				
Modelo Frigicoll		Bomba 6,0 mca	Bomba 7,5 mca	
Modelo		Yonos PICO1.0 15/1-6	Yonos PICO1.0 25/1-8	
Datos hidráulicos	Caudal Qmax	m ³ /h	3,6	4,4
	Altura de entrada mínima a 50°C (95°C)	m	0,5 (3,0)	
	Temperatura de trabajo del fluido	°C	-10 a +95	
	Límites temperatura ambiente	°C	-10 a +40	
	Presión máxima de trabajo (PN)	bar	10	
Características generales	Conexiones de Impulsión (DNd) y Aspiración (DNs)	"	G 1"	G 1-1/2"
	Longitud entre roscas (L0)	mm	130	180
	Peso neto	kg	1,8	2,0
	Carcasa de la bomba		Fundición	
	Rodete		PP-GF40	
	Eje		Acero inoxidable	
Cojinete		Carbón, impregnado de metal		
Motor eléctrico	Alimentación eléctrica		1~230 V ±10%, 50/60 Hz	
	Tecnología motor		EC	
	Potencia nominal (P2)	W	30	58
	Rango de velocidad funcionamiento (n)	1/min	700 - 4.200	500 - 4.800
	Consumo de potencia mín. / máx. (P1)	W	4 - 40	4 - 75
	Prensaestopas		1 x PG11	
	Clase aislamiento / Tipo de protección		F / IPX4D	

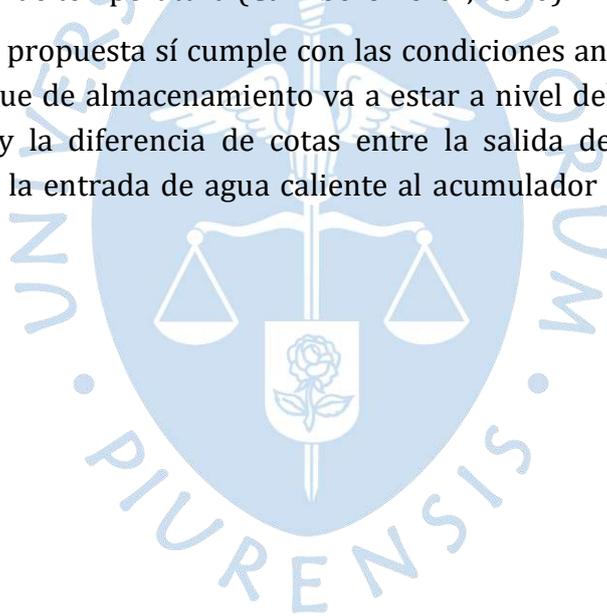
Nota. Adaptado de Wilo (2022).

Circulación del agua de los captadores solares al tanque de almacenamiento

Se da mediante convección natural. El fluido de trabajo (agua) debido a la radiación solar se calienta, esto permite que incremente su temperatura, y disminuya su densidad. Al pesar menos, el fluido asciende hacia la parte alta de los captadores solares, y va almacenándose en el tanque acumulador, y el fluido frío (que presenta mayor densidad) se desplaza hacia la parte baja de los captadores solares (por las tuberías de entrada de los captadores). Para que esto pueda llevarse a cabo, se debe cumplir que la diferencia de cotas entre la salida del agua caliente de los captadores solares y la entrada de agua caliente al acumulador sea menor al 75% de la altura del captador y que la salida del agua caliente del acumulador debe darse por la parte superior (Carribero Pérez, 2010).

Los captadores solares se disponen de forma paralela, debido a que con este tipo de arreglo la temperatura del agua será la misma en los 9 captadores (las entradas se conectan a un mismo punto en común y de igual manera las salidas del captador). Este tipo de conexión permite que los caudales circulantes por cada captador sean los mismos, así como la diferencia de temperatura (Carribero Pérez, 2010).

La instalación propuesta sí cumple con las condiciones anteriormente expuestas, debido a que el tanque de almacenamiento va a estar a nivel del suelo, al igual que los captadores solares, y la diferencia de cotas entre la salida del agua caliente de los captadores solares y la entrada de agua caliente al acumulador es menor al 75% de la altura del captador.





Capítulo 8

Impactos

8.1 Impacto económico-evaluación financiera

En la zona de estudio solo existe energía eléctrica del tipo BT5, no disponen de otra fuente de energía como el gas natural, ni se aprovecha algún recurso renovable. Para evaluar el impacto económico, se va a comparar el costo del sistema de suelo radiante con energía eléctrica, respecto al costo utilizando energía solar, estudiado en los anteriores capítulos.

Se debe hacer un metrado de los componentes de ambas instalaciones, exponiendo sus precios. Así como los costos relacionados al tratamiento y mantenimiento del sistema.

- **Metrado y presupuesto:**

En las tablas 24 y 25, se muestra el costo de la inversión de un sistema de suelo radiante con energía solar, y en las tablas 26 y 27 se muestra el costo por energía eléctrica.

Tabla 24. Inversión en un sistema de suelo radiante por energía solar

Ítem	Descripción ⁶	Cantidad	Precio unitario (\$/)	Precio total (\$/)
A. Accesorios y tuberías				
A.1	Tubería de CPVC x 5m	2 unidades	62.50	125.0
A.2	Tubería PEX x 100m	2 unidades	1,190.0	2,380.0
A.3	Codos de 90°	6 unidades	4.90	29.4
A.4	Válvula de bola	8 unidades	4.90	39.2
A.5	Válvula de seguridad	1 unidades	261.2	261.2

⁶ Las cantidades, marcas de los accesorios y tuberías del sistema de suelo radiante fueron expuestas en el capítulo 6 y 7. Los precios de los ítems A.1, A.3, A.4 se encuentran en el anexo L. Los ítems A.2 y A.5 serán importados de España, para verificar el precio en Sexemayo, ver apéndice I.

Tabla 25. Inversión en un sistema de suelo radiante por energía solar (continuación)

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario (S/)	Precio total (S/)
B. Equipos ⁷				
B.1	Captador solar, marca Viessmann, modelo SV1F.	9 unidades	2,909.9	26,188.9
B.2	Tanque de acumulación, marca Lapesa	1 unidad	14,935.6	14,935.6
B.3	Bomba de recirculación, marca Wilo, modelo 15/1-6.	1 unidad	1,429.9	1,429.9
B.4	Vaso de expansión de 5 litros, marca IBAIONDO.	1 unidad	345.7	345.7
C. Materiales de construcción ⁸				
C.1	Mortero por saco de 25 kg	20 unidades	100.58	2,011.6
C.2	Planchas de poliestireno	18 unidades	52.0	936.0
C.3	Lámina de polietileno en bobina	1 unidad	399.1	399.1
C.4	Baldosa por caja	35 unidades	48.0	1680

El total de la suma del costo de los materiales de la instalación de suelo radiante por energía solar es de S/ 50,761.9.

El metrado anterior se ha realizado para un área de 50.5 m², por lo tanto, se puede concluir que una instalación de suelo radiante por energía solar tiene un costo de S/1005 por m².

⁷ Todos estos equipos serán importados de España, para verificar el precio en Sexemayo, ver apéndice I.

⁸ La ficha técnica, del ítem C.1, se encuentra en el anexo M. Los ítems C.1 y C.3 serán importados de España, para verificar el precio en Sexemayo, ver apéndice I. Los precios de los ítems C.2 y C.4 se encuentran en el anexo N.

Tabla 26. Inversión en un sistema de suelo radiante por energía eléctrica

Ítem	Descripción ⁹	Cantidad	Precio unitario (S/)	Precio total (S/)
D. Equipos y accesorios eléctricos				
D.1	Caldera eléctrica, marca Domusa, potencia de 4.5/9 kW ¹⁰	1 unidad	7,877.5	7,877.5
D.2	Tanque de acumulación, marca Lapesa, modelo G1500L.	1 unidad	15,580.0	15,580.0
D.3	Bomba de recirculación, marca Wilo, modelo 15/1-6.	1 unidad	1,487.0	1,487.0
D.4	Vaso de expansión de 5 litros, marca IBAIONDO.	1 unidad	355.6	355.6
D.5	Tablero adosable plástico de 4 polos.	1 unidad	24.00	24.0
D.6	Interruptor termomagnético de 30 A.	1 unidad	43.5	43.5
D.7	Interruptor diferencial de 30 A.	1 unidad	76.0	76.0
D.8	Tubería de luz de ¾"	3 unidades	3.00	19.2
D.9	Cable INDECO AWG 8	17 m	4.00	68.0
E. Accesorios y tuberías				
E.1	Tubería de CPVC	2 unidad	62.5	125.0
E.2	Tubería PEX	2 unidades	1,239.2	2,478.4
E.3	Codos de 90°	6 unidades	4.90	29.4
E.4	Válvula de bola	8 unidades	4.90	39.2
E.5	Válvula de seguridad	1 unidad	267.5	267.5

⁹ Los precios de los accesorios D.5, D.6, D.7, D.8, D.9, E.1, se encuentran en el anexo Ñ y los precios de los ítems E.1, E.3 y E.4, se encuentran en el anexo L. Los ítems D.1, D.2, D.3, D.4, E.2 y E.5 serán importados de España, para verificar el precio en Sexemayo, ver apéndice J.

¹⁰ La potencia de la caldera eléctrica se puede ajustar de 4.5kW a 9 kW. Se escoge dicho rango de potencias ya que el calor que se le debe suministrar a la vivienda es de 5.185 kW, ver punto 6.2.11.

Tabla 27. Inversión en un sistema de suelo radiante por energía eléctrica (continuación)

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario (S/)	Precio total (S/)
F. Materiales de construcción ¹¹				
F.1	Mortero por saco de 25 kg	20 unidades	104.70	2,094.0
F.2	Planchas de poliestireno	18 unidades	52.0	936.0
F.3	Lámina de polietileno en bobina	1 unidad	411.4	411.4
F.4	Baldosa por caja	35 unidades	48.0	1680

La inversión total será la suma de los precios de la tabla 26 y tabla 27, dando un valor de S/33,591.7.

El arreglo hidráulico y eléctrico, se puede apreciar en el apéndice K y apéndice L, respectivamente.

Se observa que la inversión del sistema de suelo radiante por energía solar es de S/50,761.9, y la inversión por energía eléctrica es de S/33,591.7. La inversión inicial para la instalación solar es un 51 % más cara que la instalación eléctrica. A primera instancia, el monto de la opción inicial es elevado; sin embargo, esta no tiene costo de funcionamiento como la segunda opción, es decir no será necesario pagar mensualmente el uso de energía eléctrica.

A continuación, se evaluará los gastos relacionados a la puesta en marcha de la instalación eléctrica.

La caldera eléctrica trabajará por ocho horas, su consumo diario sería de 41.48 kWh (resultado de multiplicar la potencia de la caldera por las horas que funciona), este consumo anualmente es de 14,934 kWh.

La energía eléctrica, distribuida por Hidrandina en Cajamarca tiene un costo de S/ 0.5728 por kWh, por lo que la puesta en marcha de la instalación eléctrica durante un año tendría un costo de S/ 8,554.

En un periodo de 3 años, la inversión en la instalación eléctrica y el pago acumulado de energía será de S/ 59,253.7, monto superior a la inversión del sistema por suelo radiante usando energía solar.

¹¹ Igual al subíndice 9.

Además, con el transcurrir de los años, el pago por energía eléctrica seguirá acumulándose, a diferencia de la energía solar, con la cual no habrá ningún pago, solo la inversión inicial.

- **Mantenimiento:**

Para que el sistema de suelo radiante tenga una vida útil adecuada, según la empresa española Solargal Instalaciones S.L., deben llevarse a cabo mantenimientos preventivos cada año. Dentro de estos, se encuentran el tratamiento del agua (mediante aditivos), limpieza de las tuberías, comprobación de inexistencia de fugas, inspección de la bomba de recirculación y válvulas, verificación de temperatura y caudal de cada circuito de suelo radiante; así como la limpieza de sistema de acumulación de agua. Se cotizó estos servicios con la empresa local JoseMaría Inversiones y Servicios S.R.L., cuyo costo es S/.1700 por cada casa (ver anexo O).

8.2 Impacto social

El sistema de suelo radiante brindará un impacto positivo en la calidad y estilo de vida de los pobladores de zonas rurales.

- **Calidad de vida:**

El sistema de suelo radiante garantiza el confort térmico en los habitantes, lo que a su vez permite al poblador tener un descanso reparador por lo que tendrá mayor rendimiento en su jornada laboral. Esto se verá reflejado en una mejor concentración en sus actividades diarias, y además su estado de ánimo se elevará.

Los niños tendrán mejores condiciones para asistir y aprovechar las clases.

Las amas de casa, ya no se verán en la necesidad de prender leña para poder calentar sus hogares, con ello mejorará su salud notablemente, ya que aminorará los casos de carnosidad, ardor en los ojos y/o daños al sistema respiratorio.

- **Participación y empoderamiento de la comunidad:**

Las instalaciones del sistema de suelo radiante se deben realizar con la ayuda de la población de la zona, involucrando a mujeres y jóvenes, creando liderazgo, organización y generando puestos de trabajo a 18 familias en la comunidad de Sexemayo Lote 1. Esto permitirá una mejora en el estilo de vida de las familias ya que aprenderán sobre temas de fontanería y energía térmica, abriéndose así más oportunidades en su vida laboral.

- **Desarrollo de mercados locales:**

Se debe tener coordinación con el gobierno regional de Cajamarca y la inversión privada para impulsar a obtener proveedores de servicios de climatización térmica en Cajamarca, generando una red de negocios nuevos relacionados con la cadena de valor en la zona (Escobar & Gamio, 2016).

Mencionado los puntos anteriores, el impacto social es positivo, debido a que en Sexemayo Lote 1, se beneficiarán 108 personas.

8.3 Impacto ambiental

Los pobladores de las zonas rurales, en especial las amas de casa, suelen prender leña para poder abrigarse mientras hacen sus labores del hogar, o durante las noches para dormir abrigados.

En la combustión de la leña se generan gases, que afecta tanto al ambiente como a la propia comunidad. Según datos de los propios pobladores de Sexemayo, señalan que pueden quemar hasta 2 “atados” de leña en un día. Cada “atado” equivale a 1 kg.

Cada kg de leña genera 1.7 kg de CO₂ (MINEN, s.f.). Es decir, anualmente una familia en Sexemayo produce 1224 kg de CO₂. Cifra que puede aminorarse al usar un sistema de suelo radiante que funciona con energía solar.

La leña es obtenida de los árboles de Eucalipto, una de las especies que más capacidad de absorción de CO₂ presenta en el mundo. De un árbol de 10 m de largo, y 0.6 m de radio se puede obtener 6,215 kg de leña. Como se mencionó anteriormente, una familia en Sexemayo para calentarse usa 2 kg de leña al día, es decir 720 kg de leña al año. En Sexemayo existen 18 familias, por lo que al año usan 12,960 kg de leña, y para ello se debe talar dos árboles al año. Un árbol promedio puede absorber aproximadamente 167 kg de CO₂ anualmente (Garrett, 2022) , es decir por dos árboles talados, se deja de absorber 334 kg de CO₂ anuales.

El uso de energías limpias, tal como la energía solar, permite reducir significantes cantidades de partículas de CO₂, contribuyendo en la lucha por el cambio climático y la conservación de la capa de ozono.

8.4 Impacto tecnológico

El impacto tecnológico del uso del sistema de suelo radiante en la comunidad de Sexemayo es positivo por los siguientes puntos:

- Capacidad de réplica
- Sistema simple
- Económico: El uso de la energía solar como fuente de calor, permitirá reducir costos innecesarios generados por otras fuentes de energía.
- Fácil operación

También, esta tecnología satisface la necesidad de vivir confortablemente en zonas de bajas temperaturas, asegurando la salud de la población.

