



MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

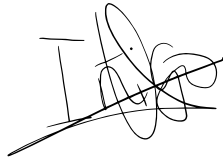
SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA DE ACS Y CALEFACCIÓN EN VIVIENDAS DE TURISMO SOLIDARIO EN PERÚ MEDIANTE PANELES SOLARES TÉRMICOS

Autor: Iñigo Arizón Ribó

Director: Javier Gutiérrez Chamorro

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:
Satisfacción de la demanda de ACS y calefacción en viviendas de turismo solidario en
Perú mediante paneles solares térmicos.
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Iñigo Arizón Ribó

Fecha: 18/ 07/ 2024

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Javier Gutiérrez Chamorro

Fecha: 18/ 07/ 2024



MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA DE ACS Y CALEFACCIÓN EN VIVIENDAS DE TURISMO SOLIDARIO EN PERÚ MEDIANTE PANELES SOLARES TÉRMICOS

Autor: Iñigo Arizón Ribó

Director: Javier Gutiérrez Chamorro

Madrid

SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA DE ACS Y CALEFACCIÓN EN VIVIENDAS DE TURISMO SOLIDARIO EN PERÚ MEDIANTE PANELES SOLARES TÉRMICOS

Autor: Arizón Ribó, Iñigo.

Director: Gutiérrez Chamorro, Javier

Entidad Colaboradora: Comillas Solidaria

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se desarrollan sistemas de energía térmica para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción en viviendas de turismo solidario en Perú, utilizando paneles solares térmicos. El estudio se centra en la integración de paneles solares térmicos con un sistema de calefacción por suelo radiante, proporcionando una solución sostenible y eficiente para las necesidades de calefacción y agua caliente. El proyecto incluye el diseño, cálculo e implementación de los sistemas.

Las dos instalaciones (agua caliente sanitaria y calefacción) se van a realizar de forma independiente, dotando a las comunidades de libertad a la hora de implementar las mismas. Para la calefacción, se ha elegido un sistema de suelo radiante, siendo el sistema que más se adecúa a las necesidades locales.

Inicialmente, se realizará un análisis de la situación climática y geográfica de la región, así como un análisis de demanda tanto de agua caliente sanitaria como de calefacción. Seguido, se dimensionarán los paneles solares térmicos para cubrir la demanda de ambas instalaciones. Dado que la normativa peruana es escasa, se usarán como guía la normativa española y guías de cálculo e instalación de fabricantes. Luego, se elegirán los equipos siguiendo las necesidades de la instalación y la oferta de productos que ofrecen los proveedores peruanos para instalaciones de ACS y suelo radiante mediante paneles solares térmicos.

Finalmente se realizará un estudio de viabilidad económica debido a que el objetivo final de este trabajo es la implementación de estos sistemas en las comunidades locales antes mencionadas. Así mismo, se realizará un estudio de impacto medioambiental, calculando las reducciones de CO₂ ya que estas instalaciones alejarán a las comunidades del uso de combustibles tradicionales como fuente de energía.

SATISFACTION OF THE DEMAND FOR DOMESTIC HOT WATER AND HEATING IN SOLIDARITY TOURISM HOUSING IN PERU THROUGH SOLAR THERMAL PANELS

Author: Arizón Ribó, Iñigo.

Supervisor: Gutiérrez Chamorro, Javier

Collaborating Entity: Comillas Solidaria

ABSTRACT

This project develops thermal energy systems to meet the demand for domestic hot water (DHW) and heating in solidarity tourism housing in Peru, using solar thermal panels. The study focuses on integrating solar thermal panels with a radiant floor heating system, providing a sustainable and efficient solution for heating and hot water needs. The project includes the design, calculation, and implementation of the systems.

The two installations (DHW and heating) will be carried out independently, giving communities the freedom to implement them as needed. For heating, a radiant floor system has been chosen as it best suits local needs.

Initially, an analysis of the climatic and geographical situation of the region will be conducted, as well as an analysis of the demand for both domestic hot water and heating. Following this, the solar thermal panels will be sized to meet the demand for both installations separately. Since Peruvian regulations are scarce, Spanish regulations and manufacturers' calculation and installation guides will be used as references. Equipment will be selected according to the installation needs and the product offerings from Peruvian suppliers for domestic hot water and radiant floor heating systems using solar thermal panels.

Finally, an economic feasibility study will be conducted, as the ultimate goal of this project is the implementation of these systems in the aforementioned local communities. Additionally, an environmental impact study will be carried out to calculate CO₂ reductions, as these installations will shift communities away from traditional fuel sources.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	8
Capítulo 2. Estado de la Cuestión	10
Capítulo 3. Definición del Trabajo	11
3.1 Justificación.....	11
3.2 Objetivos	12
3.3 Impacto social	13
3.4 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	14
Capítulo 4. Aspectos generales.....	16
4.1 Normativa aplicada	16
4.2 Localización geográfica del proyecto	16
4.3 Características de los edificios	17
4.4 Energía solar.....	19
4.4.1 radiación solar	19
4.4.2 Energía solar térmica.....	20
4.5 Condiciones climáticas.....	20
4.5.1 Irradiación solar	21
4.5.2 Horas de sol	22
4.5.3 Temperatura exterior	23
4.5.4 Zona bioclimática.....	24
4.5.5 Confort térmico	24
4.6 Condiciones de la demanda.....	25
4.6.1 Análisis de la demanda de ACS.....	25
4.7 Sistemas solares térmicos.....	26
4.7.1 Colectores solares	27
4.7.2 Intercambiadores de calor	27
4.7.3 Acumuladores.....	28
4.7.4 Bombas	29
4.7.5 Red hidráulica	29
Capítulo 5. Diseño de la instalación de ACS.....	30

5.1	Configuración básica.....	30
5.1.1	<i>Inclinación y orientación de los paneles solares térmicos</i>	<i>31</i>
5.2	Metodología	32
5.2.1	<i>Rendimiento del colector solar</i>	<i>32</i>
5.2.2	<i>Energía solar útil</i>	<i>33</i>
5.2.3	<i>Aporte solar del sistema.....</i>	<i>33</i>
5.3	Cálculo de la energía solar	34
5.3.1	<i>Cálculo de la demanda de energía.....</i>	<i>34</i>
5.3.2	<i>Cálculo de la Energía solar disponible.....</i>	<i>36</i>
5.3.3	<i>Cálculo del rendimiento del colector solar</i>	<i>37</i>
5.3.4	<i>Cálculo de la energía solar útil.....</i>	<i>37</i>
5.3.5	<i>Cálculo del número de placas solares térmicas.....</i>	<i>38</i>
5.3.6	<i>Cálculo de la energía de ACS aportada por el sistema</i>	<i>39</i>
5.4	Metodología para la selección de elementos hidráulicos.....	41
5.4.1	<i>Acumulador</i>	<i>41</i>
5.4.2	<i>Tuberías.....</i>	<i>41</i>
Capítulo 6. Diseño de la instalación de suelo radiante para calefacción.....		43
6.1	Introducción	43
6.2	Configuración básica suelo radiante	43
6.3	Distribución de espacios	44
6.4	Definición zona de confort térmico.....	45
6.5	Características del suelo radiante	46
6.6	Características constructivas del suelo radiante	46
6.7	Descripción de la instalación y sus elementos	47
6.7.1	<i>Tuberías plásticas</i>	<i>47</i>
6.7.2	<i>Aislamientos</i>	<i>47</i>
6.7.3	<i>Sistemas de fijación.....</i>	<i>48</i>
6.7.4	<i>Banda perimetral.....</i>	<i>48</i>
6.7.5	<i>Distribuidor</i>	<i>49</i>
6.7.6	<i>Generadores de calor.....</i>	<i>50</i>
6.8	Formas básicas de distribución del tubo	50
6.8.1	<i>Serpentín Simple.....</i>	<i>50</i>
6.9	Metodología de cálculo cargas térmicas	51