Además, La sociedad de los pobladores de Sexemayo tendrán mayor conocimiento en el uso y manejo de energía renovables en su vida diaria.

Conclusiones

Sí es posible diseñar un sistema de suelo radiante, aprovechando el recurso solar en viviendas de zonas rurales en el Perú. En este caso particular del Caserío de Sexemayo-Cajamarca. Se aplicó lo indicado en la norma peruana EM.110, y el programa Revit 2019, para hallar las cargas térmicas; y se diseñó el suelo radiante mediante la norma UNE-EN-1264.

En este trabajo se evidencia que, en muchas zonas rurales del Perú, como por ejemplo en el Caserío de Sexemayo, existe recurso solar disponible que podría ser utilizado en muchas aplicaciones, una de ellas es la climatización por suelo radiante y la obtención de ACS; y de esta manera mejorar sus condiciones de vida.

El recurso solar en la zona de Sexemayo (radiación solar diaria de $5.66 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$) permite satisfacer al 100% la demanda térmica para la obtención de ACS que será utilizada como generador de calor en el proceso de climatización.

Para la obtención de agua caliente, usando energía solar, se requiere de un área de captación de 22.6 m^2 . Esto no representa ningún limitante ya que se cuenta con terreno disponible.

En esta tesis se trabajó con tres modelos comerciales de captadores solares. El modelo elegido representa a la menor área de captación; esto se debe principalmente: rendimiento, certificaciones de calidad y costo.

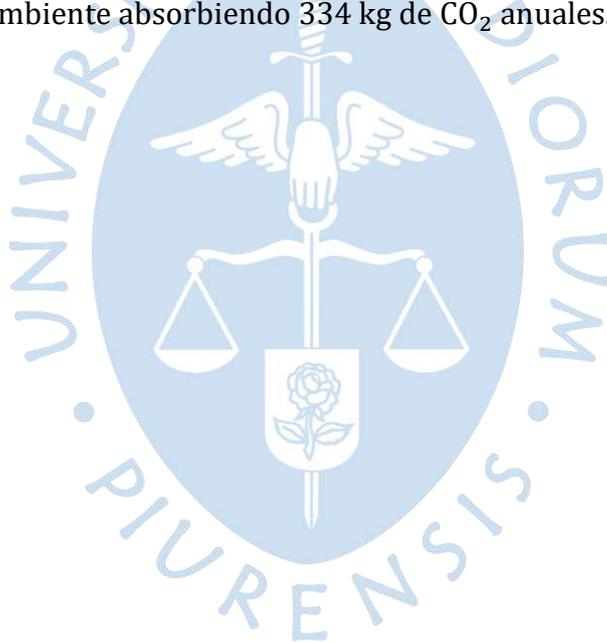
El sistema hidráulico se caracteriza por tener una simple configuración; presenta la ventaja que los materiales son accesibles; por lo que tiene alta posibilidad de ser replicado en otras zonas.

El sistema de climatización por suelo radiante conlleva una inversión inicial de $S/1005$ por m^2 , lo cual es una cifra alta para pobladores de bajos recursos, lo que lo hace no viable para que las personas lo adquieran. Esto es un indicador de la necesidad que tienen las zonas rurales para que el gobierno implante o adopte políticas energéticas de orden social; o en defecto promuevan a que otras entidades, como ONG's o Cooperaciones de Desarrollo, lo lleven a cabo.

Se pudo comprobar que los cálculos manuales de las cargas térmicas, halladas mediante la norma EM.110 (2014), se pueden validar con los cálculos realizados en Revit 2019, teniendo una desviación en los resultados de 5.2%.

La inversión inicial de un sistema de suelo radiante por energía solar respecto a uno que funcione con energía eléctrica, en principio es mayor en un 51%. Sin embargo, esta requiere únicamente una inversión inicial; mientras que el sistema de suelo radiante que calienta el agua con energía eléctrica, implica no solo una inversión inicial, sino también un pago mensual de la energía consumida; lo cual se traduce en un gasto mayor a partir de los tres años. Se concluye así, que el sistema que funciona con energía solar, es la opción más económica.

Al usar un sistema de climatización por suelo radiante, la Comunidad de Sexemayo Lote 1, dejará de producir 22,032 kg de CO₂ anualmente; por lo que tendrán un mejor nivel de vida y contribuirán con el cuidado del medio ambiente. Además, se evitará la tala de dos árboles de eucalipto al año (destinados a usar como leña para climatizarse), los cuales benefician al ambiente absorbiendo 334 kg de CO₂ anuales.



Referencias bibliográficas

- AENOR. (1998). Calefacción por suelo radiante. Sistemas y componentes. Parte 2: dimensionamiento [UNE-EN-1264-2].
- Anhivel. (2019). *Anhivel Morteros*. Obtenido de <https://www.anhivel.com>
- ArchiExpo. (s.f.). *Aislante térmico GROOVESHIELD*. Obtenido de <https://www.archiexpo.es/prod/springvale/product-59815-307706.html>
- AsKae. (5 de Abril de 2018). *Agua caliente, calefacción e instalaciones*. Obtenido de <https://askae.es/blog/mi-caldera-gotea/>
- Baiondo. (2021). *Vasos de expansión*. Obtenido de <https://www.ibaiondo.com/>
- Barba, A. (2014). *Diseño de una instalación de ACS y calefacción por suelo radiante mediante energía solar térmica, [Tesis de licenciatura]*. Repositorio Institucional.
- Bojorquez Chavez, M. A. (2018). *Planteamiento de un parque eólico marino en la costa peruana: regiones de Ica, Piura y La Libertad [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13054/BOJORQUEZ_CHAVEZ_MIGUEL_PLANEAMIENTO_PARQUE_E%C3%93LICO.pdf?sequence=1
- Cabel. (2022). *Energía solar térmica. Cabel*.
- Carribero Pérez, L. (2010). *Diseño de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción por suelo radiante en una vivienda*. Repositorio Institucional [Tesis de licenciatura, Universidad de Cádiz]. Obtenido de <https://rodin.uca.es/handle/10498/9763?locale-attribute=es>
- Carrión, D. (2019). *Análisis y modelación de la estratificación de temperaturas en un acumulador vertical para agua caliente sanitaria. Tesis de maestría*. Universidad de las Fuerzas Armadas-Sangolquí, Sangolquí, Ecuador.

- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones*. Mc. GrawHill.
- CENSOLAR TOMO III. (2007). *Instalaciones de energía solar: Sistemas de aprovechamiento térmico I*. PROGENSA.
- Cerdán Cabrea, A. M. (2010). *Diseño de un sistema de bombeo solar-eólico para consumo de agua en cabañas turísticas en la Pitaya, Veracruz, México [Tesis de maestría, Universidad Internacional de Andalucía]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1468/0211_Cerdan.pdf?sequence=1
- Cerdán García, J. (2014). *Diseño de una instalación de ACS y calefacción por suelo radiante mediante energía solar térmica [Tesis de licenciatura, Universidad Carlos III de Madrid]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22746/PFC_juan_cerdan_garcia_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chenari, B., Ferreira, A., & Saadatiano, S. (2014). Wave Energy Systems: An Overview of Different Wave Energy Converters and Recommendation for Future Improvements. *8th International Technology, Education and Development Conference*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/264490545_WAVE_ENERGY_SYSTEMS_AN_OVERVIEW_OF_DIFFERENT_WAVE_ENERGY_CONVERTERS_AND_RECOMMENDATION_FOR_FUTURE_IMPROVEMENTS
- Connor, N. (2019). *Transferencia de calor por radiación*. Obtenido de Thermal engineering: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-transferencia-de-calor-por-radiacion-definicion/>
- Cotrina, S. (2019). *Conductividad Térmica y Permeabilidad del Mortero con sustitución del 15% de cemento por el polvo de Conchas de Abanico y Arcilla de Oquipampa-Carhuaz*. Repositorio Institucional [Tesis de licenciatura, Universidad San Pedro], Chimbote.
- Ecofener. (26 de Setiembre de 2018). *Tubos de vacío, tecnología eficaz en colectores solares*. Obtenido de <https://ecofener.com/blog/tubos-vacio-tecnologia-eficaz-colectores-solares/>
- El Peruano. (13 de Mayo de 2014). EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética. 50.
- EMBER. (2022). *Explorador de datos EMBER*. Obtenido de <https://ember-climate.org/data/data-explorer/>
- EMBER. (2022). Global Electricity Review 2022. *EMBER*, 47.

- Endesa. (17 de Diciembre de 2021). *Energía hidráulica: qué es, cómo funciona y sus ventajas*. Obtenido de <https://www.endesa.com/es>
- Eurotherm. (2017). Termocomponentes y suelo radiante. *Eurotherm*, 32.
- Fegeca. (2017). *Guía de suelo radiante*. Fenercom.
- Fernández, P. (s.f.). *Biblioteca sobre ingeniería energética*. Obtenido de https://files.redsauce.net/js/pdfjs/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Frs.m1.redsauce.net%2FAppController%2Fcommands_RSM%2Fapi%2Fapi_getFile.php%3FitemID%3D58%26propertyID%3D20%26RStoken%3D59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38
- Fuentes, F. V. (2011). Energía Geotérmica y su Implementación en Chile. 7(1), 1-9.
- Garrett, C. (25 de Marzo de 2022). *¿Cuánto CO2 absorbe un árbol?* Obtenido de Climate Consulting: <https://climate.selectra.com/es/actualidad/co2-arbol#:~:text=Aunque%20su%20capacidad%20de%20absorci%C3%B3n,a%C3%B1o%20para%206%20%C3%A1rboles%20maduros>.
- Gas, frío y calor. (2022). *Gas, frío y calor*. Obtenido de www.gasfriocalor.com/bomba-de-circulacion-wilo
- Gas, frío y calor. (2022). *Placa Solar Térmica Viessmann Vitosol SV1F*. Obtenido de <https://www.gasfriocalor.com/placa-solar-termica-viessmann-vitosol-100-fm-sv1f>
- Google Earth. (2022). *Mapa de la provincia de Cajamarca*. Obtenido de Google Earth: <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Google Maps. (2022). *Mapa de Sexemayo*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/place/7%C2%B010'12.0%22S+78%C2%B033'36.0%22W/@-7.1706745,-78.5618162,147m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0xc629d54988d368!8m2!3d-7.17!4d-78.56>
- Hijazi, H., Mokhiamar, O., & Elsamni, O. (2016). Mechanical design of a low cost parabolic solar dish concentrator. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 1-11.
- INEI. (2017). *Características de las viviendas particulares censadas*. Obtenido de INEI: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1538/parte01.pdf
- Instalaciones y eficiencia energética. (05 de Octubre de 2021). *Calefacción por suelo radiante: confort y ahorro energético*. Obtenido de <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/calefaccion-suelo-radiante/>
- Jiménez Soriano, J. (2019). *Instalación de A.C.S. con energía solar térmica para vivienda familiar*. CENSOLAR.

- Kumar, L., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. (2019). Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its future prospects: A review. *Energy Conversion and Management*, 195, 885-908.
- Lapesa. (2022). *Depósito acumuladores de INERCIA*. Obtenido de <https://lapesa.es/es/deposito-acumuladores-de-inercia>
- Lapesa. (2022). *Lapesa*. Obtenido de <https://www.lapesa.es/es>
- Leterlite. (s.f.). *Morteros de elevadas prestaciones para recrecidos y soleras de suelos radiantes*. Obtenido de <https://www.laterlite.es/aplicaciones/recrecidos-nivelados-soleras/suelo-radiante-mortero-recrecido-aislamiento/>
- Lorbada Gordón, D. (2015). *Climatización de un edificio público mediante suelo radiante/refrescante [Tesis de licenciatura, Universidad Carlos III de Madrid]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23415/TFG_David_Lorbada_Gordon.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Martinez, L. (2021). *Confort térmico en la arquitectura: la clave para sentirse a gusto*. Obtenido de Crehana: <https://www.crehana.com/pe/blog/disenografico/confort-termico-arquitectura/#definicion>
- Maugard, J. (20 de Octubre de 2015). *Biomasa: utilizando materia orgánica para crear energía*. Obtenido de <https://www.killmybill.es/biomasa-materia-organica/>
- MINEN. (s.f.). *La huella del carbono y la eficiencia energética*. Obtenido de MINEN: <http://www.minem.gob.pe/giee/secundaria/pdf/ficha-informativa-secundaria/FICHA-INFORMATIVA-2.pdf>
- Ministerio de la Presidencia-España. (29 de Agosto de 2007). *Reglamento de Instalaciones en los Edificios (RITE)*. Obtenido de http://normativaconstruccion.cype.info/rd_1027_2007/index.html?0
- Multimat. (2017). *Principios básicos de instalaciones domésticas*. Obtenido de <https://multimat.es/wp-content/uploads/2017/05/Principios-basicos-instalaciones-domestic>
- Novelec. (23 de Agosto de 2019). *Vasos de expansión: ¿qué son y para qué sirven?* Obtenido de <https://blog.gruponovelec.com/fontaneria-y-gas/vasos-de-expansion-que-son-y-para-que-sirven/>
- Ortega Rodríguez, A., & Ortega Rodríguez, M. (2000). *Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes*. Paraninfo.
- Osinergmin. (Octubre de 2014). *Generación Eléctrica con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales en el Perú*.

- Osinermin. (Noviembre de 2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú*. Obtenido de Osinermin: https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinermin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
- Pacheco, W. (2004). Piscina temperada con energía solar. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial UNMSM*, 7(2), 28-30.
- Panaroni, D., Mujica, M., Abal, M., Corujo, L., Cervini, F., Castro, A. M., & Martorelli, L. (2017). Diseño óptico de un colector cilíndrico parabólico inclinado para generación directa de vapor. *IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico-CONCYT*.
- Paul, C. G. (2013). *Energías renovables no convencionales para uso domiciliario [Tesis de licenciatura, Universidad de Chile]*. Repositorio Institucional.
- PEISA. (s.f.). *Especificaciones técnicas - Peisa ACQUA PLUS Serie Manual*. Obtenido de <https://www.manualslib.es/manual/335639/Peisa-Acqua-Plus-Serie.html>
- Peñalver Hoyos, J. T. (25 de Marzo de 2015). *Suelo radiante: el sistema de calefacción más eficiente*. Obtenido de Arquitectura & Energía : <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/suelo-radiante-el-sistema-de-calefaccion-mas-eficiente/>
- Perfect Daily Grind. (5 de Abril de 2017). *Recomendaciones para proteger el café durante el secado y almacenamiento*. Obtenido de <https://perfectdailygrind.com/es/2017/04/05/recomendaciones-para-proteger-el-cafe-durante-el-secado-y-almacenamiento/>
- Pineda Medina, J. G. (2014). *Modificación, evaluación y análisis de eficiencia del colector solar de tubos al vacío comercial [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Pereira]*. Repositorio Institucional.
- Planas, O. (04 de Febrero de 2019). *Irradiancia solar e irradiación solar: diferencias, origen y tipos*. Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar/irradiacion-solar>
- PROINCO. (2022). *Tuberías y accesorios PEX*. Obtenido de www.proinco.es
- PROMART . (2022). *PROMART*. Obtenido de <https://www.promart.pe/>
- RDE. (2022). *Colector Solar ACF Para Piscina*. Obtenido de <https://renovablesdeleste.com/producto/colector-solar-acf-para-piscina/?v=9f72f02c2586>