6.9.1 Espacio y características para dimensionar	51
6.9.2 Gradiente de temperatura	52
6.9.3 Cálculo de pérdidas de calor	52
6.10 Cálculo de Cargas térmicas	53
6.11 Metodología de la instalación de suelo radiante	53
6.11.1 Salto térmico en el circuito hidráulico	53
6.11.2 Caudal suelo radiante	54
6.11.3 Aporte energético necesario	54
6.11.4 Longitud de tubo de suelo radiante	55
6.12 Cálculo de la instalación de suelo radiante	56
6.12.1 Caudal instalación suelo radiante	56
6.12.2 Demanda mensual energía suelo radiante	56
6.12.3 Área necesaria de Colectores	57
6.12.4 Cálculo del número de placas térmicas necesarias	58
6.12.5 Cálculo de la energía de calefacción aportada por el sistema	59
6.12.6 Cálculo de la longitud de tubo	60
Capítulo 7. Resultados	61
7.1 Resumen de elección de equipos	61
7.1.1 Elección de equipos para la instalación de ACS	61
7.1.2 Elección de equipos para la instalación de calefacción por suelo radiante	62
7.2 Análisis de viabilidad económica	63
7.2.1 Viabilidad económica de la instalación de ACS	63
7.2.2 Viabilidad económica de la instalación de suelo radiante	64
7.3 Reducción de emisiones de CO ₂	65
Capítulo 8. Conclusiones y Trabajos Futuros	66
8.1 Conclusiones	66
8.2 Trabajos futuros	67
Capítulo 9. Bibliografía	68
ANEXOS 69	
9.1 ANEXO I: Datos irradiación PVGIS	70
9.2 ANEXO II: Ficha técnica terma solar	73

9.3	ANEXO III: Ficha técnica bomba.....	75
9.4	ANEXO IV: Ficha técnica tubo suelo radiante.....	77
9.5	ANEXO V: Ficha técnica panel suelo radiante.....	79
9.6	ANEXO VI: Ficha técnica caja de colectores.....	81
9.7	ANEXO VII: Ficha técnica vaso de expansión.....	84
9.8	ANEXO VIII: Cálculo demanda energética	86
9.9	ANEXO IX: Cálculo de cargas térmicas	87
9.10	ANEXO X: Cálculo de pérdidas en el colector	88
9.11	ANEXO XI: Cálculo demanda energía suelo radiante	89
9.12	ANEXO XII: Cálculo colectores suelo radiante	90

Índice de figuras

Ilustración 1: Edificación característica de la región.....	17
Ilustración 2: Ejemplo panel solar térmico	27
Ilustración 3: Imagen simplificada de un intercambiador de calor	28
Ilustración 4: Esquema simplificado de un acumulador.....	29
Ilustración 5: Configuración circuito abierto sistema de paneles solares térmicos para ACS	30
Ilustración 6: Irradiación solar a 15° vs óptimo(18°)	31
Ilustración 7: Gráfica demanda vs aporte solar (kWh/mes)	40
Ilustración 8: Distribución de espacios de una vivienda tipo	44
Ilustración 9: Distribuidor de un suelo radiante	49
Ilustración 10: Distribución en serpentín simple	51

Índice de tablas

Tabla 1: Localización de los edificios	17
Tabla 2: Características de las edificaciones	18
Tabla 3: Características de la edificación a dimensionar	18
Tabla 4: Datos de irradiación mensual	22
Tabla 5: Horas de sol. Fuente: climate-data.org	22
Tabla 6: Temperaturas mensuales. Fuente: Ministerio del Ambiente de Perú	23
Tabla 7: Zonas bioclimáticas Perú.....	24
Tabla 8: Demanda diaria de ACS para viviendas unifamiliares.....	25
Tabla 9: Demanda mensual de ACS.....	26
Tabla 10: Demanda mensual energética para ACS	35
Tabla 11: Irradiación solar media. Fuente: PVGIS	36
Tabla 12: Rendimiento del colector.....	37
Tabla 13: Energía solar útil	38
Tabla 14: Cálculo del número de placas solares térmicas para ACS	39
Tabla 15: Energía solar aportada	40
Tabla 16: Aislamiento mínimo de tuberías según RITE	42
Tabla 17: Rango mensual de confort térmico.....	46
Tabla 18: Espacios, materiales y transmitancias	52
Tabla 19: Cargas térmicas	53
Tabla 20: Cálculo y conversión del caudal.....	56
Tabla 21: Demanda energética para la instalación de suelo radiante	57
Tabla 22: Área de Colectores necesaria para calefacción	57
Tabla 23: Número de colectores necesarios para la instalación de suelo radiante	58
Tabla 24: Energía aportada por el sistema para calefacción	59
Tabla 25: Coste de la instalación de ACS	64
Tabla 26: Coste de la instalación de suelo radiante.....	65

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo de Fin de Máster “Satisfacción de la demanda de ACS y calefacción en viviendas de turismo solidario en Perú mediante paneles solares térmicos” se propone explorar y documentar la viabilidad y el impacto de la introducción de paneles solares térmicos en viviendas localizadas en cuatro comunidades pertenecientes a los distritos de Ccatcca, Ocongate y Marcapata, situados en la provincia de Quispicanchi, en el departamento de Cusco, Perú. El enfoque del proyecto se centra en el aprovechamiento de la energía solar para hacer frente a las bajas temperaturas que caracterizan los inviernos de la región, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los residentes y apoyar el desarrollo del turismo solidario, un pilar fundamental para la economía local.

La elección de la provincia de Quispicanchi como escenario para este estudio no es casual; representa una oportunidad única para implementar soluciones tecnológicas en un entorno que, se ve enfrentado a desafíos significativos relacionados con el clima. Los paneles solares térmicos ofrecen una alternativa ecológica y sostenible, alineada con las necesidades energéticas y los principios de solidaridad y sostenibilidad que rigen el turismo en la zona.

El presente documento se estructura en torno a un análisis detallado que abarca desde la concepción técnica del sistema de paneles solares térmicos hasta la evaluación de su factibilidad, pasando por la consideración de las variables climáticas y topográficas de la región. Se contempla, asimismo, el impacto socioeconómico de la implementación de esta tecnología, evaluando cómo puede contribuir a mejorar las condiciones de habitabilidad y a generar un entorno más propicio para el turismo solidario.

Se ha diseñado este TFM para que funcione como un compendio de conocimiento interdisciplinario, integrando aspectos de ingeniería, sostenibilidad, y desarrollo comunitario. Se propone un enfoque holístico que no solo atiende a la eficiencia energética y la viabilidad técnica, sino que también incorpora una dimensión social, considerando la participación de la comunidad y la colaboración con la ONG local CCAIJO (Asociación Jesús Obrero).