- RetScreen. (10 de Febrero de 2022). *Datos metereológicos de la estación Augusto Weberbauer*. Obtenido de RetScreen: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>
- Rodea, G., & Oscar, E. (2012). *Calefacción hidrónica solar por piso radiante: una alternativa eficiente para climatizar un espacio [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]*. Repositorio Institucional.
- ROWA. (2021). *Catálogo técnico ROWA*. Obtenido de <https://www.rowa.com.ar/descargas/>
- S&P. (20 de Enero de 2020). *Cálculo de cargas térmicas: conceptos básicos y métodos*. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calculo-cargas-termicas/>
- Salvador Escoda. (2022). Obtenido de <https://www.salvadorescoda.com/>
- Salvador Escoda S.A. (2017). *Libro blanco de las energías renovables*. Salvador Escoda.
- SeisCubos. (09 de Febrero de 2021). *Radiación Solar*. Obtenido de <https://www.seiscubos.com/conocimiento/radiacion-solar#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20difusa%20horizontal%20se,que%20incide%20sobre%20dicha%20superficie.>
- Senamhi. (20 de Marzo de 2020). *Pronóstico del tiempo para Cajamarca*. Obtenido de senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=pronostico-detalle
- Senamhi. (2021). *Clima / Heladas y friajes*. Obtenido de Senamhi: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=heladas-y-friajes-preguntas>
- Sistema Nacional de Información Ambiental. (2016). *Plan Multisectorial ante Heladas y Friaje 2016*. Obtenido de Ministerio del Ambiente del Perú: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-multisectorial-ante-heladas-friaje-2016>
- SODIMAC. (2022). *SODIMAC*.
- Solerpalau. (s.f.). *Los efectos y la velocidad del aire*. Obtenido de Solerpalau: <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/>
- Souza Eduardo. (04 de Julio de 2021). *¿Cómo funciona la calefacción por suelo radiante?* Obtenido de <https://www.archdaily.pe/pe/963864/como-funciona-la-calefaccion-por-suelo-radiante>
- Souza, E. (04 de Julio de 2021). *¿Cómo funciona la calefacción por suelo radiante?* Obtenido de <https://www.archdaily.pe/pe/963864/como-funciona-la-calefaccion-por-suelo-radiante>

- Suman, S., Khan, M., & Pathak, M. (2015). Performance enhancement of solar collectors a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(14), 312-322. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109001750>
- Termocan . (2011). Catálogo de productos 2011. *Termocan*, 88.
- Uponor. (2020). Technical information Uponor. *Uponor PEX piping systems*, 32.
- Uponor. (2022). *Sistema de tuberías plásticas PEX* . Obtenido de www.uponor.com/es
- Vásquez, A., Tamayo, J., & Salvador, J. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Osinergmin.
- Viessmann. (2018). Vitosol 100-FM. *Viessmann*, 6.
- Warmup. (17 de Febrero de 2021). *¿Que necesito saber sobre la calefacción por suelo radiante?* Obtenido de <https://www.warmup.es/blog/preguntas-frecuentes-sobre-la-calefaccion-por-suelo-radiante>
- Wilo. (2022). *Wilo* . Obtenido de <https://wilo.com/ar/es>
- Zapata, E. A. (2019). *Climatización de piscinas y obtención de agua caliente sanitaria, con energía solar, en Piura [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4242/IME_271.pdf?sequence=1&isAllowed=y



Apéndices



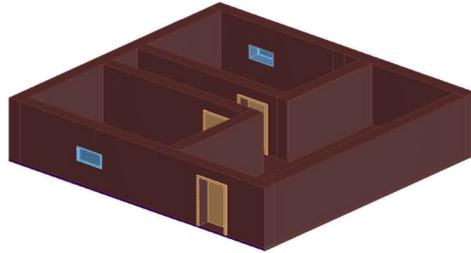


Apéndice A. Distribución de las casas del caserío de Sexemayo Lote 1

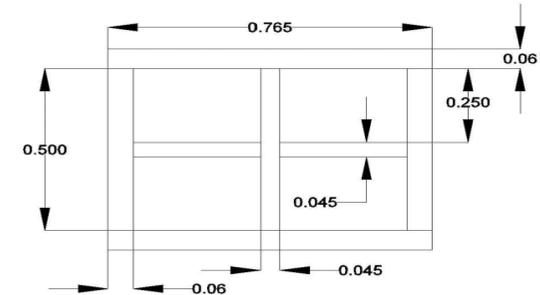


Apéndice B. Distribución y medidas de casa estudiada

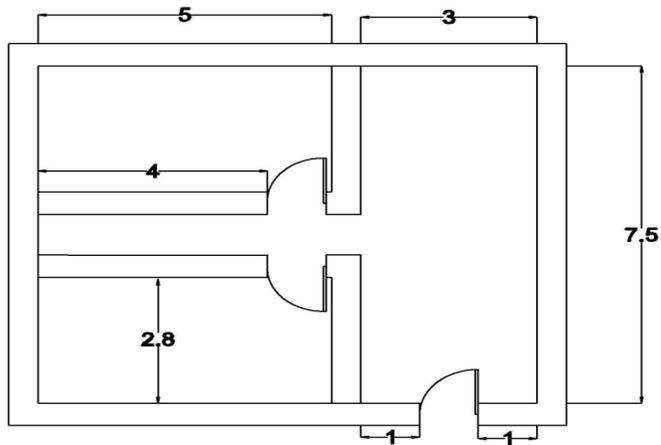
Casa estudiada por dentro en 3D



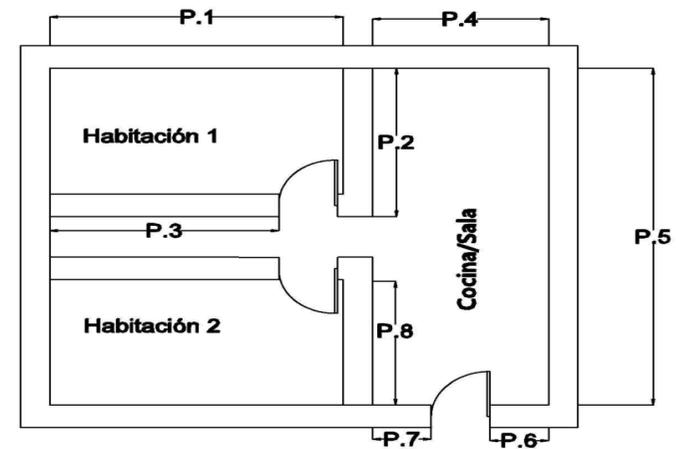
Detalle de la ventana



Plano de planta con medidas



Plano de planta con señalizaciones



Notas:

- Las medidas están en metros
- Las habitaciones 1 y 2 tienen medidas idénticas
- La letra P hace referencia a "pared"
- El ancho de las puertas es de un metro

Apéndice C. Informe completo del cálculo térmico mediante el software Revit

Resumen del proyecto

Ubicación y clima	
Proyecto	Nombre de proyecto
Dirección	
Tiempo de cálculo	martes, 11 de octubre de 2022 10:29
Tipo de informe	Estándar
Latitud	-7.17°
Longitud	-78.56°
Temp. seca verano	20 °C
Temp. húmeda verano	10 °C
Temp. seca invierno	5 °C
Oscilación media diaria	10 °C

Resumen de construcción

Entradas	
Tipo de edificio	Unifamiliar
Área (m ²)	50
Volumen (m ³)	125.00
Resultados calculados	
Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	0
Valor máximo de refrigeración (mes y hora)	Abril 05:00
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	0
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	0
Capacidad máxima de refrigeración (W)	-240
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	22.4
Valor máximo de carga de calefacción (W)	2,877
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	148.8
Sumas de comprobación	
Densidad de la carga de refrigeración (W/m ²)	0.00
Densidad del flujo de refrigeración (L/(s·m ²))	0.45
Flujo/carga de refrigeración (L/(s·kW))	0.00
Área/carga de refrigeración (m ² /kW)	0.00
Densidad de la carga de calefacción (W/m ²)	57.54
Densidad del flujo de calefacción (L/(s·m ²))	2.98

Resumen de zona - Por defecto

Entradas	
Área (m ²)	50
Volumen (m ³)	125.00
Posición de ajuste de refrigeración	23 °C
Posición de ajuste de calefacción	18 °C
Temperatura de suministro de aire	12 °C
Número de personas	1
Infiltración (L/s)	10.6
Tipo de cálculo de volumen de aire	Calefacción central: suelo radiante
Humedad relativa	- (Calculated)
Psicometría	
Mensaje psicométrico	No spaces were cooled in this zone.
Serpentín de refrigeración ingresando en el intervalo de temperatura seca	-
Serpentín de refrigeración ingresando en el intervalo de temperatura húmeda	-
Serpentín de refrigeración abandonando el intervalo de temperatura seca	-
Serpentín de refrigeración abandonando el intervalo de temperatura húmeda	-
Temperatura seca de mezcla de aire	-
Resultados calculados	
Valor máximo de carga de refrigeración	-
Valor máximo de refrigeración (mes y hora)	-
Valor máximo de carga sensible de refrigeración	-
Valor máximo de carga latente de refrigeración	-
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración	-
Valor máximo de carga de calefacción (W)	2,877
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	148.8
Valor máximo de flujo de aire de ventilación	-
Sumas de comprobación	
Densidad de la carga de refrigeración	-
Densidad del flujo de refrigeración	-
Flujo/carga de refrigeración	-
Área/carga de refrigeración	-
Densidad de la carga de calefacción (W/m ²)	57.54
Densidad del flujo de calefacción (L/(s·m ²))	2.98
Densidad de ventilación	-
Ventilación/persona	-
Flujo de calefacción hidrónico	0.981701

Componentes	Refrigeración		Calefacción	
	Cargas (W)	Porcentaje del total	Cargas (W)	Porcentaje del total
Muro	0		1,487	51.68%
Ventana	0		65	2.26%
Puerta	0		251	8.72%
Cubierta	0		553	19.21%
Claraboya	0		0	0.00%
Partición	0		0	0.00%
Infiltración	0		167	5.81%
Ventilación	-		355	12.32%
Iluminación	0			
Potencia	0			
Personas	0			
Plénium	-			
Calor del ventilador	-			
Recalentamiento	-			
Total	-		2,877	100%

Resumen del espacio - 1 Habitación 1

Entradas	
Área (m ²)	14
Volumen (m ³)	34.38
Área de muro (m ²)	36
Área de cubierta (m ²)	18
Área de puerta (m ²)	2
Área de partición (m ²)	0
Área de ventana (m ²)	0
Área de claraboya (m ²)	0
Carga de iluminación (W)	148
Carga de potencia (W)	148
Número de personas	1
Incremento de calor sensible/persona (W)	73
Incremento de calor latente/persona (W)	59
Flujo de aire de infiltración (L/s)	3.4
Tipo de espacio	Unifamiliar (heredado de tipo de construcción)
Resultados calculados	
Mensaje psicométrico	The zone this space belongs to had a psychrometric error
Valor máximo de carga de refrigeración (W)	0
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	0
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	0
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración	-
Valor máximo de carga de calefacción (W)	808
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	47.7

Componentes	Refrigeración		Calefacción	
	Cargas (W)	Porcentaje del total	Cargas (W)	Porcentaje del total
Muro	0	0.00%	481	59.60%
Ventana	0	0.00%	32	4.02%
Puerta	0	0.00%	84	10.36%
Cubierta	0	0.00%	156	19.29%
Claraboya	0	0.00%	0	0.00%
Partición	0	0.00%	0	0.00%
Infiltración	0	0.00%	54	6.74%
Iluminación	0	0.00%		
Potencia	0	0.00%		
Personas	0	0.00%		
Plénium	0	0.00%		
Total	0	100%	808	100%

Resumen del espacio - 2 Habitación 2

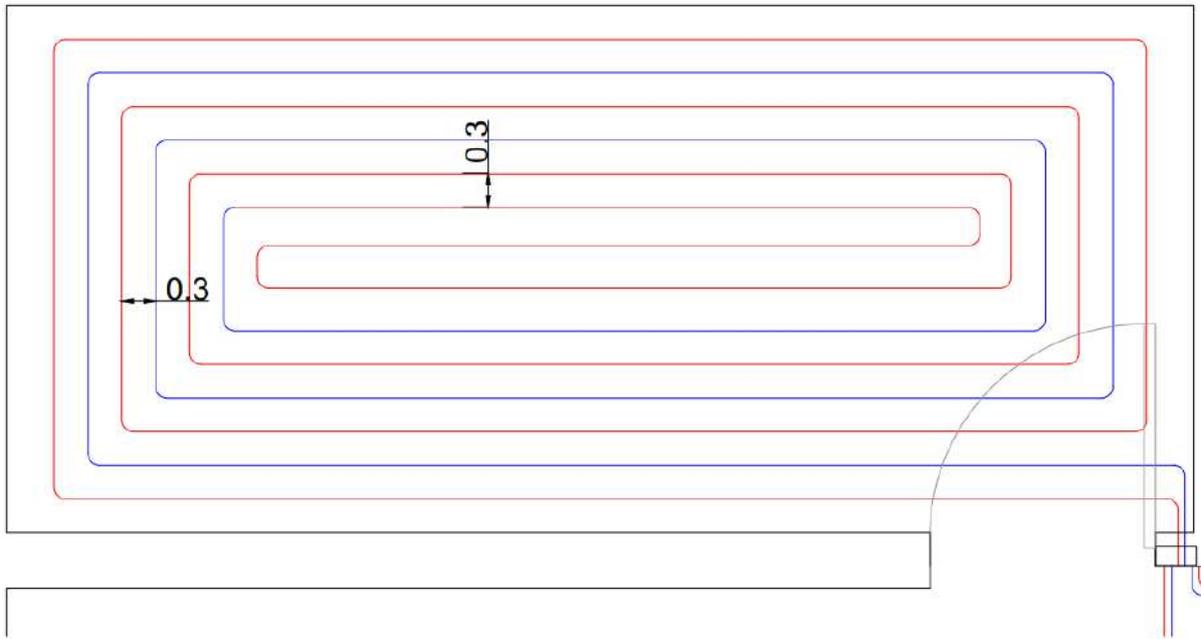
Entradas	
Área (m ²)	14
Volumen (m ³)	34.38
Área de muro (m ²)	36
Área de cubierta (m ²)	18
Área de puerta (m ²)	2
Área de partición (m ²)	0
Área de ventana (m ²)	0
Área de claraboya (m ²)	0
Carga de iluminación (W)	148
Carga de potencia (W)	148
Número de personas	1
Incremento de calor sensible/persona (W)	73
Incremento de calor latente/persona (W)	59
Flujo de aire de infiltración (L/s)	3.4
Tipo de espacio	Unifamiliar (heredado de tipo de construcción)
Resultados calculados	
Mensaje psicrométrico	The zone this space belongs to had a psychrometric error
Valor máximo de carga de refrigeración (W)	0
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	0
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	0
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración	-
Valor máximo de carga de calefacción (W)	808
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	47.7

Componentes	Refrigeración		Calefacción	
	Cargas (W)	Porcentaje del total	Cargas (W)	Porcentaje del total
Muro	0	0.00%	481	59.60%
Ventana	0	0.00%	32	4.02%
Puerta	0	0.00%	84	10.36%
Cubierta	0	0.00%	156	19.29%
Claraboya	0	0.00%	0	0.00%
Partición	0	0.00%	0	0.00%
Infiltración	0	0.00%	54	6.74%
Iluminación	0	0.00%		
Potencia	0	0.00%		
Personas	0	0.00%		
Plénium	0	0.00%		
Total	0	100%	808	100%