En consecuencia, este estudio se presenta como una contribución significativa al campo del desarrollo sostenible y como una guía práctica para la implementación de tecnologías limpias en contextos similares, con la esperanza de que los resultados y aprendizajes aquí documentados puedan ser replicados y adaptados para el beneficio de otras comunidades que enfrentan retos comparables.

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La integración de sistemas de calefacción por suelo radiante con paneles solares térmicos es una solución ampliamente estudiada. Se ha demostrado que esta combinación no solo mejora la eficiencia energética, sino que también ofrece un mayor confort térmico. En particular, el uso de colectores solares térmicos planos y de vacío ha sido analizado en diversos estudios, destacando su alta eficiencia y adecuación para climas fríos y templados.

Anteriormente se ha realizado un proyecto similar, denominado “Casas Calientes.” Este proyecto consiste en la implementación de sistemas que incluyen el aislamiento de puertas, ventanas, pisos y techos, que permiten convertir el aire frío del exterior en corrientes de aire caliente, manteniendo la vivienda a temperaturas superiores a los 13 grados centígrados durante las madrugadas.

A pesar de la existencia de estos proyectos y estudios, no existe ningún proyecto similar que integre de manera específica sistemas de ACS y calefacción mediante suelo radiante con paneles solares térmicos en viviendas de turismo solidario en Perú. La posible sinergia entre la implementación de tecnología de paneles solares térmicos para ACS y calefacción por suelo radiante, junto con los métodos utilizados en el proyecto "Casas Calientes", promete ser altamente beneficiosa para la población local. Esta combinación no solo mejorará la eficiencia energética y el confort térmico de las viviendas, sino que también contribuirá significativamente a la sostenibilidad y la calidad de vida de las comunidades altoandinas.

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

3.1 JUSTIFICACIÓN

La justificación de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) se ancla firmemente en la premisa de la responsabilidad social y la mejora del bienestar de la población de provincia de Quispicanchi, enfocándose en cuatro comunidades situadas en la zona montañosa de Perú, a alrededor de 4.000 metros de altura. En esta región, las temperaturas son considerablemente bajas durante gran parte del año, lo que presenta un desafío único para sus habitantes. Las viviendas, mayoritariamente construidas de adobe, carecen de elementos básicos de calefacción, lo que acentúa la dureza del clima y pone en relieve la vulnerabilidad de una comunidad con escasos recursos.

El proyecto de instalación de paneles solares térmicos se justifica por la urgente necesidad de proporcionar una fuente de calor y agua caliente sanitaria que sea tanto efectiva como sostenible. Esta tecnología representa una solución respetuosa con el medio ambiente y adaptada a las condiciones específicas de la región. La implementación de los paneles no solo está diseñada para combatir el frío, sino también para integrarse armónicamente con la estética y las técnicas constructivas locales, como son las viviendas de adobe, sin perturbar su integridad estructural ni su valor cultural.

Al proveer calefacción de manera constante y fiable, este TFM tiene como objetivo mejorar la calidad de vida en las comunidades de Quispicanchi, incrementando el confort térmico en los hogares y reduciendo los riesgos para la salud asociados con las bajas temperaturas. Además, se pretende que este proyecto sea un estandarte del turismo solidario, alineándose con los principios de sostenibilidad y apoyo a la comunidad que atraen a visitantes de todo el mundo a esta región.

La adopción de esta tecnología no busca beneficios económicos directos, sino que aspira a ser un referente de innovación social y compromiso con la equidad energética. Este proyecto se presenta, por tanto, como un esfuerzo por garantizar que los avances en energías renovables lleguen a todos los rincones del mundo, especialmente aquellos donde el acceso a servicios básicos aún representa un desafío considerable. Con este TFM, se espera sentar

un precedente para futuras iniciativas que busquen mejorar la vida de comunidades en zonas de alta montaña y climas extremos.

3.2 OBJETIVOS

Los objetivos del proyecto se pueden resumir en los 8 mencionados a continuación:

1. Implementación de Tecnología Solar Térmica: Diseñar e instalar un sistema de paneles solares térmicos adaptado a las viviendas, optimizando el uso de la radiación solar para la calefacción y el agua caliente sanitaria.
2. Mejora del Confort Térmico: Aumentar el confort térmico en las viviendas de turismo solidario, contribuyendo así al bienestar de sus habitantes y visitantes durante los meses de bajas temperaturas.
3. Promoción de la Salud y la Calidad de Vida: Reducir los riesgos para la salud asociados con el frío extremo, mejorando la calidad de vida de la población local, que actualmente vive sin sistemas de calefacción adecuados.
4. Sostenibilidad y Autonomía Energética: Crear una solución energética sostenible que permita a las comunidades locales ser más autónoma desde el punto de vista energético y menos dependiente de combustibles fósiles.
5. Capacitación y Empoderamiento Comunitario: Capacitar a los miembros de la comunidad en el mantenimiento y la gestión de los paneles solares térmicos, fomentando el empoderamiento local y la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.
6. Impacto Ambiental Positivo: Demostrar el impacto ambiental positivo de la utilización de energías renovables en zonas rurales y de montaña, reduciendo la huella de carbono y promoviendo prácticas ecológicas.
7. Desarrollo del Turismo Sostenible: Fortalecer el turismo solidario y sostenible en la región de Quispicanchi, ofreciendo a los visitantes la experiencia de alojarse en viviendas que utilizan energías limpias y tecnologías respetuosas con el medio ambiente.
8. Modelo Replicable: Desarrollar un modelo replicable y escalable de calefacción solar térmica que pueda ser adaptado en otras comunidades con características climáticas y socioeconómicas similares.

3.3 *IMPACTO SOCIAL*

La implementación de paneles solares térmicos en la región de Quispicanchi es un proyecto que va más allá de la mera provisión de energía sostenible; se adentra en el corazón de la transformación social. Las condiciones de vida en los distritos Ccatcca, Ocongate y Marcapata, están marcados por la precariedad y la falta de recursos básicos, hacen que este proyecto sea no solo necesario, sino potencialmente transformador.

Este proyecto va de la mano con la ONG CCAIJO (Asociación Jesús Obrero), una entidad de servicio y acompañamiento de la población, que brinda capacitación, soporte técnico y es facilitadora de procesos conducentes a generar cambios en la visión y gestión del desarrollo de la provincia de Quispicanchi y de la región de Cusco.

Las viviendas de adobe, típicas de la región, ofrecen un aislamiento térmico insuficiente ante el clima extremadamente frío. La ausencia de agua caliente y suelos de tierra, junto con la dependencia de la madera para cocinar, no solo implica un desafío para el confort y la higiene, sino que también representa serios riesgos para la salud, exacerbados durante los fríos meses de invierno. Además, la naturaleza de las viviendas, compuestas a menudo de un solo espacio, plantea desafíos adicionales para mantener y distribuir el calor de manera eficiente.

La introducción de paneles solares térmicos en este entorno se alinea directamente con las necesidades inmediatas de la comunidad. Puede significar el fin de la exposición al humo nocivo de la madera quemada en espacios cerrados, proporcionando una alternativa de calefacción que es tanto más segura para la salud como más beneficiosa para el medio ambiente. Este cambio podría liberar tiempo y recursos económicos, previamente dedicados a la adquisición y manejo de combustibles tradicionales, que ahora podrían invertirse en otras necesidades o actividades productivas.

El impacto social del proyecto también se extiende al ámbito educativo y de empoderamiento. La capacitación en la instalación, operación y mantenimiento de los paneles no solo proporcionará habilidades valiosas y potencialmente transferibles, sino que también fomentará la autonomía y la resiliencia de la comunidad frente a los desafíos energéticos.

El proyecto propuesto no es simplemente una mejora energética, sino una intervención social integral que aborda las necesidades fundamentales de vivienda, salud y desarrollo económico. Su ejecución consciente y adaptada a las condiciones locales tiene el potencial de servir de modelo para iniciativas similares en otras comunidades de alta montaña y climas fríos, marcando un camino hacia la sostenibilidad y la mejora de la calidad de vida.

3.4 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Este proyecto “Satisfacción de la demanda de ACS y calefacción en viviendas de turismo solidario en Perú mediante paneles solares térmicos” se alinea de manera significativa con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de Naciones Unidas en 2015. A continuación, se detallan los ODS más relevantes del trabajo y su contribución:

- **ODS 1: Fin de la Pobreza:** Este proyecto contribuye directamente a este objetivo al mejorar las condiciones de vida de las comunidades rurales en Perú. La instalación de sistemas de ACS y calefacción mediante energía solar térmica reduce los gastos energéticos de las familias, permitiendo que dispongan de más recursos económicos para otras necesidades básicas. Además, el acceso a energía asequible y sostenible mejora la salud y el bienestar, reduciendo enfermedades relacionadas con el frío y la exposición a contaminantes derivados de la combustión de combustibles fósiles.
- **ODS 3: Salud y Bienestar:** La mejora de la calidad del aire interior es otra ventaja significativa de este proyecto. Al reducir la combustión de materiales tradicionales para calefacción, se disminuye la exposición a contaminantes del aire en interiores, lo cual es beneficioso para la salud de los habitantes. Además, el confort térmico proporcionado por los sistemas de calefacción eficientes contribuye a reducir enfermedades relacionadas con el frío, mejorando así la salud y el bienestar general de las comunidades locales, en línea con las metas del ODS 3.

- **ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante:** Este proyecto promueve el acceso a energía asequible, segura, sostenible y moderna, alineándose con el ODS 7. Al utilizar energía solar térmica, las comunidades pueden reducir su dependencia de combustibles fósiles, mejorando la eficiencia energética de las viviendas y aumentando la proporción de energía renovable en el mix energético local. Esto contribuye significativamente a los objetivos de sostenibilidad energética establecidos para 2030.
- **ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles:** Implementar soluciones de energía renovable en viviendas de turismo solidario también promueve el desarrollo de comunidades más sostenibles y resilientes. Este proyecto no solo proporciona infraestructura energética moderna, sino que también fomenta prácticas de construcción sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. La adaptación de tecnologías avanzadas a contextos rurales y de bajos ingresos contribuye a la creación de asentamientos humanos inclusivos, seguros y sostenibles.

Capítulo 4. ASPECTOS GENERALES

4.1 *NORMATIVA APLICADA*

Para el desarrollo del presente estudio se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

- [1] LEY N° 28832: Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica.
- [2] Norma Técnica I.S.010 Instalaciones sanitarias para edificaciones
- [3] Norma Técnica E.M.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética
- [4] UNE-EN-1264:2022 Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies

4.2 *LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO*

El proyecto se localiza en los distritos de Ccatcca, Ocongate y Marcapata, ubicados en la provincia de Quispicanchi en la Región Cusco. Estas comunidades se encuentran a una altitud aproximada de 4000 metros sobre el nivel del mar. Esta ubicación geográfica es particularmente significativa debido a su clima, caracterizado por temperaturas bajas, especialmente durante los meses de invierno. La elevada altitud y las condiciones climáticas de la zona influyen directamente en la eficiencia de los sistemas de paneles solares térmicos que se pretenden instalar.

El entorno montañoso presenta desafíos únicos que deben ser cuidadosamente considerados en la planificación y ejecución del proyecto. Estos incluyen la variabilidad del acceso solar debido a la topografía local, así como la necesidad de integrar las soluciones tecnológicas de manera que complementen y respeten tanto el paisaje natural como el patrimonio construido de la región. La localización geográfica, por lo tanto, no solo define las necesidades energéticas, sino que también enmarca la solución propuesta en un contexto de sostenibilidad ambiental y social.

4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS

Este proyecto se realizará en un total de 24 viviendas localizados en la región montañosa de Cusco, Perú. Estas edificaciones se localizan en 4 comunidades, pertenecientes a tres distritos Ccatcca, Ocongate y Marcapata. La Ilustración 1: Edificación característica de la región ilustra un ejemplo de vivienda característica de la zona.



Ilustración 1: Edificación característica de la región

La característica principal de estas edificaciones es la autoconstrucción. Estas edificaciones disponen de acceso a electricidad y agua corriente. Los edificios se dividen de la siguiente forma:

Localización	Viviendas
Cuyuni	5
Pachantta	5
Andamayo	7
Yanacancha	7

Tabla 1: Localización de los edificios

Dado que la construcción de las viviendas y de los centros de interpretación es muy similar, el proyecto se realizará para un único edificio que abarque ambos tipos. El material de construcción es común, debido a la utilización de los recursos de la región:

- 80% adobe.
- 19% piedra y barro.
- 1% material noble.

En cuanto a lo relacionado con el techo de las edificaciones, principalmente se construyen de teja, seguido de calamina y paja. En la Tabla 2: Características de las edificaciones se muestran más características de las viviendas.

	Rango bajo	Rango alto
Dimensión	50 m2	100m2
Dimensión espacios	10m2	20m2
Ocupación	2	4
Pisos	1	2

Tabla 2: Características de las edificaciones

Para este proyecto se realizará la instalación para un único edificio, de forma que abarque la totalidad de viviendas antes mencionadas. Las características de la vivienda a dimensionar serán las mostradas en la Tabla 3: Características de la edificación a dimensionar.

Características	a dimensionar
Dimensión	80 m2
Dimensión espacios	20m2
Número de espacios	4
Ocupación	4
Pisos	1
Material construcción	Adobe, piedra y barro
Material tejado	Teja

Tabla 3: Características de la edificación a dimensionar

4.4 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una fuente inagotable y limpia, jugando un papel crucial en la transición energética global hacia la sostenibilidad. Gracias a los paneles fotovoltaicos, térmicos e híbridos, se puede aprovechar la radiación proveniente del sol para generar electricidad y calor. Gracias a la fácil adaptabilidad de esta tecnología tanto a grandes escalas como a pequeñas instalaciones la convierte en una opción óptima para enfrentarse a los desafíos energéticos que nos deparan en el futuro. Además, esta tecnología ayuda a la reducción de la huella de carbono, así como reduce la dependencia de los combustibles fósiles, ofreciendo una alternativa ecológica y económica a largo plazo.