Resumen del espacio - 3 Cocina / Sala

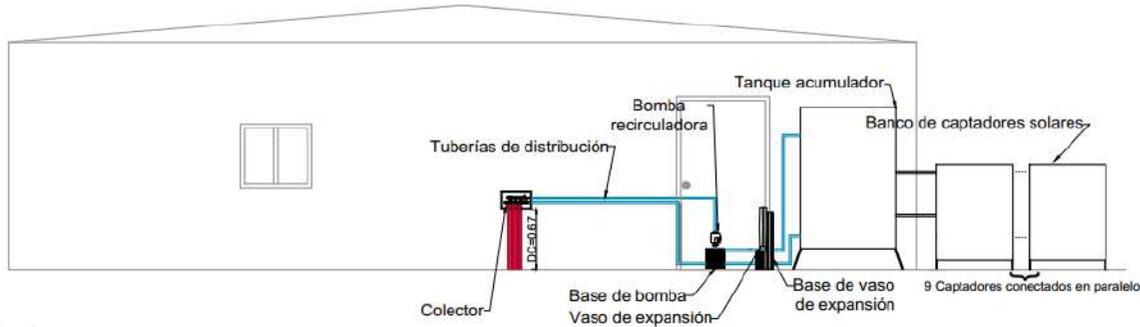
Entradas	
Área (m ²)	22
Volumen (m ³)	56.25
Área de muro (m ²)	38
Área de cubierta (m ²)	28
Área de puerta (m ²)	2
Área de partición (m ²)	0
Área de ventana (m ²)	0
Área de claraboya (m ²)	0
Carga de iluminación (W)	242
Carga de potencia (W)	242
Número de personas	1
Incremento de calor sensible/persona (W)	73
Incremento de calor latente/persona (W)	59
Flujo de aire de infiltración (L/s)	3.7
Tipo de espacio	Unifamiliar (heredado de tipo de construcción)
Resultados calculados	
Mensaje psicrométrico	The zone this space belongs to had a psychrometric error
Valor máximo de carga de refrigeración (W)	0
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	0
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	0
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración	-
Valor máximo de carga de calefacción (W)	907
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	53.5

Componentes	Refrigeración		Calefacción	
	Cargas (W)	Porcentaje del total	Cargas (W)	Porcentaje del total
Muro	0	0.00%	524	57.78%
Ventana	0	0.00%	0	0.00%
Puerta	0	0.00%	84	9.23%
Cubierta	0	0.00%	241	26.57%
Claraboya	0	0.00%	0	0.00%
Partición	0	0.00%	0	0.00%
Infiltración	0	0.00%	58	6.42%
Iluminación	0	0.00%		
Potencia	0	0.00%		
Personas	0	0.00%		
Plenum	0	0.00%		
Total	0	100%	907	100%

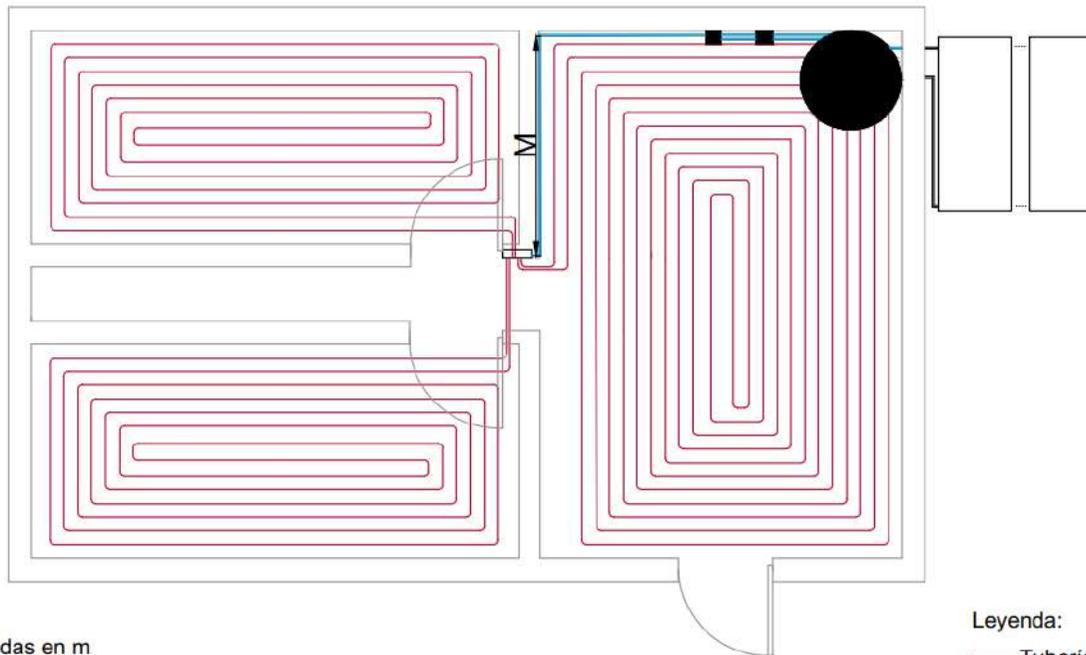
Apéndice D. Distancia entre las tuberías PEX

Apéndice E. Distribución y metrado de una instalación de suelo radiante por energía solar

Vista frontal



Vista de planta

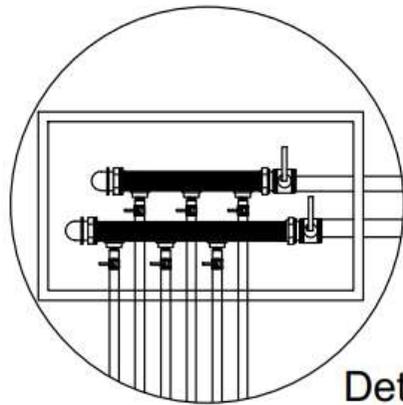


Notas:

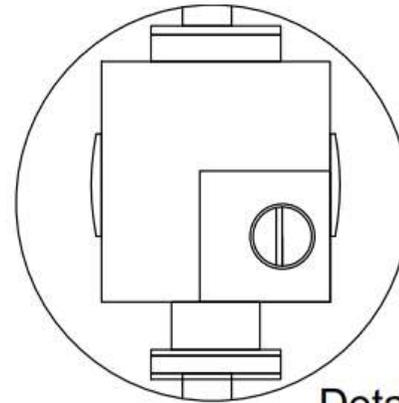
1. Medidas en m
2. M=2.4m
3. Los captadores se conectan en paralelo

Leyenda:

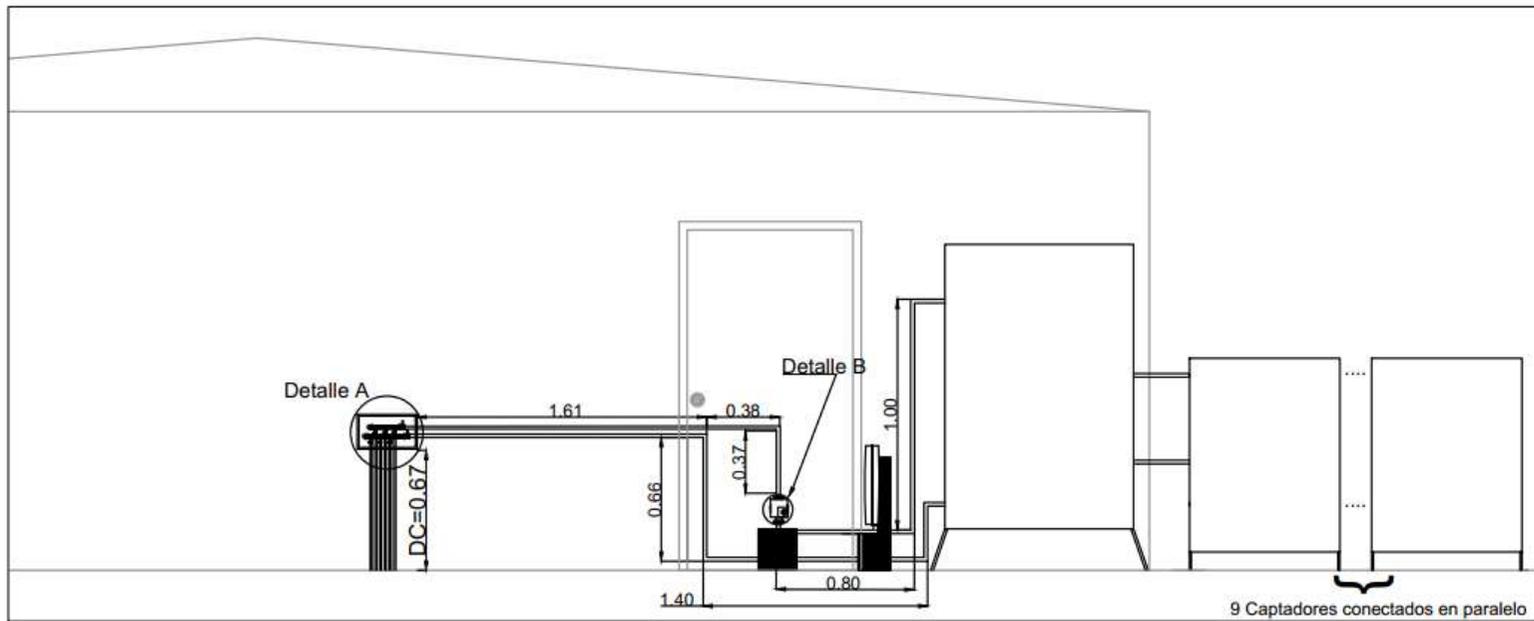
- Tuberías PEX (embebidas)
- Tuberías de distribución



Detalle A



Detalle B



Nota:

1. Medidas en m
2. DC=0.67m
3. Detalle A: Colector
4. Detalle B: Bomba recirculadora

Apéndice F. Captador Viessmann: Eficiencia anual/ número de captadores

Se aplica la ecuación (36).

Se tiene que η_0 es 0.821, k_1 es 4.854, k_2 es 0.023 (ver anexo E). T_{AC} es 45°C. T_{amb} se obtiene de la figura 28 y I se obtiene la tabla 16.

Mes de enero:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 15.9}{681.16} \right) - 0.023 \frac{(45 - 15.9)^2}{681.16} \right\}$$

$$\eta = 53.58$$

Mes de Febrero:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 15.9}{552.6} \right) - 0.023 \frac{(45 - 15.9)^2}{552.6} \right\}$$

$$\eta = 48.09$$

Mes de marzo:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 16.1}{549.42} \right) - 0.023 \frac{(45 - 16.1)^2}{549.42} \right\}$$

$$\eta = 48.14$$

Mes de abril:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 16.3}{510.9} \right) - 0.023 \frac{(45 - 16.3)^2}{510.9} \right\}$$

$$\eta = 46.20$$

Mes de mayo:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 16.4}{490.37} \right) - 0.023 \frac{(45 - 16.4)^2}{490.37} \right\}$$

$$\eta = 45.03$$

Mes de junio:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 16}{493.32} \right) - 0.023 \frac{(45 - 16)^2}{493.32} \right\}$$

$$\eta = 44.72$$

Mes de julio:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 15.9}{462.37} \right) - 0.023 \frac{(45 - 15.9)^2}{462.37} \right\}$$

$$\eta = 42.41$$

Mes de agosto:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 16.7}{480.43} \right) - 0.023 \frac{(45 - 16.7)^2}{480.43} \right\}$$

$$\eta = 44.75$$

Mes de setiembre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 17.3}{522.34} \right) - 0.023 \frac{(45 - 17.3)^2}{522.34} \right\}$$

$$\eta = 48.05$$

Mes de octubre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 16.6}{584.69} \right) - 0.023 \frac{(45 - 16.6)^2}{584.69} \right\}$$

$$\eta = 50.42$$

Mes de noviembre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 16}{667.51} \right) - 0.023 \frac{(45 - 16)^2}{667.51} \right\}$$

$$\eta = 53.19$$

Mes de diciembre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.821) - 4.854 \left(\frac{45 - 16}{674.48} \right) - 0.023 \frac{(45 - 16)^2}{674.48} \right\}$$

$$\eta = 53.44$$

Número de captadores

Como se indica en la descripción del cálculo, luego del rendimiento se debe hallar el aporte solar, energía solar neta mensual, área de captación y por último determinar el número de captadores.

Mes/ días	$A_s = I_c \cdot \eta$	A_s	$E_s = F_{ap} \cdot A_s$	E_s (diario)	E_s (mensual)
Enero/31	21.46*53.58/100	11.50	(1-0.15)*11.50	9.77	302.90
Febrero/28	18.40*48.09/100	8.85	(1-0.15)*8.85	7.52	210.60
Marzo/31	18.79*48.14/100	9.05	(1-0.15)*9.05	7.69	238.40
Abril/30	17.01*46.20/100	7.86	(1-0.15)*7.86	6.68	200.40
Mayo/ 31	15.45*45.03/100	6.96	(1-0.15)*6.96	5.91	183.30
Junio/30	15.10*44.72/100	6.75	(1-0.15)*6.75	5.74	172.20
Julio/31	14.56*42.41/100	6.18	(1-0.15)*6.18	5.25	162.75
Agosto/31	16.00*44.75/100	7.16	(1-0.15)*7.16	6.08	188.50
Setiembre/30	17.86*48.05/100	8.58	(1-0.15)*8.58	7.30	219.00
Octubre/31	19.47*50.42/100	9.82	(1-0.15)*9.82	8.34	258.54
Noviembre/30	21.03*53.19/100	11.18	(1-0.15)*11.18	9.51	285.30
Diciembre/31	20.64*53.44/100	11.03	(1-0.15)*11.03	9.37	290.47

Suma de la energía solar neta mensual: 2712.40

$$\text{Área de captación} = \frac{55938}{2712.4} = 20.62$$

$$\text{Número de captadores} = \frac{20.62}{2.31} = 9$$

Apéndice G. Captador Termocan Neo: Eficiencia anual/ número de captadores

Se aplica la ecuación (36).

Se tiene que η_0 es 0.757, k_1 es 3.994, k_2 es 0.009 (ver anexo F). T_{AC} es 45°C. T_{amb} se obtiene de la figura 28 y I se obtiene la tabla 16.

Mes de enero:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 15.9}{681.16} \right) - 0.009 \frac{(45 - 15.9)^2}{681.16} \right\}$$

$$\eta = 52.98$$

Mes de Febrero:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 15.9}{552.6} \right) - 0.009 \frac{(45 - 15.9)^2}{552.6} \right\}$$

$$\eta = 48.75$$

Mes de marzo:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 16.1}{549.42} \right) - 0.009 \frac{(45 - 16.1)^2}{549.42} \right\}$$

$$\eta = 48.78$$

Mes de abril:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 16.3}{510.9} \right) - 0.009 \frac{(45 - 16.3)^2}{510.9} \right\}$$

$$\eta = 47.27$$

Mes de mayo:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 16.4}{490.37} \right) - 0.009 \frac{(45 - 16.4)^2}{490.37} \right\}$$

$$\eta = 46.36$$

Mes de junio:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 16}{493.32} \right) - 0.009 \frac{(45 - 16)^2}{493.32} \right\}$$

$$\eta = 46.14$$

Mes de julio:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 15.9}{462.37} \right) - 0.009 \frac{(45 - 15.9)^2}{462.37} \right\}$$

$$\eta = 44.37$$

Mes de agosto:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 16.7}{480.43} \right) - 0.009 \frac{(45 - 16.7)^2}{480.43} \right\}$$

$$\eta = 46.13$$

Mes de setiembre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 17.3}{522.34} \right) - 0.009 \frac{(45 - 17.3)^2}{522.34} \right\}$$

$$\eta = 48.66$$

Mes de octubre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 16.6}{584.69} \right) - 0.009 \frac{(45 - 16.6)^2}{584.69} \right\}$$

$$\eta = 50.52$$

Mes de noviembre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 16}{667.51} \right) - 0.009 \frac{(45 - 16)^2}{667.51} \right\}$$

$$\eta = 52.67$$

Mes de diciembre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.757) - 3.994 \left(\frac{45 - 16}{674.48} \right) - 0.009 \frac{(45 - 16)^2}{674.48} \right\}$$

$$\eta = 52.86$$

Número de captadores

Como se indica en la descripción del cálculo, luego del rendimiento se debe hallar el aporte solar, energía solar neta mensual, área de captación y por último determinar el número de captadores.