4.4.1 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es la energía emitida por el sol, que llega a la Tierra en forma de luz solar. Esta radiación es fundamental para la vida en nuestro planeta y es también la fuente de energía que se aprovecha en los sistemas solares, tanto fotovoltaicos como térmicos. Los distintos tipos de radiación solar que son relevantes para los sistemas solares incluyen:

- **Radiación Directa:** Es la radiación solar que llega directamente del sol sin ser afectada por la atmósfera, excepto por la absorción. Esta radiación es importante para sistemas de paneles solares con seguidores que se orientan directamente hacia el sol durante todo el día.
- **Radiación Difusa:** Es la radiación que ha sido dispersada por moléculas y partículas en la atmósfera. A diferencia de la radiación directa, la radiación difusa no viaja en una línea recta y puede llegar a los paneles solares desde diferentes direcciones.
- **Radiación Global:** Es la suma de la radiación directa y la radiación difusa que llega a una superficie horizontal en la Tierra. Este tipo de radiación es la que normalmente se mide en estaciones meteorológicas y es un factor clave en el cálculo del rendimiento de los paneles solares térmicos y fotovoltaicos.
- **Radiación Reflejada:** Parte de la radiación solar es reflejada por el suelo y otras superficies antes de llegar al panel. Aunque esta es una pequeña porción del total, en

ciertas condiciones, como en zonas con mucha nieve, puede ser significativa debido a la alta reflectividad del entorno.

La radiación solar y su intensidad pueden variar significativamente según la ubicación geográfica, la altitud, la hora del día, la estación del año y las condiciones climáticas. En estas regiones, la alta altitud puede aumentar la cantidad de radiación solar directa disponible, lo que potencialmente mejora la eficacia de los paneles solares térmicos destinados a la calefacción de espacios. Sin embargo, también es importante considerar que las temperaturas más frías pueden afectar la eficiencia operativa de los sistemas.

Entender estos tipos de radiación solar es crucial para el diseño óptimo de un sistema de paneles solares, permitiendo maximizar la captación de energía solar y optimizar el rendimiento del sistema de acuerdo con las necesidades específicas del proyecto y las condiciones locales.

4.4.2 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

A nivel residencial, la energía solar térmica se aplica para generar agua caliente destinada para agua caliente sanitaria (ACS) y para calefacción. En las placas solares térmicas, al recibir radiación solar, se calienta el fluido que circula por los conductos. Este fluido puede usarse directamente si se tratase de agua, en cambio, si se trata de otro fluido se deberá usar un circuito secundario conectado a través de un intercambiador de calor.

En comparación con otros sistemas fotovoltaicos, este sistema se caracteriza por un mayor rendimiento, llegando hasta el 70%. Además, esta tecnología es relativamente sencilla y de fácil instalación. No obstante, también presenta inconvenientes, siendo esta una vida útil relativamente corta y un rendimiento reducido durante el invierno, coincidiendo con una mayor demanda de agua caliente.

4.5 *CONDICIONES CLIMÁTICAS*

Las condiciones climáticas exteriores juegan un papel crucial en la concepción y ejecución de este proyecto. Estas condiciones, que varían con las estaciones y se manifiestan a través

de la radiación solar, la infiltración de aire y la transferencia de calor, son las fuerzas fundamentales que el sistema de paneles solares térmicos está diseñado para mitigar. Al dimensionar y calcular las especificaciones del sistema, se prestará especial atención a las circunstancias climáticas más adversas de la región, asegurando así que las instalaciones ofrezcan rendimiento y confort óptimos a lo largo de todo el año. La meticulosa evaluación de estas variables externas es esencial para garantizar que las soluciones propuestas estén alineadas con los retos que impone el entorno natural en esta región.

4.5.1 IRRADIACIÓN SOLAR

Los datos de radiación solar que llegan a la tierra se miden a través de la irradiación global horizontal (GHI). La radiación solar directa, que es más intensa en altitudes elevadas, proporciona una oportunidad única para aprovechar la energía del sol para la calefacción de espacios. El programa PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), de la Comisión Europea, permite obtener los promedios mensuales de radiación solar para la ubicación seleccionada, representando mediante gráficos o tablas cómo la irradiación solar promedio varía a lo largo de un periodo plurianual. Se proporcionan resultados para la Irradiación Normal Directa (IND), irradiación en un plano a 15° sobre la horizontal (inclinación típica de un tejado a dos aguas) y la temperatura media mensual. Se han obtenido los siguientes datos de los últimos 15 años disponibles, 2005-2020 mediante el programa [2] PVGIS:

- Irradiación en plano horizontal (kWh/m²)
- Irradiación a 15° sobre la horizontal (kWh/m²)
- Promedio de temperatura de 24 horas (grados Celsius)

Mes	Irradiación media (kWh/m ²)	Irradiación media a 15° (kWh/m ²)	T media (°C)
Enero	179.9	168.8	8.6
Febrero	154.0	149.5	8.5
Marzo	171.9	174.4	8.5
Abril	159.7	171.5	8.1
Mayo	158.2	180.0	7.6
Junio	145.4	169.7	6.9

Julio	158.1	182.4	6.6
Agosto	179.2	198.1	7.2
Septiembre	192.3	200.7	8.0
Octubre	202.7	199.7	8.8
Noviembre	191.0	180.3	9.2
Diciembre	177.2	165.5	8.8
Media	172.5	178.4	8.1

Tabla 4: Datos de irradiación mensual

4.5.2 HORAS DE SOL

La cantidad de horas de sol en una localidad es un factor determinante en la viabilidad y eficiencia de un proyecto como este. Esta región, a pesar de sus bajas temperaturas, se beneficia de una exposición solar significativa debido a su elevada altitud y su localización geográfica. En el contexto de este proyecto, las horas de sol disponibles no solo influirán en el diseño y la orientación óptima de los paneles, sino también en la previsión de la capacidad de calefacción y en la estimación del retorno de la inversión en términos de ahorro energético y confort térmico. En la Tabla 5: Horas de sol. Fuente: climate-data.org se muestran las horas de sol promedio por mes:

Mes	Horas de sol diarias
Enero	5.7
Febrero	5.3
Marzo	5.6
Abril	6
Mayo	6.6
Junio	7
Julio	7.1
Agosto	7.5
Septiembre	7.4
Octubre	7
Noviembre	7.2
Diciembre	6.3

Tabla 5: Horas de sol. Fuente: climate-data.org

Cabe destacar que aquellos meses de verano (Diciembre – Abril) son aquellos con menos aporte de luz solar. Esto se debe a que coincide con la época de lluvias, resultando en una media de horas de sol diarias menor que en otras épocas del año.

4.5.3 TEMPERATURA EXTERIOR

La temperatura exterior es un elemento crítico en el diseño y la implementación de sistemas de paneles solares térmicos en la región de Quispicanchi. La efectividad con la que estos sistemas convierten la energía solar en calor para calefacción está directamente relacionada con las temperaturas ambientes externas. Esta región sufre de temperaturas extremadamente frías, la demanda de calefacción será significativa. En la Tabla 6: Temperaturas mensuales. Fuente: Ministerio del Ambiente de Perú se muestran las temperaturas medias mensuales máximas y mínimas desde 1999 hasta 2015:

Mes	Temperatura máxima	Temperatura máxima media	Temperatura mínima media	Temperatura mínima
Diciembre	26.6	21.5	8.3	5.4
Enero	25.4	21.1	8.2	4.8
Febrero	28.8	20.9	8.4	4.2
Marzo	26.0	21.3	8.2	4.0
Abril	26.0	22.3	6.8	-0.2
Mayo	33.2	22.6	4.4	-3.0
Junio	25.8	22.5	2.8	-3.4
Julio	26.0	22.1	2.3	-5.8
Agosto	26.8	22.7	3.7	-5.6
Septiembre	26.6	22.6	6.1	1.0
Octubre	26.2	22.3	7.2	0.2
Noviembre	26.8	22.8	8.0	4.8
Máximas/Mínimas	33.2	22.1	6.2	-5.8

Tabla 6: Temperaturas mensuales. Fuente: Ministerio del Ambiente de Perú

4.5.4 ZONA BIOCLIMÁTICA

Perú se encuentra dividido en nueve zonas bioclimáticas, definidas en la Norma Técnica E.M.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética. La importancia de definir las zonas recae en la optimización del diseño, minimizando los recursos energéticos y el aprovechamiento de los recursos naturales. En el caso de la región de Quispicanchi, se encuentra en la zona bioclimática 4, Mesoandino.

Zona Bioclimática	Denominación
1	Desértico costero
2	Desértico
3	Interandino bajo
4	Mesoandino
5	Altoandino
6	Nevado
7	Ceja de Montaña
8	Subtropical húmedo
9	Tropical húmedo
1	Desértico costero

Tabla 7: Zonas bioclimáticas Perú

4.5.5 CONFORT TÉRMICO

Según la guía peruana **Error! Reference source not found.**, la temperatura de confort térmico se define en función de la temperatura media mensual exterior.

$$T_n = 18.9 + (0.255 * T_m)$$

Siendo:

T_n = Temperatura neutra °C.

T_m = Temperatura media °C.

La tempera neutra se define como aquella a la cual el 90% de las personas se encuentran en confort cuando esta se encuentra en un rango de ± 2 °C. Sin embargo, para climas fríos, el rango se puede aumentar a ± 3.5 °C, rango en el que se considera que el 80% de las personas se encontrarían en la temperatura de confort.

4.6 CONDICIONES DE LA DEMANDA

4.6.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE ACS

La demanda de agua caliente sanitaria será la que se establece a continuación para viviendas unifamiliares o multifamiliares, dependiendo únicamente del número de dormitorios por vivienda. Las cantidades que se indican son parte de las dotaciones de agua establecidos en la norma peruana Norma Técnica I.S.010 Instalaciones sanitarias para edificaciones. Estos datos de demanda se incluyen todos los consumos de una vivienda unifamiliar.

Dormitorios por vivienda	Dotación diaria (L)
1	120
2	250
3	390
4	420
5	450
+5	80l/dormitorio adicional

Tabla 8: Demanda diaria de ACS para viviendas unifamiliares

Dado que la normativa peruana no provee de una información detallada sobre la implementación de sistemas de obtención de ACS, la norma española (Código Técnico de Edificación CTE) indica que, para viviendas unifamiliares o multifamiliares, el consumo diario por persona es de 28L, criterio que será utilizado para el cálculo de la demanda. El CTE, además, provee con criterios para la evaluación de la temperatura del agua caliente y el consumo promedio de ACS.

Mes	Días	Demanda diaria (l)	Demanda mensual (l)	Demanda mensual (m3)
-----	------	--------------------	---------------------	----------------------

	ICAI	ICADE	CIHS	
Enero	31	112	3472	3.472
Febrero	28	112	3136	3.136
Marzo	31	112	3472	3.472
Abril	30	112	3360	3.36
Mayo	31	112	3472	3.472
Junio	30	112	3360	3.36
Julio	31	112	3472	3.472
Agosto	31	112	3472	3.472
Septiembre	30	112	3360	3.36
Octubre	31	112	3472	3.472
Noviembre	30	112	3360	3.36
Diciembre	31	112	3472	3.472
Anual	365	-	40880	40.88

Tabla 9: Demanda mensual de ACS

4.7 SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

Un sistema solar térmico es una tecnología diseñada para captar y convertir la energía solar en energía térmica, empleada principalmente para la calefacción de espacios y la generación de agua caliente sanitaria. La radiación solar es aprovechada para calentar un fluido, normalmente agua o una mezcla de agua y anticongelante, en el interior de los colectores solares.

Un sistema solar térmico está compuesto por los captadores solares, un sistema de almacenamiento, normalmente un depósito, un sistema de circulación. El sistema de circulación puede realizarse de varios tipos: Por bomba, gravedad o termosifón. El sistema general puede ser:

- Circuito abierto: Sin intercambiador. El circuito primario está conectado con el acumulador de forma que el agua que pasa por los colectores es la misma que la que se utiliza para el consumo

- Circuito cerrado: En un sistema cerrado se calienta la mezcla de agua y líquido anticongelante en los captadores solares y mediante un intercambiador de calor, se calienta el agua para su utilización.

4.7.1 COLECTORES SOLARES

Los captadores solares, son dispositivos diseñados para captar la energía solar y convertirla en energía térmica. Este elemento es el responsable de absorber la radiación solar y transferir el calor al fluido que circula por dentro del captador. Principalmente existen dos tipos de captadores solares: De alta o de baja temperatura, dependiendo si son capaces de calentar el fluido, por encima de su temperatura de ebullición (100°C en el caso del agua). Otra solución disponible son los colectores solares de tubos de vacío, compuestos de doble cubierta envolvente cerrada al vacío en el interior de ambos tubos, minimizando las pérdidas por convección y conducción.

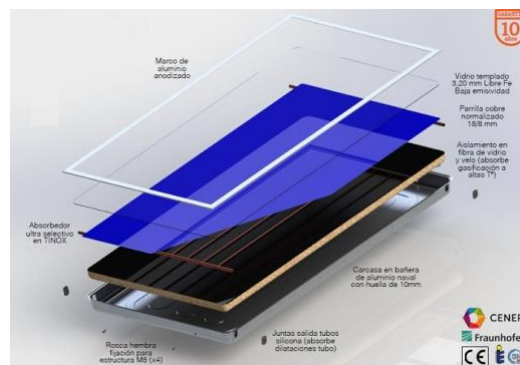


Ilustración 2: Ejemplo panel solar térmico

4.7.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR

En una instalación de tipo cerrado, el intercambiador de calor es el elemento donde se produce el intercambio de calor entre el fluido proveniente del colector (caliente) y el agua potable (frío) sin que ambos fluidos entren en contacto. Este tipo de instalación se utiliza normalmente cuando el fluido que recorre el colector puede llegar a congelarse debido a las condiciones climatológicas, por ello se utiliza un anticongelante con propiedades óptimas

además de prevenir la corrosión y la cavitación. En muchas ocasiones, el propio acumulador está dotado de un intercambiador de calor en su interior.