Mes/ días	$A_s = I_c \cdot \eta$	A_s	$E_s = F_{ap} \cdot A_s$	E_s (diario)	E_s (mensual)
Enero/31	21.46*52.98/100	11.37	(1-0.15)*11.37	9.66	299.51
Febrero/28	18.40*48.75/100	8.97	(1-0.15)*8.97	7.62	213.49
Marzo/31	18.79*48.78/100	9.17	(1-0.15)*9.17	7.79	241.52
Abril/30	17.01*47.27/100	8.04	(1-0.15)*8.04	6.84	205.07
Mayo/ 31	15.45*46.36/100	7.16	(1-0.15)*7.16	6.09	188.70
Junio/30	15.10*46.14/100	6.97	(1-0.15)*6.97	5.92	177.63
Julio/31	14.56*44.37/100	6.46	(1-0.15)*6.46	5.49	170.29
Agosto/31	16.00*46.13/100	7.38	(1-0.15)*7.38	6.27	194.46
Setiembre/30	17.86*48.66/100	8.69	(1-0.15)*8.69	7.39	221.64
Octubre/31	19.47*50.52/100	9.84	(1-0.15)*9.84	8.36	259.17
Noviembre/30	21.03*52.67/100	11.08	(1-0.15)*11.08	9.41	282.41
Diciembre/31	20.64*52.86/100	10.91	(1-0.15)*10.91	9.27	287.49

Suma de la energía solar neta mensual: 2712.40

$$\text{Área de captación} = \frac{55938}{2741.4} = 20.41$$

$$\text{Número de captadores} = \frac{20.41}{1.77} = 12$$

Apéndice H. Captador Slim Vertical: Eficiencia anual/ número de captadores

Se aplica la ecuación (36).

Se tiene que η_0 es 0.755, k_1 es 3.726, k_2 es 0.016 (ver anexo G). T_{AC} es 45°C. T_{amb} se obtiene de la figura 28 y I se obtiene la tabla 16.

Mes de enero:

$$\eta = 100 \cdot \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 15.9}{681.16} \right) - 0.016 \frac{(45 - 15.9)^2}{681.16} \right\}$$

$$\eta = 53.06$$

Mes de Febrero:

$$\eta = 100 \cdot \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 15.9}{552.6} \right) - 0.016 \frac{(45 - 15.9)^2}{552.6} \right\}$$

$$\eta = 48.90$$

Mes de marzo:

$$\eta = 100 \cdot \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 16.1}{549.42} \right) - 0.016 \frac{(45 - 16.1)^2}{549.42} \right\}$$

$$\eta = 48.94$$

Mes de abril:

$$\eta = 100 \cdot \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 16.3}{510.9} \right) - 0.016 \frac{(45 - 16.3)^2}{510.9} \right\}$$

$$\eta = 47.46$$

Mes de mayo:

$$\eta = 100 \cdot \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 16.4}{490.37} \right) - 0.016 \frac{(45 - 16.4)^2}{490.37} \right\}$$

$$\eta = 46.57$$

Mes de junio:

$$\eta = 100 \cdot \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 16}{493.32} \right) - 0.016 \frac{(45 - 16)^2}{493.32} \right\}$$

$$\eta = 46.34$$

Mes de julio:

$$\eta = 100 \cdot \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 15.9}{462.37} \right) - 0.016 \frac{(45 - 15.9)^2}{462.37} \right\}$$

$$\eta = 44.59$$

Mes de agosto:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 16.7}{480.43} \right) - 0.016 \frac{(45 - 16.7)^2}{480.43} \right\}$$

$$\eta = 46.35$$

Mes de setiembre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 17.3}{522.34} \right) - 0.016 \frac{(45 - 17.3)^2}{522.34} \right\}$$

$$\eta = 48.86$$

Mes de octubre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 16.6}{584.69} \right) - 0.016 \frac{(45 - 16.6)^2}{584.69} \right\}$$

$$\eta = 50.66$$

Mes de noviembre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 16}{667.51} \right) - 0.016 \frac{(45 - 16)^2}{667.51} \right\}$$

$$\eta = 52.77$$

Mes de diciembre:

$$\eta = 100. \left\{ 0.94(0.755) - 3.726 \left(\frac{45 - 16}{674.48} \right) - 0.016 \frac{(45 - 16)^2}{674.48} \right\}$$

$$\eta = 52.95$$

Número de captadores

Como se indica en la descripción del cálculo, luego del rendimiento se debe hallar el aporte solar, energía solar neta mensual, área de captación y por último determinar el número de captadores.

Mes/ días	$A_s = I_c \cdot \eta$	A_s	$E_s = F_{ap} \cdot A_s$	E_s (diario)	E_s (mensual)
Enero/31	21.46*53.06/100	11.39	(1-0.15)*11.39	9.68	300.00
Febrero/28	18.40*48.90/100	9.00	(1-0.15)*9.00	7.65	214.15
Marzo/31	18.79*48.94/100	9.20	(1-0.15)*9.20	7.82	242.30
Abril/30	17.01*47.46/100	8.07	(1-0.15)*8.07	6.86	205.89
Mayo/ 31	15.45*46.57/100	7.19	(1-0.15)*7.19	6.11	189.55
Junio/30	15.10*46.34/100	7.00	(1-0.15)*7.00	5.95	178.37
Julio/31	14.56*44.59/100	6.49	(1-0.15)*6.49	5.52	171.13
Agosto/31	16.00*46.35/100	7.42	(1-0.15)*7.42	6.30	195.41
Setiembre/30	17.86*48.86/100	8.73	(1-0.15)*8.73	7.42	222.58
Octubre/31	19.47*50.66/100	9.86	(1-0.15)*9.86	8.38	259.93
Noviembre/30	21.03*52.77/100	11.09	(1-0.15)*11.09	9.43	282.92
Diciembre/31	20.64*52.95/100	10.93	(1-0.15)*10.93	9.29	287.99

Suma de la energía solar neta mensual: 2712.40

$$\text{Área de captación} = \frac{55938}{2750.21} = 20.34$$

$$\text{Número de captadores} = \frac{20.34}{2.31} = 12$$

Apéndice I. Precio de productos importados situados en Sexemayo (calefacción solar)

- El precio de los productos a importar serán los siguientes:

Nombre del equipo	Cantidad	Precio en España ¹² (€)	Precio total 1 (€)
Captadores solares	9	563.2	5,068.80
Tanque de acumulación	1	2,881	2,881.00
Tubería PEX	2	220	440.00
Bomba de recirculación	1	255.31	255.31
Lámina de polietileno	1	54.91	54.91
Válvula de seguridad	1	28.10	28.10
Vaso de expansión	1	44.52	44.52
Mortero Weberfloor	20	18.42	368.47
Total			9,141.11

- Todos los productos serán importados desde Madrid.
- El precio del flete y seguros de Madrid al Callao se obtienen de la cotización automática de la empresa IContainers: €1023.78, ver anexo P.
- La suma del **precio total** de los equipos, el precio del flete y los seguros se le debe aplicar el gasto de desaduanaje, de acuerdo a las partidas arancelarias de cada equipo:
- Según las partidas arancelarias, todos los equipos deben pagar el 16% de impuesto general a las ventas (IGV) y 2% de impuesto de promoción municipal (IPM).

Nombre del equipo	Partida arancelaria
Captadores solares	8419120000
Tanque de acumulación	7309000000
Tubería PEX	3917920000
Bomba de recirculación	8413704000
Mortero	8474803000
Válvula de seguridad	8481400000
Vaso de expansión	7308000000

¹² Los precios de los equipos en España fueron obtenidos de los anexos E, H, J, K, L. y M.

- Además, a dicho precio se le debe agregar el transporte del Callao a Cajamarca y de Cajamarca a Sexemayo. Se cotizó con la empresa de transportes Marín, este precio es de S/.940, ver anexo Q.
- El precio de los equipos en Sexemayo es:

Nombre del equipo	Cantidad	Precio unitario en Sexemayo (S/)	Precio total (S/)
Captadores solares	9	2,909.87	26,188.9
Tanque de acumulación	1	14,935.6	14,935.6
Tubería PEX	2	1,190.0	2,380.1
Bomba de recirculación	1	1,429.9	1,429.9
Lámina de polietileno	1	399.1	399.1
Mortero Weberfloor	20	100.6	2011.7
Válvula de seguridad	1	261.2	261.2
Vaso de expansión	1	345.7	345.7
Total			47,952.0

Apéndice J. Precio de productos importados situados en Sexemayo (calefacción eléctrica)

El precio de los productos a importar serán los siguientes:

Nombre del equipo	Cantidad	Precio en España ¹³ (€)	Precio total 1 (€)
Caldera eléctrica	1	1,445.9	1,445.90
Tanque de acumulación	1	2881	2,881.00
Tubería PEX	2	220	440.00
Bomba de recirculación	1	255.31	255.31
Lámina de polietileno	1	54.91	54.91
Mortero Weberfloor	20	18.42	368.47
Válvula de seguridad	1	28.1	28.10
Vaso de expansión	1	44.52	44.52
Total			5,518.21

- Todos los productos serán importados desde Madrid.
- El precio del flete y seguros de Madrid al Callao se obtienen de la cotización automática de la empresa IContainers: €885, ver anexo P.
- La suma del **precio total 1** de los equipos, el precio del flete y los seguros se le debe aplicar el gasto de desaduanaje, de acuerdo a las partidas arancelarias de cada equipo:
- Según las partidas arancelarias, todos los equipos deben pagar el 16% de impuesto general a las ventas (IGV) y 2% de impuesto de promoción municipal (IPM).

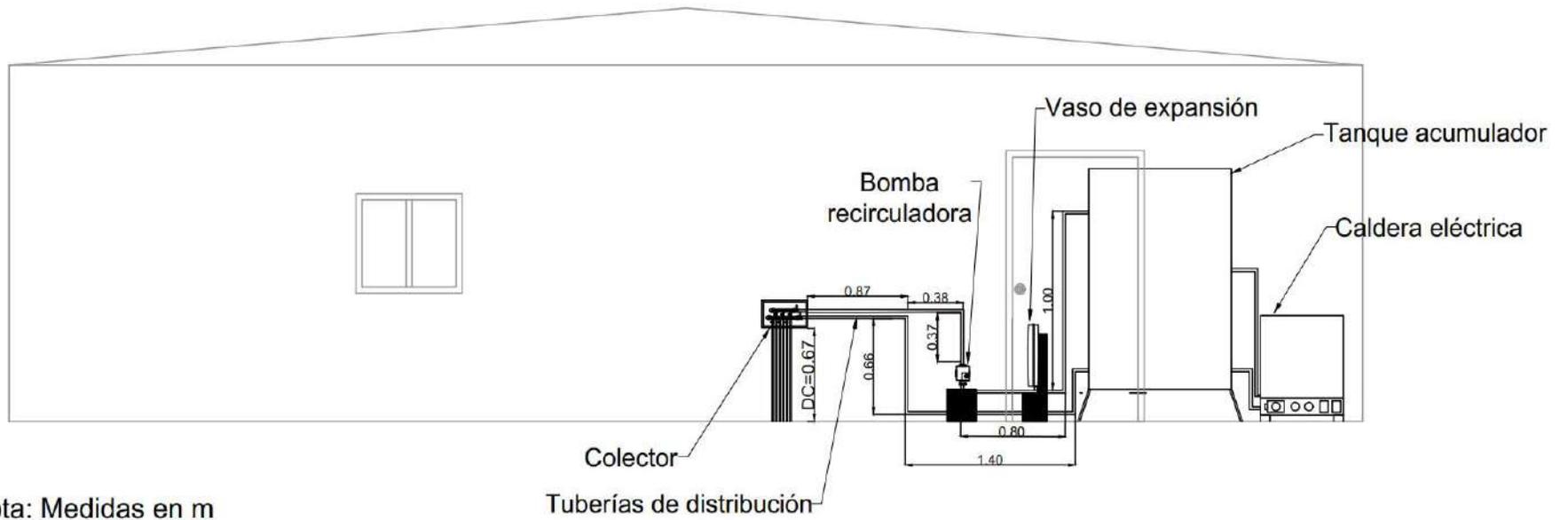
Nombre del equipo	Partida arancelaria
Caldera eléctrica	8403100000
Tanque de acumulación	7309000000
Tubería PEX	3917920000
Bomba de recirculación	8413704000
Válvula de seguridad	8481400000
Vaso de expansión	7308000000

¹³ Los precios de los equipos en España fueron obtenidos de los anexos H, J, K, L, N y Ñ.

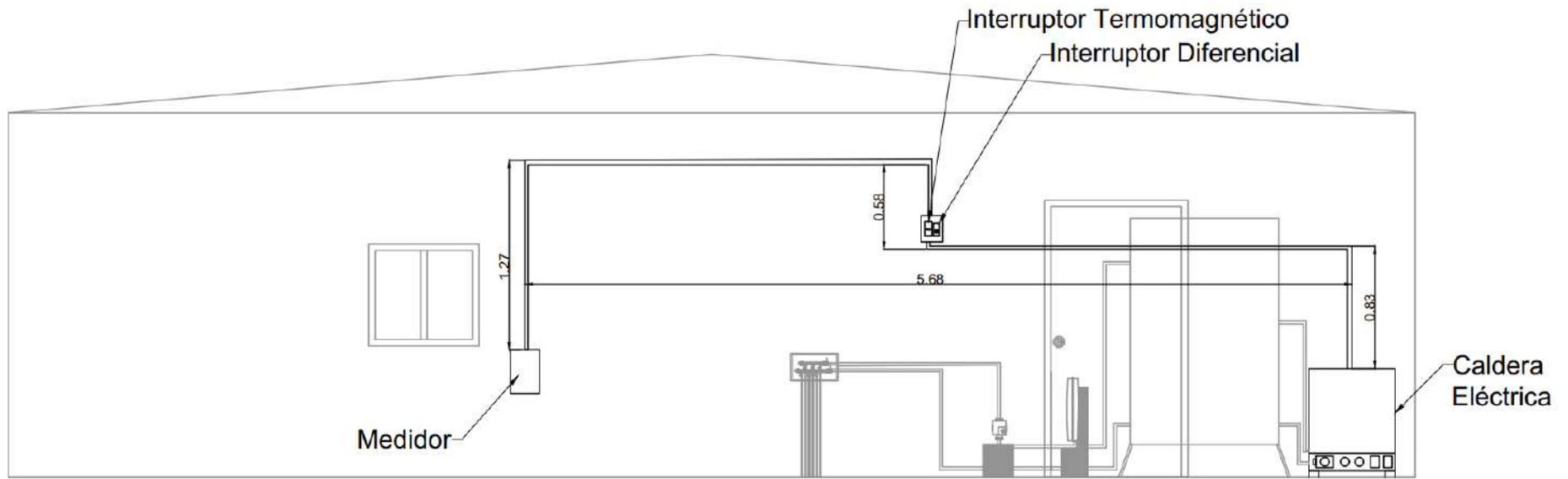
- Además, a dicho precio se le debe agregar el transporte del Callao a Cajamarca y de Cajamarca a Sexemayo. Se cotizó con la empresa de transportes Marín, este precio es de S/.940 (ver anexo Q).
- El precio de los equipos en Sexemayo es:

Nombre del equipo	Cantidad	Precio unitario en Sexemayo (S/)	Precio total (S/)
Caldera eléctrica	1	7,855.5	7,855.50
Tanque de acumulación	1	15,580.3	15,580.30
Tubería PEX	2	1,239.17	2,478.30
Bomba de recirculación	1	1,487.0	1,487.00
Lámina de polietileno	1	411.4	411.40
Mortero Weberfloor	20	104.7	2094.00
Válvula de seguridad	1	267.5	267.50
Vaso de expansión	1	355.6	355.60
Total			30551.80

Apéndice K. Arreglo hidráulico de una instalación por suelo radiante con caldera eléctrica



Apéndice L. Arreglo eléctrico de una instalación por suelo radiante con caldera eléctrica



Nota: Medidas en m



Anexos





Anexo A. Transmitancias térmicas y resistencias de la tierra, teja de arcilla, vidrio y pino

523108  **NORMAS LEGALES** El Peruano
Martes 13 de mayo de 2014

ANEXO N° 3: Lista de características higrométricas de los materiales de construcción

N°	Material	Densidad ρ (kg / m ³)	Coefficiente de Transmisión Térmica o de Conductividad térmica k (W / m K)	Transmitancia térmica U (W/m ² K)	Calor Específico C_p (J / kg °C)	Factor de Resistencia a la difusión de vapor de agua μ (adimensional)
ROCAS Y SUELOS						
Rocas o suelos sedimentarios						
1	Gravas y arenas (arena fina, arena gruesa, etc.)	1700 - 2200	2.00	---	910 - 1180	50
2	Arcilla o limo	1200 - 1800	1.50	---	1670 - 2300	30
3	Arcilla refractaria	2000	0.46	---	879	---
4	Caliza muy dura	2200 - 2590	2.30	---	1000	200
5	Caliza media dura	1800 - 1990	1.40	---	1000	40
6	Caliza muy blanda	≤ 1590	0.85	---	1000	20
7	Piedra canto rodado de 10 cm	---	3.50	---	---	---
Rocas ígneas						
8	Basalto	2700 - 3000	3.50	---	1000	10000
9	Granito	2500 - 2700	2.80	---	1000	10000
10	Piedra pómez	≤ 400	0.12	---	1000	6
11	Roca natural porosa (por ej. lava)	≤ 1600	0.55	---	1000	15
Rocas metamórficas						
12	Pizarra	2000 - 2800	2.20	---	1000	800
13	Mármol	2600 - 2800	3.50	---	1000	10000
Tierra						
14	Tierra	≤ 2050	0.52	---	1840	---

REVESTIMIENTOS HOMOGENEOS PARA PISOS, TECHOS Y MUROS						
78	Alfombra de materiales sintéticos	160	0.060	---	2500	---
79	Baldosa cerámica	2000	1.000	---	800	30
80	Teja de arcilla	2000	1.000	---	800	30
81	Teja cerámica-porcelana	2300	1.300	---	840	---

VIDRIOS						
Vidrio crudo						
119	Incoloro de 6 mm	---	---	5.700	---	---
120	Incoloro de 8 mm	---	---	5.600	---	---
121	Incoloro de 10 mm	---	---	5.600	---	---

46	Coníferas densas: Pino Oregón, Ciprés, Alerce	520 - 610	0.180	---	1600	20
47	Coníferas muy densas	≥ 610	0.230	---	1600	20
48	Balsa	≤ 200	0.057	---	1600	20

Nota. Adaptado de El Peruano (2014).

Anexo B. Resistencia superficial externa e interna de paredes, techo y suelo, y cámara de aire.

✓ Resistencia superficial externa e interna de las paredes

3. Muros: Calcular la transmitancia térmica de muros Tipo 1A, que separan el interior de la edificación con el ambiente exterior

3.1 Procedimiento para hallar las resistencias superficiales

a) En la celda ubicada en la intersección de la columna "RST/RSA" y de la fila "Resistencia Superficial Externa (R_{se})", se coloca el siguiente valor: 0,11 W/m²K.

b) En la celda ubicada en la intersección de la columna "RST/RSA" y de la fila "Resistencia Superficial Interna (R_{si})", el siguiente valor: 0,06 W/m²K.

3.2 Procedimiento para el cálculo de las transmitancias térmicas en caso de muros tipo 1A.

✓ Resistencia superficial externa e interna del piso

• 0,09 W/m²K ⇒ cuando el flujo de calor es ascendente (o sea, cuando el calor tiende a salir del ambiente interior al ambiente exterior). Este valor se aplicará para las Zonas Bioclimáticas 4, 5 y 6.

• 0,17 W/m²K ⇒ cuando el flujo de calor es descendente (o sea, cuando el calor tiende a entrar al ambiente interior desde el ambiente exterior). Este valor se aplicará para las Zonas Bioclimáticas 1, 2, 3, 7, 8 y 9.

b) En la celda ubicada en la intersección de la columna "U_p" y de la fila "Resistencia Superficial Interna (R_{si})", se coloca lo siguiente:

• 0,09 W/m²K ⇒ cuando el flujo de calor es ascendente (o sea, cuando el calor tiende a salir del ambiente interior al ambiente exterior). Este valor se aplicará para las Zonas Bioclimáticas 4, 5 y 6.

• 0,17 W/m²K ⇒ cuando el flujo de calor es descendente (o sea, cuando el calor tiende a entrar al ambiente interior desde el ambiente exterior). Este valor se aplicará para las Zonas Bioclimáticas 1, 2, 3, 7, 8 y 9.

✓ Resistencia superficial externa e interna del techo

4. Techos inclinados (Tipo 3A), techos horizontales y curvos (Tipo 3B) y Pisos Enterrados (Tipo 3C): Calcular envolvente tipo 3A, 3B y 3C con o sin cámara de aire, que separan el interior del ambiente exterior (Ver definición en el Capítulo 5. Glosario, numeral 5.29. Envolvente). Nota: En este caso los techos horizontales pueden incluir a las "Azoteas".

El usuario deberá seguir el procedimiento del Paso 4, numeral 3. Donde se lea S_x , U_x o $S_x \times U_x$, deberá entenderse que para este paso corresponde a las celdas S_x , U_x o $S_x \times U_x$.

U_x . Donde se lea muro, se deberá entender que para este paso corresponde a un techo.

Para el caso de las resistencias superficiales, se deberá tomar los siguientes valores:

⇒ En la celda ubicada en la intersección de la columna "U_p" y de la fila "Resistencia Superficial Externa (R_{se})", se coloca el valor: 0,05 W/m² K para cualquier zona bioclimática.

⇒ En la celda ubicada en la intersección de la columna "U_p" y de la fila "Resistencia Superficial

Interna (R_{si})", se coloca el valor: 0,17 W/m²K para las zonas bioclimáticas 1, 2, 3, 7, 8 y 9, y el valor: 0,09 W/m² K para las zonas bioclimáticas 4, 5 y 6.

Para el caso de las resistencias térmicas del techo con cámara de aire, se deberá tomar los siguientes valores de la Tabla N° 12:

✓ Resistencia de la cámara de aire (entre el tapial y las tejas)

Tabla N° 12: Resistencia térmica de la cámara de aire (R_{ca}) según su espesor (en m² K / W) en techos tipo 3A, 3B y 3C

Situación de la cámara y dirección del flujo de calor	Espesor de la cámara (mm)				
	10	20	50	100	≥ 150
Cámara de aire horizontal y flujo ascendente (Zonas bioclimáticas: 4, 5 y 6)	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16

Nota. Adaptado de El Peruano (2014).

Anexo C. Horas sol

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
De +25° a +45° (hemisferio norte)	8	9	9	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9	9	8	7.5
De -25° a +25° (zona ecuatorial)	8.75	9.25	9.5	9.25	8.75	8.5	8.75	9.25	9.5	9.25	8.75	8.5
De -25° a -45° (hemisferio sur)	9.25	9.5	9	9	8	7.5	8	9	9	9.5	9.5	9.5

Nota. Adaptado de CENSOLAR TOMO III (2007).



Anexo D. Factor de creación K

Latitud = 7°

Ino	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.03	1.02	1	.99	.98	.97	.99	.99	1.01	1.02	1.03	1.03
10	1.05	1.03	1	.97	.95	.94	.97	.97	1	1.04	1.06	1.06
15	1.06	1.03	.99	.95	.91	.89	.95	.95	.99	1.04	1.07	1.08
20	1.07	1.03	.98	.92	.87	.85	.91	.91	.98	1.04	1.08	1.09
25	1.07	1.02	.96	.88	.82	.79	.88	.88	.96	1.04	1.09	1.1
30	1.06	1.01	.93	.84	.77	.73	.83	.83	.93	1.02	1.08	1.1
35	1.05	.99	.9	.79	.71	.67	.78	.78	.89	1	1.07	1.09
40	1.03	.96	.86	.74	.64	.6	.73	.73	.85	.97	1.06	1.07
45	1.01	.93	.81	.68	.57	.53	.67	.67	.81	.94	1.03	1.05
50	.98	.89	.76	.62	.5	.45	.6	.6	.75	.9	1	1.02
55	.94	.84	.71	.55	.43	.38	.54	.54	.7	.85	.96	.99
60	.9	.79	.65	.48	.35	.3	.46	.46	.63	.8	.92	.95
65	.85	.74	.58	.41	.27	.21	.39	.39	.57	.75	.87	.9
70	.8	.68	.52	.34	.19	.13	.31	.31	.5	.68	.81	.85
75	.74	.62	.45	.26	.12	.11	.23	.23	.42	.62	.75	.79
80	.68	.55	.38	.18	.11	.1	.15	.15	.35	.55	.69	.73
85	.61	.48	.3	.12	.1	.09	.09	.09	.27	.47	.62	.66
90	.54	.41	.23	.11	.09	.09	.08	.08	.19	.4	.55	.59

Nota. Adaptado de CENSOLAR TOMO III (2007).

Anexo E. Datos técnicos y precio del captador Viessmann

Datos técnicos		
Modelo		SV1F
Superficie total	m ²	2,51
Superficie de absorción	m ²	2,31
Superficie de apertura	m ²	2,33
Distancia entre colectores	mm	21
Dimensiones		
Anchura	mm	1056
Altura	mm	2380
Profundidad	mm	73
Valores de potencia teóricos sobre todo el rango de temperatura		
Rendimiento óptico		
– Superficie de absorción	%	82,1
– Superficie total		75,5
Coefficiente de pérdida de calor k₁		
– Superficie de absorción	W/(m ² · K)	4,854
– Superficie total		4,468
Coefficiente de pérdida de calor k₂		
– Superficie de absorción	W/(m ² · K ²)	0,023
– Superficie total		0,021
Capacidad térmica	kJ/(m ² · K)	4,7
Peso	kg	39
Volumen de líquido (medio portador de calor)	Litros	1,83
Presión de servicio adm.	bar/MPa	6/0,6
Durante la instalación de una válvula de seguridad de 8 bar (accesorio)	bar/MPa	8/0,8
Temperatura máx. de inactividad	°C	145
Capacidad de producción de vapor		
– Posición de montaje favorable	W/m ²	0 [†]
– Posición de montaje desfavorable	W/m ²	0 [†]
Conexión	Ø mm	22



Placa Solar Térmica Viessmann Vitosol 100-FM SV1F

Referencia ZK02625

★★★★★

563,13 €

Impuestos incluidos

Placa solar Térmica Viessmann Vitosol 100-FM SV1F, montaje vertical, superficie total de 2.51 m2, tecnología ThermProtect, posible conexión en paralelo hasta 12 colectores

▲
▼
Añadir al carrito
✕

Nota. Adaptado de Viessmann (2018).

Anexo F. Datos técnicos y precio del captador Termocan Neo 18 (1.8A)

COLECTOR SOLAR SELECTIVO DE ALTO RENDIMIENTO

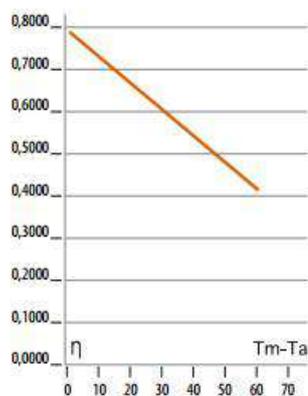
TERMOCAN SERIE NEO

- Absorbedor continuo de cobre con tratamiento selectivo BLUETEC soldado por ultrasonidos a un colector cu. tipo arpa.
- Soldaduras en el absorbedor por inducción.
- Marco extrusionado al 100% y anodizado de alta calidad.
- Vidrio solar templado de alta resistencia y baja emisividad.
- Cubierta posterior en PE térmico.



CARACTERÍSTICAS DE LOS COLECTORES

Modelo		NEO 18	NEO 20	NEO 24	NEO 26	AH
Largo	mm	1.861	2.098	2.098	2.177	1.257
Anch	mm	1.056	1.056	1.256	1.256	2.176
Fondo	mm	94,5	94,5	94,5	94,5	96,0
Area total	m ²	1,97	2,22	2,64	2,73	2,74
Area útil	m ²	1,77	2,00	2,41	2,50	2,50
Cap. Fluido	L	1,40	1,50	1,70	1,80	2,22
Caudal R.	l/h	80	90	108	117	117
Salidas		4x22	4x22	4x22	4x22	4x22
η	%	75,70	75,70	75,70	76,90	75,90
a1	W/m ² K	3,994	3,994	3,994	3,957	4,241
a2	W/m ² K	0,009	0,009	0,009	0,010	0,003
certificaci3bn NPS		5511	5611	6011	6111	30409
SOLAR KEYMARK		011-751517 F				ND



Referencia	Artículo
Termocan 1.8 A	Captador solar selectivo alto rendimiento
Termocan 2.0 A	Captador solar selectivo alto rendimiento
Termocan 2.4 A	Captador solar selectivo alto rendimiento
Termocan 2.6 A	Captador vertical solar selectivo alto rendimiento
Termocan 2.6 A	Captador horizontal solar selectivo alto rendimiento

COLECTOR SOLAR SELECTIVO DE ALTO RENDIMIENTO

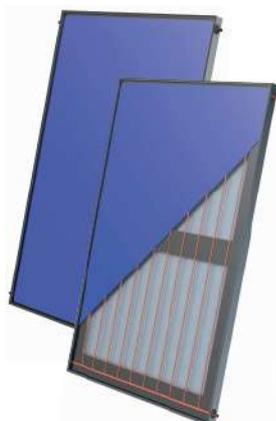
Referencia	Artículo	PRECIO €
Termocan 1.8 A	Captador solar selectivo alto rendimiento	549,00
Termocan 2.0 A	Captador solar selectivo alto rendimiento	591,00
Termocan 2.4 A	Captador solar selectivo alto rendimiento	682,00
Termocan 2.6 A	Captador vertical solar selectivo alto rendimiento	707,00
Termocan 2.6 A	Captador horizontal solar selectivo alto rendimiento	822,00

Nota. Adaptado de Termocan (2011).

Anexo G. Datos técnicos y precio del captador Slim Vertical

PANEL/CAPTADOR SOLAR CSV SLIM vertical

NUEVO



Captador que cuenta con un absorbedor de aluminio tratado al vacío con selectivo PVD y un espesor de 0,40 mm, ofreciendo una absorptancia del 95 % emitancia 5%; y un vidrio solar templado liso y extra claro, con un bajo contenido en hierro extraclaro con un espesor de 3,2 mm y una transmitancia solar del 91%.

Cuenta con aislamiento politérmico en poliuretano de 20 mm de espesor y recubrimiento metálico +20 mm en lana de vidrio. Incluye un circuito de cobre normalizado en arpa soldado por láser con doble cordón para una máxima duración.

Además, todos los captadores equipan cuatro tomas laterales mediante tubo de cobre en 18 mm para conexiones tipo sambra, lo que facilita enormemente la conexión entre ellos para formar cualquier tipo de configuración, y ahorrar costes en elementos de conexión.

Ref. artículo	Descripción	PVR €
423004	Panel captador CSV SLIM 20	474,00
423011	Panel captador CSV SLIM 25	528,00

MODELO	CSV SLIM 20	CSV SLIM 25
Código	423004	423011
Colocación	VERTICAL	
Área apertura	m ² 1,88	2,38
Área absorbedor	m ² 1,83	2,33
Alto	2056	
Ancho	mm 956	1206
Fondo	mm 49	
Área bruta	m ² 1,97	2,48
Peso en vacío	kg 24,5	30
Volumen de fluido	l 1,09	1,34
Régimen de presiones	Presión de prueba: 20 bar Presión máx. de trabajo: 10 bar	
Rango de caudales	l/h·m ² 30,0 - 115,0	
Tª Estancamiento	°C 200,3	
Potencia pico (G=1000W/m ²)	W 1498	1877
Curva respecto	Área bruta	
Rendimiento óptico	% 75,50	
Pérdidas K1	W/ m ² ·K 3,726	
Pérdidas K2	W/ m ² ·K 0,016	

Nota. Adaptado de Cabel (2022).