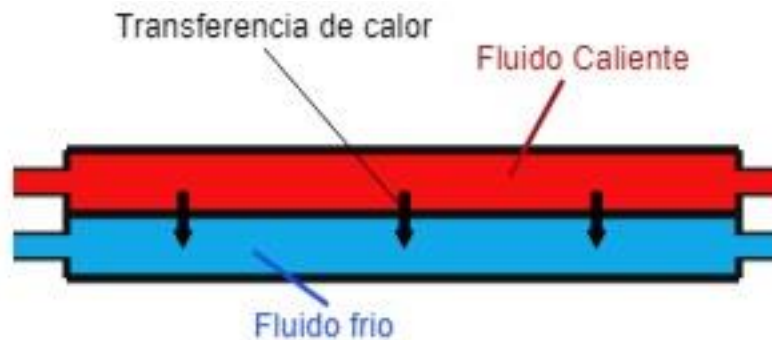


Ilustración 3: Imagen simplificada de un intercambiador de calor

4.7.3 ACUMULADORES

Los acumuladores juegan un papel crucial en las instalaciones de agua caliente sanitaria (ACS) y sistemas de suelo radiante alimentados por placas solares térmicas. Estos elementos se encargan de almacenar el calor generado por los colectores solares, permitiendo una gestión eficiente y constante del suministro de energía térmica tanto para la calefacción de espacios como para el suministro de agua caliente. Al integrar acumuladores en estas instalaciones, se optimiza el uso de la energía solar, mejorando la eficiencia del sistema y garantizando la disponibilidad de calor incluso en periodos de baja irradiación solar.

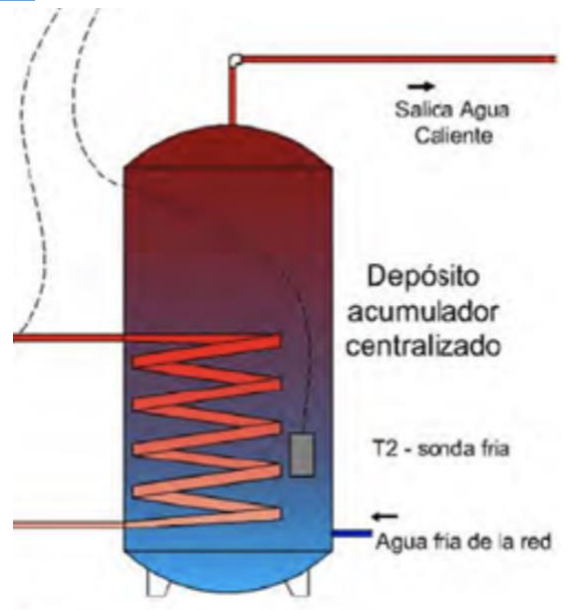


Ilustración 4: Esquema simplificado de un acumulador

4.7.4 BOMBAS

Las bombas garantizan la circulación eficiente del fluido caloportador entre los colectores solares y el tanque de almacenamiento. Estas están diseñadas para mantener un flujo continuo y constante del fluido, optimizando así la transferencia de calor desde los colectores hasta el agua almacenada. La selección y dimensionamiento adecuado maximiza la eficiencia de la instalación, así como realizar un mantenimiento adecuado a lo largo del tiempo.

4.7.5 RED HIDRÁULICA

La red hidráulica se encarga de mover el fluido. Esta red incluye tuberías, válvulas y conexiones que conectan los colectores solares con el tanque de almacenamiento y los puntos de consumo. Las tuberías, generalmente de cobre, junto con un aislamiento adecuado aseguran un rendimiento eficiente y un suministro constante de agua caliente.

Capítulo 5. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE ACS

5.1 CONFIGURACIÓN BÁSICA

El sistema de placas solares térmicas en circuito abierto para una vivienda unifamiliar, diseñado para suministrar agua caliente sanitaria (ACS), consta de colectores solares instalados en techo o en las proximidades de la vivienda, inclinados a 15° para maximizar la captación de radiación solar. Estos colectores están conectados a un acumulador de agua, que almacena el agua calentada por los colectores. Debido a las características de la instalación se ha elegido un sistema de circuito abierto. En un circuito abierto, el agua fría circula por los colectores solares, donde se calienta, y se almacena directamente en el acumulador para su uso como ACS, sin necesidad de intercambiadores de calor. Este sistema es eficiente y simple, ideal para viviendas unifamiliares, optimizando el uso de la energía solar y reduciendo la dependencia de fuentes de energías convencionales.

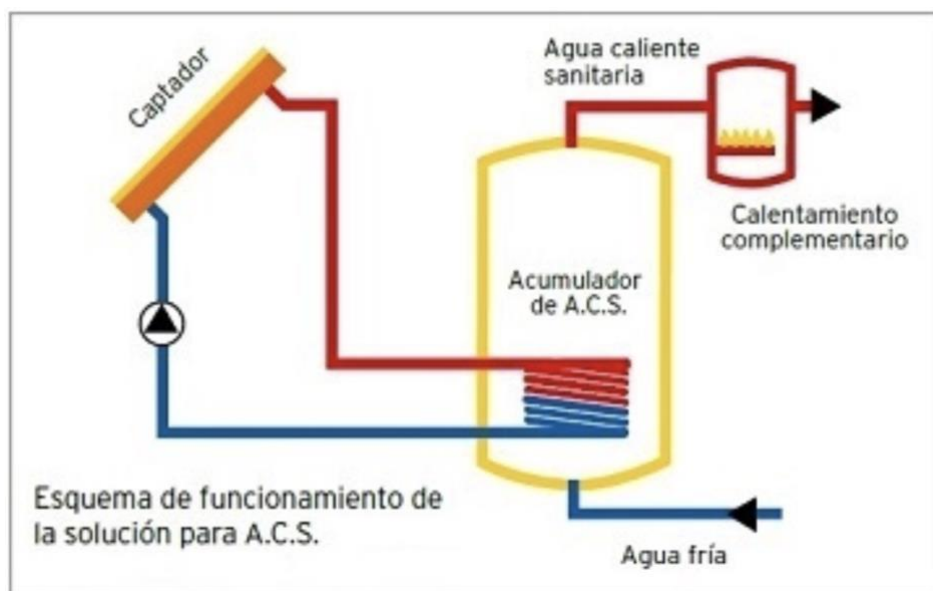


Ilustración 5: Configuración circuito abierto sistema de paneles solares térmicos para ACS

5.1.1 INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LOS PANELES SOLARES TÉRMICOS

La inclinación y orientación de los paneles solares térmicos son factores críticos que determinan su eficiencia y rendimiento. Además, la orientación óptima para los paneles solares térmicos en el hemisferio sur es hacia el norte, lo que asegura la máxima exposición al sol a lo largo del día. Estos ajustes permiten que los sistemas solares térmicos operen con la máxima eficiencia. Según la información aportada por PVGIS, se ha elegido una inclinación de la instalación de 15° debido ser un valor estándar para este tipo de instalaciones. Además, se ha calculado la diferencia entre la una inclinación de 15° y el ángulo óptimo (18°), cuya diferencia absoluta media anual es del 0.0752%. En cuanto a la orientación de las placas solares térmicas, debido a que el montaje será sobre suelo, facilita la orientación de las placas, recomendándose un ángulo de azimut de 0° , es decir, orientadas hacia el norte.