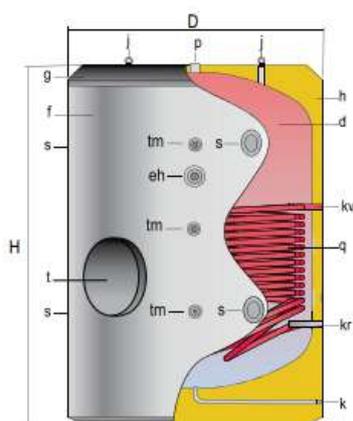
Anexo H. Tanque de acumulación

DEPÓSITOS ACUMULADORES EN CIRCUITO PRIMARIO
 MASTER INERCIA - SERPENTÍN

lapesa

MASTER INERCIA "IS / ISB"

Depósitos acumuladores de **INERCIA**, de 1.500 a 5.000 litros de capacidad, para circuitos cerrados de calefacción o refrigeración, con **SERPENTÍN** de calentamiento intermedio incorporado.
 Preparados para incorporación de resistencia eléctrica de inmersión para calentamiento de apoyo
 Aislado térmicamente con espuma rígida de poliuretano PU inyectada en molde, de 80 mm. de espesor, con pieza aislante del mismo material en la BH DN400 lateral.
 Con **boca lateral BH DN400** para labores de inspección y tratamientos de limpieza y mantenimiento.
 Suministro opcional de forro externo acolchado en PVC y conjunto embellecedores, o forrado con chapa de aluminio ALUNOX (ver capítulo ACCESORIOS, pág.: 21).



d - Depósito acumulador
 f - Forro externo
 g - Cubierta superior
 h - Aislamiento térmico
 j - Cánchales manipulación
 q - Serpentín
 t - Boca de hombre DN400

MV-1500...5000-ISB



CARACTERÍSTICAS GENERALES	MV-1500-IS	MV-2000-IS	MV-2500-IS	MV-3000-IS	MV-3500-IS	MV-4000-IS	MV-5000-IS	
Capacidad	L.	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000
D: Diámetro exterior	mm.	1360	1360	1660	1660	1660	1910	1910
H: Altura total	mm.	1830	2280	2015	2305	2580	2310	2710
Diagonal	mm.	2281	2655	2611	2841	3068	2998	3316
s: conexión lateral	* GAS/H	4	4	4	4	4	4	4
eh: conexión resistencia eléctrica	* GAS/H	2	2	2	2	2	2	2
p: conexión superior	* GAS/H	2	2	2	2	2	2	2
k: conexión desague	* GAS/M	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
tm: conexión sensores	* GAS/H	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
kv, kr: conexiones serpentín	* GAS/H	1	1	1	1	1	1	1
Superficie serpentín	m ²	3,1	3,1	5,7	5,7	6,1	6,1	6,1
Peso en vacío aprox. "IS / ISB"	Kg	344 / 369	388 / 423	565 / 590	601 / 626	640 / 665	953 / 978	1030 / 1055
Boca lateral modelos "ISB"	DN	DN400						

EPÓSITOS INERCIA

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	P.V.P €
------------	-------------	---------

Modelos MASTER INERCIA: MV-IS 1500...5000

MV1500IS	Master inercia MV-1500-IS	2.881,00
MV2000IS	Master inercia MV-2000-IS	3.184,00
MV2500IS	Master inercia MV-2500-IS	4.104,00
MV3000IS	Master inercia MV-3000-IS	4.430,00
MV3500IS	Master inercia MV-3500-IS	4.585,00
MV4000IS	Master inercia MV-4000-IS	5.211,00
MV5000IS	Master inercia MV-5000-IS	6.404,00

Nota. Adaptado de Lapesa (2022).

Anexo I. Caída de presión en las tuberías PEX Uponor

1.2. Tabla de pérdida de carga en tuberías Uponor Aqua Pipe (PEX-a)

D _e (mm) Esp (mm) D _i (mm)	16		20		25	
	1,8 12,4		1,9 16,2		2,3 20,4	
Q (l/s)	R (mbar/m)	Vel (m/s)	R (mbar/m)	Vel (m/s)	R (mbar/m)	Vel (m/s)
0,01	0,125	0,083	0,032	0,049	0,011	0,031
0,02	0,434	0,166	0,113	0,097	0,038	0,061
0,03	0,900	0,248	0,236	0,146	0,078	0,092
0,04	1,511	0,331	0,396	0,194	0,130	0,122
0,05	2,258	0,414	0,593	0,243	0,194	0,153
0,06	3,136	0,497	0,824	0,291	0,266	0,184
0,07	4,138	0,580	1,086	0,340	0,352	0,214
0,08	5,263	0,662	1,384	0,388	0,447	0,245
0,09	6,506	0,745	1,712	0,437	0,515	0,275
0,10	7,865	0,828	2,070	0,485	0,664	0,306

Nota. Adaptado de Uponor (2020).



Anexo J. Vaso de expansión



MODELOS CIRCULARES

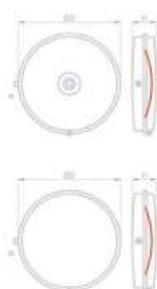
Vasos de expansión de membrana

- Vasos de expansión de membrana para calderas
- Material: Acero
- Membrana no recambiable, según EN 13831 (no potable)
- Válvula de hinchado
- Gas precarga: Aire
- Acabado exterior mediante pintura en color rojo
- Fabricados conforme a la Directiva 2014/68/UE (Artículo 4.3)
- 2 años de garantía



Especificaciones técnicas

- Volumen: 5 – 12 Litros
- Membrana: No Recambiable
- Presión máxima servicio: 3 Bar
- Presión de prueba: 4,5 Bar
- Precarga: 1 Bar
- Temperatura máxima de servicio: 100°C
- Temperatura mínima de servicio: -10°C
- Conexión de agua: consultar tabla



Código	Modelo	Volumen (Lts.)	Presión (Bar)	Ø D (mm)	H (mm)	Conexión agua R
02004531	5 PCS-T	5	3	387	60	3/8"
02005511	6 PCS	6	3	387	65	3/8"
02007491	7 PCS	7	3	387	70	M-12
02008843	8 PCS	8	3	387	85	1/2"
02010043	10 PCS	10	3	387	106	1/2"
02006551	6 PCA	6	3	325	100	3/4"
02008043	8 PCA	8	3	325	130	1/2"
02010506	10 PCA	10	3	325	160	3/4"
02012033	12 PCA	12	3	325	175	3/4"

Vasos de expansión de membrana Calderas

- Membrana no recambiable según EN 13831 (no potable)
- Pintura epoxi roja
- Fabricados conforme a la Directiva 2014/68/UE

Presión máxima de trabajo: 3 Bar
Precarga: 1 Bar (Aire)
Temperatura de servicio: -10° C / 100° C
Conexión de agua: s/tabla R - GM

Modelos circulares



Uds. Mínimas Pedido	Código	Modelo	Volumen (Lts.)	Ø D (mm)	H (mm)	R Conexión agua	Precio (€)
100	02004531	5 PCS-T	5	387	60	3/8"	44,52
100	02005511	6 PCS	6	387	65	3/8"	46,63
100	02007491	7 PCS	7	387	70	M-12	48,74
➤ 4	02008843	8 PCS	8	387	85	1/2"	53,10
➤ 3	02010043	10 PCS	10	387	106	1/2"	57,27
100	02006551	6 PCA	6	325	100	3/4"	45,93
➤ 4	02008043	8 PCA	8	325	130	1/2"	49,08
100	02010506	10 PCA	10	325	160	3/4"	52,47
➤ 3	02012033	12 PCA	12	325	175	3/4"	55,71

➤ NOTA: En stock.

Nota. Adaptado de Baiondo (2021).

Anexo K. Bomba de recirculación**Bomba de circulación Wilo YONOS PICO
15/1-6-130**

Referencia 4215512

★★★★★

255,37 €

Impuestos incluidos

Plazo de entrega 3 – 5 días (Salvo rotura de stock)

Bomba de circulación Wilo YONOS PICO 15/1-6-130, de alta eficiencia con regulación electrónica y conexión roscada

Nota. Adaptado de Gas, frío y calor (2022).

Anexo L. Accesorios y tuberías

Tubería PEX



PROINCO

Acceso clientes PROFESIONALES | Acceso clientes PARTICULARES

Productos ▾ Marcas ▾ La Empresa Blog Tiendas Sala Técnica Outlet ▾

Fontanería > Tuberías y Accesorios > Tuberías y Accesorios PEX/AL/PEX > Tubo en rollo PEX AQUA PIPE - UPONOR

Tubo en rollo PEX AQUA PIPE - UPONOR

uponor Ref. 6731000

UPONOR presenta una amplia gama de tuberías flexibles: AQUA PIPE. Tuberías que se presentan en rollo de diferentes medidas, diseñadas a partir de la última tecnología UPONOR y con los avances propios en materiales de construcción. El tubo en rollo AQUA PIPE ha diseñado sistemas de tuberías óptimos para las instalaciones (ACS). Se vende en rollo de 100 metros. El precio indicado es por metro.

En Stock

2,20 € IVA INCLUIDO

MEDIDAS: Ø 16 mm x 1,8 mm

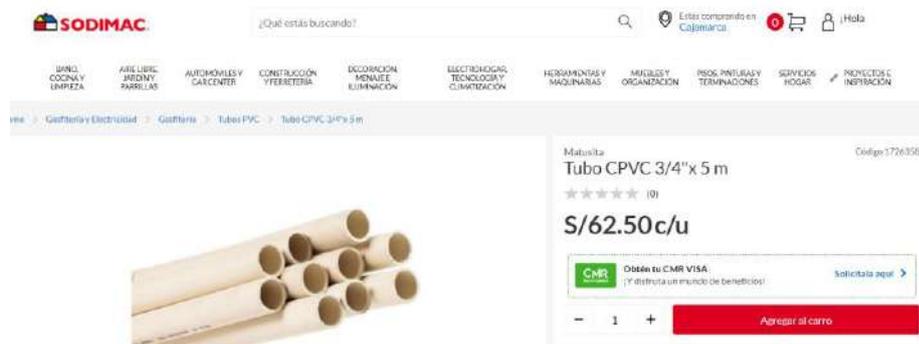
100 - +

*Este producto se vende en metros de 100 (El precio indicado es por metro).

COMPRAR

Nota. Adaptado de PROINCO (2022).

Tubería de CPVC



SODIMAC

¿Qué estás buscando?

Estás comprando en Cajamarca

BIEN, COCINA Y EMPLEZA | Aire Libre, Jardín y Parrillas | AUTOMÓVILES Y GARAJES | CONSTRUCCIÓN Y FERRERIA | DECORACIÓN, MUEBLES E ILUMINACIÓN | ELECTROHOGAR, TECNOLOGÍA Y CLIMATIZACIÓN | HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS | MUEBLES Y ORGANIZACIÓN | PISOS, PINTURAS Y TERMINACIONES | SERVICIOS HOGAR | PROYECTOS E INSPIRACIÓN

Hogar > Gasfitería y Electricidad > Gasfitería > Tubería PVC > Tubo CPVC 3/4" x 5 m

Tubo CPVC 3/4" x 5 m

Codigo: 1726356

★★★★★ (9)

S/62.50c/u

Obtén tu CMR VISA (Y disfruta un mundo de beneficios) Solicítala aquí >

1 Agregar al carro

Codos



SODIMAC

¿Qué estás buscando?

Estás comprando en Cajamarca

BIEN, COCINA Y EMPLEZA | Aire Libre, Jardín y Parrillas | AUTOMÓVILES Y GARAJES | CONSTRUCCIÓN Y FERRERIA | DECORACIÓN, MUEBLES E ILUMINACIÓN | ELECTROHOGAR, TECNOLOGÍA Y CLIMATIZACIÓN | HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS | MUEBLES Y ORGANIZACIÓN | PISOS, PINTURAS Y TERMINACIONES | SERVICIOS HOGAR | PROYECTOS E INSPIRACIÓN

Cajamarca > Placa > Codo CPVC 3/4" x 90°

Codo CPVC 3/4" x 90°

Codigo: 336817

★★★★★ (8)

S/4.90c/u

1 Agregar al carro

Satisfacción Garantizada ver más
Si esta producción cumple con tus expectativas (dentro de 10 días desde su recepción) para devolvernos cualquier artículo muestra. Devuélvenos el artículo al 011 505 0420 opción 4.

Opciones de entrega para Cajamarca.

Nota. Adaptado de SODIMAC (2022).

Válvula de bola



Buscar

Selección tu ubicación

Hola, inicia sesión
Mi cuenta y pedidos

0

Llave bola lisa 3/4 cpvc - agua caliente

FLOWGUARD GOLD | SKU: 23984

Compartir

Regular S/ 4.90

Despacho 24 Hrs.

Calcula hasta 12 cuotas sin intereses con Tarjeta oh!

1

Agregar

Nota. Adaptado de PROMART (2022).

Válvula de seguridad

Salvador Escoda

VÁLVULA DE SEGURIDAD REGULABLE

ADJUSTABLE SAFETY VALVE



Cuerpo: **Latón** - Campana: **Latón** - Junta cierre: **Teflón (PTFE)** - Campo regulación: **2 a 8 bar** - Temp. máx: **130°C**
Body: **Brass** - Seat: **PTFE** - Adjustable pressures **2 to 8 bar** - Max. temperature: **130°C**

Código Code	Medida Size	Uds. caja pcs. box	Precio €/ud. Price €/pc.
AA 11 121	3/8"	-	28,06
AA 11 122	1/2"	-	31,25
AA 11 123	3/4"	-	45,19
AA 11 124	1"	-	58,01
AA 11 125	1-1/4"	-	95,05
AA 11 126	1-1/2"	-	120,74
AA 11 127	2"	-	168,01

Hoja técnica / data sheet: pag. 70

Nota. Adaptado de Salvador Escoda (2022).

Anexo M. Ficha técnica del mortero Weberfloor





Alto ahorro energético y mayor confort térmico.

Alta transmisión del calor: conductividad térmica de 1,7 W/mK.

Base anhidrita y ligantes hidrofílicos.

Bajas espesores de aplicación: a partir de 3 cm.

Retracción compensada: alta resistencia a la fisuración.

Rápida puesta en servicio.

Presentación

Saco de papel de 25 kg en palets de 1200 kg (48 sacos)

Colores

Productos de color único

Consumo

2,200 kg/m³
Consumo para 1 mm de espesor

Almacenaje y conservación

9 meses a partir de la fecha de fabricación, en envase original cerrado y al abrigo de la humedad.



weberfloor radiante

Mortero autonivelante rápido para calefacción radiante

Recrido técnico polimérico autonivelante de altas prestaciones y alta conductividad térmica de 1,70 W/mK, especialmente diseñado para la realización de recridos entre 3 y 8 cm de espesor sobre sistemas de climatización radiante, tanto refrigeración como calefacción, favoreciendo la transmisión de la temperatura y reduciendo más de un 50%, el tiempo para alcanzar la temperatura deseada para el confort térmico en la estancia, con su respectivo ahorro energético. Gracias a su poder autonivelante permite obtener superficies con una alta planimetría para la colocación de pavimentos ligeros, cerámica y suelos técnicos con una alta productividad al ser apto para ser bombeado. Permite una rápida puesta en servicio tanto para transitar como para revestir al ser de fraguado y secado rápido, además de minimizar la aparición de fisuras por retracción frente a un autonivelante convencional al ser de retracción compensada.

RECOMENDACIONES DE USO

- Recrido de suelos tanto en obra nueva como en rehabilitación para la nivelación y alisado de pavimentos previo a la colocación de pavimentos ligeros, cerámica y suelos técnicos sobre todo tipo de sistemas de climatización invisible (tubo de agua, lámina eléctrica, etc.)
- Revestible con cerámica, fensza, PVC, linóleo, vinilo, moqueta, tarima, madera o microarmiento.
- Apto para sistemas de calefacción radiante a partir de 3 cm de espesor.
- Apto para interiores.

SOPORTE

Hormigón, Mortero de cemento

LIMITACIONES

- No aplicar weberfloor radiante en pavimentos exteriores. Usar en este caso weberfloor light estructural, weberfloor firme o weberfloor 4630 industry lit.
- No aplicar weberfloor radiante en pavimentos industriales o parkings. Usar en este caso weberfloor dur, weberfloor for o weberfloor 4630 industry lit.
- Para su instalación en suelos con humedad permanente, con problemas de nivel freático susceptibles de humedad por remonta capilar, consultar con nuestro departamento técnico.
- weberfloor radiante debe cubrirse con los revestimientos asociados del apartado decoración. Como acabado final decorativo mineral usar weberfloor design (consultar departamento técnico).
- No usar como soporte para pinturas o revestimientos en base resinas epoxi o poliuretano. Usar en este caso weberfloor dur, weberfloor for o weberfloor 4630 industry lit.





weberfloor radiante
Mortero autonivelante rápido para calefacción radiante

PRESTACIONES TÉCNICAS

Características	Valor
Agua de amasado	4 l
Canto de nivelación	200 mm
Temperatura de aplicación	10 - 30 °C
Densidad en polvo	1,35 - 1,55 g/cm ³
Clasificación según mercado CE (EN 13813)	CT-C25-F5
Tiempo de espera para tráfico peatonal	2 h
Espesor mínimo	3 cm
Espesor máximo	80 mm
Retracción (28 días)	< 0,4 mm/m
Adherencia sobre hormigón	> 1,5 N/mm ²
Resistencia a la tracción 28 días (N/mm ²)	> 5 N/mm ²
Resistencia a la compresión 28 días (N/mm ²)	> 25 N/mm ²
Conductividad térmica	1,2 (W/mK)
pH material curado	aprox. 11

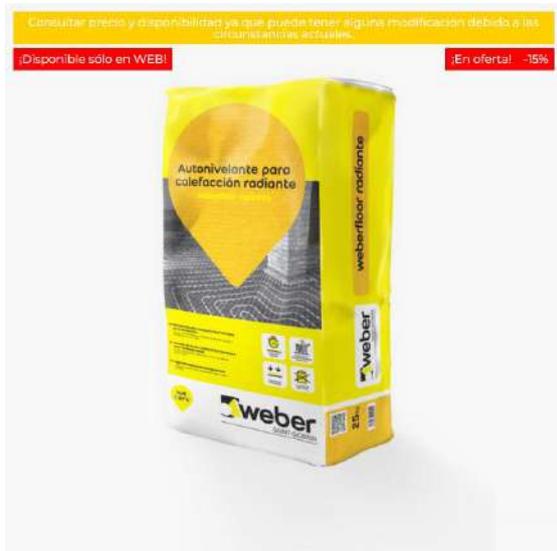
COMPOSICIÓN

Amidante, ligantes hidráulicos, resinas sintéticas, sílice y aditivos conductores.

Nota. Adaptado de Weber (2017).

Anexo N. Materiales de construcción/precios

Mortero Weberfloor:



WeberFloor Radiante 25Kg.

Referencia 1.3.527 Marca Weber

Recrecido técnico para suelos con sistema de calefacción radiante. Mortero fluido de alta transmisión de la temperatura, con una conductividad térmica de 1,70 W/m.K, especialmente diseñado para la realización de recrecidos entre 3 y 8 cm de espesor sobre sistemas de climatización radiante, favoreciendo la transmisión de la energía y reduciendo más de un 50%, el tiempo para alcanzar la temperatura deseada para el confort térmico en la estancia.

Características principales:

- Confort alcanzable en menos tiempo
- Puesta en servicio rápida
- Reducción del consumo energético

18,42 € **15% de descuento** I.V.A. incluido

Cantidad

Añadir al carrito

Consultar precio y disponibilidad ya que puede tener alguna modificación debido a las circunstancias actuales.

LEER COMENTARIOS

ESCRIBE UNA RESEÑA

Tus pedidos superiores a 60€ con ENVÍO GRATIS

Nota. Adaptado de SHOWROOM BARRAL (2022).

Lámina de polietileno.

Film de polietileno impermeable antihumedad para soleras

Film de polietileno impermeable para soleras de hormigón con efecto antihumedad. Plástico para crear una barrera de vapor o barrera antihumedad en muros y cimentación.

Color

Formato

Espesor

Referencia 21727 **54,91 €** Impuestos excluidos

¿POR QUÉ ELEGIRNOS?

ENVÍOS EN 48-72 HORAS

Enviamos a toda Europa. Los pedidos recibidos durante el día, normalmente se despatchan al día siguiente, para ser entregados en 48-72 horas en Península una vez se han despatchado. (Días laborales hábiles de lunes a viernes)

MÁS DE 20 AÑOS DE EXPERIENCIA

Te asesoramos y resolvamos tus dudas antes, durante y después de realizar la compra, para que aciertes y disfrutes de tu producto.

Nota. Adaptado de CYMPER (2022).

Poliestireno

Número de presupuesto 00029826

FECHA 04/11/2022

CLIENTE TORREL FARRO EDMUNDO

DIRECCIÓN CAJAMARCA

ATTE EDMUNDO TORREL FARRO

TELÉFONO 969750375

VENDEDOR MMC-MARY MONTAÑO CHUMBIAUCA



CAL. SAN CARLOS NRO. 198
URB. SANTA MARTHA (MZ. A
LT 3 Y 4 - EX NRO. 120) LIMA -
LIMA - ATE - PERÚ.

Estimados señores:
Por medio de la presente nos es grato cotizarles lo siguiente:

Código de producto	Marcas	Descripción de Producto	Densidad	U.M.	Cantidad	Precio de venta	Precio total
20PLC240120P200	ND	PLANCHA EPS 2.400 X 1.2000 X 2	D2D	UND	18.00	PEN 44.06779661	PEN 793.220

Subtotal PEN 793.220
IGV(18%) PEN 142.780
Total Neto PEN 936.000

CONDICION CONTADO

VALIDEZ EN DIAS 10

OBSERVACIÓN FECHA DE ENTREGA: 24 A 48 HORAS
DESPUES DE CONFIRMADO EL ABONO EN
DTA CTE

PLAZO DE ENTREGA SEGUN STOCK INMEDIATO

Sin otro particular, quedamos de ustedes.

Atentamente

MMC-MARYMONTAÑO CHUMBIAUCA

Vendedor

Sirvase efectuar el abono a nuestras siguientes cuentas bancarias:		
BANCO	SOLES	DOLARES
Crédito	191-0208107-0-90	191-0154797-1-14
Credito - CCI	002-191-000208107090-52	002-191-000154797114-51
Continental	0011-0910-0100062914-75	0011-0910-0100062922-78
Continental - CCI	011-910-000100062914-75	011-910-000100062922-78
Interbank	164-3000755936	
Interbank - CCI	003-164-003000755936-19	

Nota. Adaptado de ETSA Perú S.A.

Baldosa

PROMART
HOMECENTER

Buscar

Ubicación
Cajamarca, Cajamarca

Hola, inicia sesión
Mi cuenta y pedidos

Todas las categorías

Agora Pay

oh! Solicita tu tarjeta oh!

Marcas de la Casa

Ofertas especiales

Lanzamientos

Servicios

Blog

Venta empresa

Promart / Cerámicos y Pisos / Porcelanatos / Porcelanatos lisos

Piso Porcelanato pulido white medio 60x60cm 1.44m2
ORANGE | SKU: 137654

Regular S/ 47.92 x m²
Precio por caja S/ 69.01

Despacho en 24 Hrs.

Calcula tus cuotas con Tarjeta oh!

1 Caja

1.44 m²

Agregar

oh! ¡Recibe S/150 en tu primera compra online mayor a S/170 con Tarjeta oh! [¡Pídelo aquí!](#)

Vendido y despachado por: **Promart** [Ver términos y condiciones](#)

Nota. Adaptado de PROMART (2022).

Interruptor diferencial

PROMART HOMECENTER

Buscar

Selecciona tu ubicación

Hola, inicia sesión

Mi cuenta y pedidos

Todas las categorías

Agora Pay

Solicita tu tarjeta ohi

Marcas de la Casa

Ofertas especiales

Lanzamientos

Servicios

Blog

Venta empresa

HOT SALE Del 03 al 09 de octubre

hasta **12 CUOTAS SIN INTERESES** Exclusivo con **ohi**

Promart / Electricidad / Tableros y llaves eléctricas / Interruptores diferenciales

Interruptor diferencial RCCB 32amp Opalux

OPALUX | SKU: 144105

Regular **S/75.90**

Calcula hasta 12 cuotas sin intereses con Tarjeta ohi

Elige el número de cuotas:

Sin cuotas Pago mensual: **S/75.90**

El resto de la cuota podría variar en función de la fecha de facturación y pago del cliente.

1

Agregar

¡Píde tu Tarjeta ohi y recibe S/100 en tu primera compra online! [Solicítala aquí](#)

Tubo eléctrico

SODIMAC

¿Qué estás buscando?

Estás comprando en **Cajamarca**

MI Cuenta

BANO, COCINA Y LIMPIEZA

AIRE LIBRE, JARDIN Y PARRILLAS

AUTOMÓVILES Y CAR CENTER

CONSTRUCCIÓN Y FERRETERÍA

DECORACIÓN, MENAJE E ILUMINACIÓN

ELECTROHOGAR, TECNOLOGÍA Y CLIMATIZACIÓN

HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS

MUEBLES Y ORGANIZACIÓN

PISOS, PINTURAS Y TERMINACIONES

SERVICIOS HOGAR

PROYECTOS E INSPIRACIÓN

Campanas

Pavco

Tubo Eléctrico Sel 3/4" Pavco

Código 199036

★★★★★ (1)

S/6.40c/u

1

Agregar al carro

Satisfacción Garantizada [ver más](#)

Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 203 0420 opción 4

Cable AWG 8

SODIMAC

¿Qué estás buscando?

Estás comprando en **Cajamarca**

MI Cuenta

BANO, COCINA Y LIMPIEZA

AIRE LIBRE, JARDIN Y PARRILLAS

AUTOMÓVILES Y CAR CENTER

CONSTRUCCIÓN Y FERRETERÍA

DECORACIÓN, MENAJE E ILUMINACIÓN

ELECTROHOGAR, TECNOLOGÍA Y CLIMATIZACIÓN

HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS

MUEBLES Y ORGANIZACIÓN

PISOS, PINTURAS Y TERMINACIONES

SERVICIOS HOGAR

PROYECTOS E INSPIRACIÓN

Home

Campanas

Productos Outlet

Cable THW 8 AWG Negro x 100 m

Indeco

Cable THW 8 AWG Negro x 100 m

Código 221519

★★★★★ (2)

S/399.90c/u

CMR Obtén tu **CMR VISA** (*¡y disfruta un mundo de beneficios!*) [Solicítala aquí](#)

Satisfacción Garantizada [ver más](#)

Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 203 0420 opción 4

Nota. Adaptado de PROMART (2022).

Anexo O. Cotización de mantenimiento del sistema de suelo radiante



Dirección: Av. Mario Urteaga 395-Cajamarca

RUC: 20600062523

Contacto:

076-368718

jose_mariainversiones@outlook.es

Fecha: 05/12/22

Cliente: Edmundo Torrel Farro

Cajamarca

Estimado señor:

Por medio de la presente nos es grato saludarlo y hacerle llegar la cotización de **MANTENIMIENTO PREVENTIVO** de suelo radiante, en el centro poblado de Sexemayo, según lo acordado vía telefónica.

DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO

- Revisión de la regulación de circuitos
- Comprobación de la inexistencia de fugas
- Vaciado del circuito y limpieza de conductos de agua
- Verificación de la estanqueidad de llaves de paso
- Inspección de accesorios
- Tratamiento del agua mediante aditivos
- Control y ajuste de temperatura
- Control de lodos
- Limpieza de tanque solar
- Limpieza de colectores solares

Número de viviendas	Área por vivienda (m2)	Precio por vivienda (S/.)	Precio total (S/.)
18	50.5	1700	30600

Los precios incluyen IGV

Vigencia: 15 días

Atentamente,

Área de ventas-JoseMaría Inversiones y Servicios SRL

Nota. Adaptado de JoseMaría Inversiones y Servicios SRL.

Anexo P. Flete marítimo

Transporte de materiales para funcionamiento de suelo radiante con energía solar

ESMAD, Madrid > PECLL > PELIM, Lima
 ESPAÑA PERU
 Entrada por: 30 de octubre de 2022
 Tiempo de tránsito estimado: 30 días
1,023.78 EUR

LCL [Mostrar detalles y cargos](#)

SERVICIOS ADICIONALES
 Seleccione los servicios adicionales que le gustaría agregar.

Seguro de carga - 71,78 euros (RECOMENDADO)
 El seguro de carga cubrirá el costo de los bienes dañados en caso de que ocurran eventos imprevistos durante el transporte. Los envíos de carga usada están sujetos a un deducible de 1500 EUR. [Condiciones del seguro](#)

Ingrese el valor de la carga *
 EUR 8800 **CALCULAR**

RESUMEN DE CARGOS (EUR)

Origen	169.68
Cargamento internacional	782.32
Servicios adicionales	71.78
TOTAL	1.023,78 euros

Transporte de materiales para funcionamiento de suelo radiante con energía eléctrica

ESMAD, Madrid > PECLL > PELIM, Lima
 ESPAÑA PERU
 Entrada por: 30 de octubre de 2022
 Tiempo de tránsito estimado: 30 días
885 EUR

LCL [Mostrar detalles y cargos](#)

SERVICIOS ADICIONALES
 Seleccione los servicios adicionales que le gustaría agregar.

Seguro de carga - 71,78 euros (RECOMENDADO)
 El seguro de carga cubrirá el costo de los bienes dañados en caso de que ocurran eventos imprevistos durante el transporte. Los envíos de carga usada están sujetos a un deducible de 1500 EUR. [Condiciones del seguro](#)

Ingrese el valor de la carga *
 EUR 5200 **CALCULAR**

RESUMEN DE CARGOS (EUR)

Origen	125.65
Cargamento internacional	688.44
Servicios adicionales	71.78
TOTAL	885,88 euros

Nota. Adaptado de IContainers (2022).

Anexo Q. Flete terrestre**COTIZACIÓN DE TRANSPORTE****CLIENTE: EDMUNDO JOSÉ TORREL FARRO**

Valido desde: 13-10-2022

Valido Hasta: 17-10-2022

Presente.

De mi consideración especial:

Por medio de la presente me es grato dirigirme a su despacho a nombre de la Empresa de Transportes Marin Hermanos SAC, identificada con RUC: 20513877324.

Estimado cliente le hacemos llegar este documento proponiéndole nuestra oferta de transporte por el traslado de un tanque de 1,500.00 litros, 9 colectores solares o 1 caldera eléctrica, 1 bomba recirculadora de 2kg, 1 válvula, 1 rollo de polietileno, 1 vaso de expansión de 5 litros, 2 paquetes de tubería (cada paquete contiene 100 m de tubería) y 20 sacos de cemento de 25 kg de la Ciudad de Lima-Callao a Cajamarca (entregado en el caserío de Sexemayo) cuyo flete es de S/ 940.00.

Nota:

- Contamos con salidas diarias.
- El precio incluye IGV

Nota. Adaptado de MARIN HNOS SAC.