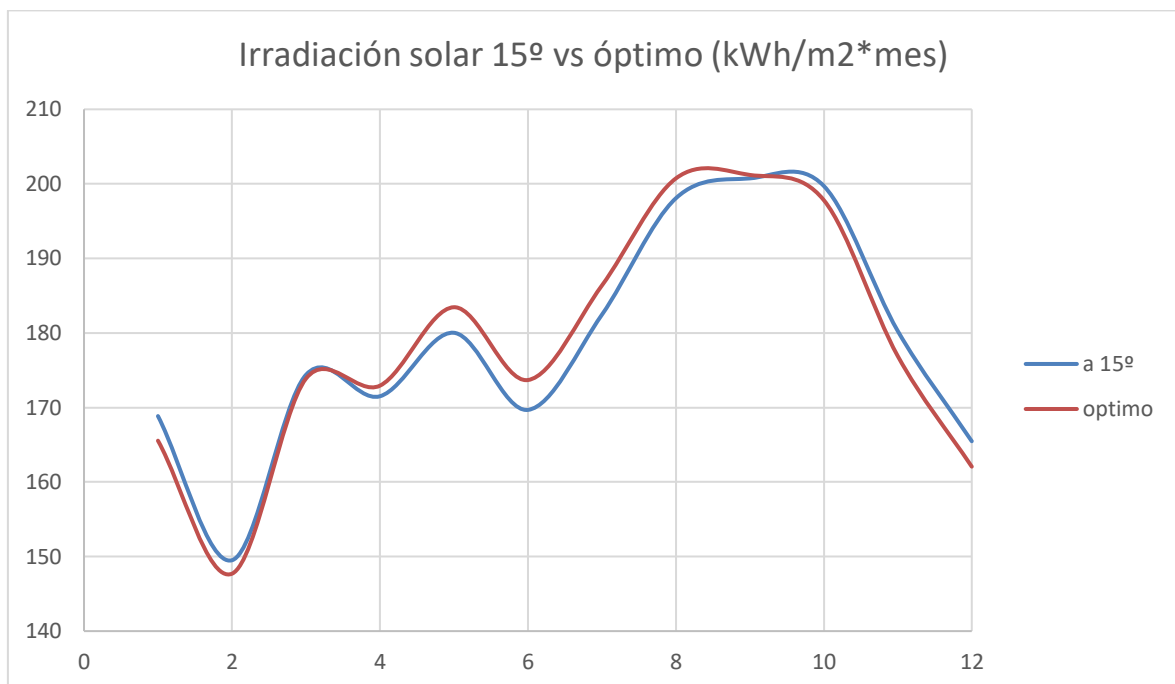


Ilustración 6: Irradiación solar a 15° vs óptimo(18°)

5.2 *METODOLOGÍA*

5.2.1 RENDIMIENTO DEL COLECTOR SOLAR

La eficiencia en los paneles solares térmicos es la capacidad del sistema para convertir la energía solar incidente en energía térmica útil. La eficiencia de los colectores solares térmicos depende de varios factores, incluyendo la calidad del material del colector, el diseño del sistema, las condiciones climáticas y la temperatura de operación. Las pérdidas en los colectores solares pueden ser causadas por la convección, por conducción y por radiación. Además, existirían pérdidas asociadas al mal mantenimiento de los colectores, como las pérdidas por ensuciamiento. Este modelo matemático se utiliza habitualmente y que describe la curva característica del rendimiento de un captador:

$$\eta_m = \eta_0 - k_1 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right) - k_2 \left(\frac{(T_m - T_a)^2}{I} \right)$$

η_m : Rendimiento del colector solar.

η_0 : Factor de ganancia según ficha técnica.

k_1 : Coeficiente lineal de pérdidas [W/m²K].

k_2 : Coeficiente cuadrático de pérdidas [W/m²K].

T_m : Temperatura media del fluido.

T_a : Temperatura ambiente.

I : Irradiancia [W/m²].

Los valores η_0 , k_1 y k_2 se pueden obtener de la ficha técnica de los colectores que proporcional el fabricante. Además, se aplicará un factor de corrección de 0.94 que refleja las pérdidas debido que los rayos de sol no inciden siempre perpendiculares al colector solar, considerando también factores como la suciedad o envejecimiento del colector solar (CENSOLAR 2007, manual de diseño e instalación de placas solares térmicas).

5.2.2 ENERGÍA SOLAR ÚTIL

La energía solar útil es la capacidad de los colectores de aprovechar la energía solar para calentar el agua de la red para su posterior uso. Para el cálculo de la energía solar útil se multiplica la energía solar disponible por las pérdidas y rendimientos del sistema:

$$E_{\text{útil}} = E_{\text{total}} * \eta_m * f_p$$

E_{total} : Energía solar disponible.

η_m : Rendimiento del Colector.

f_p : Factor de pérdidas.

El factor de pérdidas (f_p) incluye las pérdidas de calor en los componentes de la instalación, como el acumulador de agua y el intercambiador de calor. Generalmente se recomienda un el uso de un factor de pérdidas de entre un 10% y un 20% (CENSOLAR 2007). Para esta instalación se han estimado unas pérdidas medias del 15%, por lo que se utilizará un factor de pérdidas de 0.85.

5.2.3 APOORTE SOLAR DEL SISTEMA

El aporte solar del sistema muestra el porcentaje de la demanda energética que es cubierto por los colectores solares. Para calcularlo, primero es necesario determinar el área de captación solar requerida, la cantidad de colectores a utilizar y la energía solar neta útil.

5.2.3.1 Área de captación requerida

El área de captación solar necesaria es la superficie de los colectores que se requiere para cubrir la demanda energética. Para calcular esta área, se deben considerar tanto la demanda energética como la energía solar neta útil anual:

$$A_{capt} (m^2) = \frac{Demanda (kWh)}{Irradiación (\frac{kWh}{m^2})}$$

5.2.3.2 Número de colectores

Una vez conocida el área de captación necesaria para el aporte de energía requerido por el sistema, se elegirán el número de captadores en función del área necesaria y el área de cada captador. Se redondeará al número entero superior de forma que siempre se cubra la demanda del sistema.

$$N_c \geq \frac{A_{solar}}{A_c}$$

5.2.3.3 Energía aportada por los colectores

La energía de colectores multiplicado por el número de colectores tiene que ser superior a la energía demandada por el sistema, de forma que se cubra la demanda. Se calculará de la siguiente forma:

$$E_{total.c} = E_c * N_c$$

$$Q_d \geq E_{total.c}$$

5.3 CÁLCULO DE LA ENERGÍA SOLAR

5.3.1 CÁLCULO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA

El cálculo de la demanda energética depende de la demanda mensual de agua caliente sanitaria (ACS), el calor específico del fluido y la diferencia de temperaturas entre la temperatura de la red y la temperatura deseada. Para calcular la demanda energética destinada a ACS mensual se utilizará la siguiente expresión (IDAE, Guía técnica de agua caliente sanitaria):

$$Q_{Mensual} = D_{Mensual ACS} * C_{e fluido} * (T_{uso} - T_{Red})$$

Donde:

$Q_{Mensual}$ = Demanda energética mensual (MJ).

$D_{Mensual ACS}$ = Demanda mensual de agua caliente (m3).

$C_{e fluido}$ = Calor específico del fluido.

T_{uso} = Temperatura deseada (°C).

T_{Red} = Temperatura media mensual de la red (°C).

Mes	m3	Salto T°	J/mes	kWh/mes
Enero	3.472	45	653.71	181.59
Febrero	3.136	45	590.45	164.01
Marzo	3.472	45	653.71	181.59
Abril	3.36	45	632.62	175.73
Mayo	3.472	45	653.71	181.59
Junio	3.36	45	632.62	175.73
Julio	3.472	45	653.71	181.59
Agosto	3.472	45	653.71	181.59
Septiembre	3.36	45	632.62	175.73
Octubre	3.472	45	653.71	181.59
Noviembre	3.36	45	632.62	175.73
Diciembre	3.472	45	653.71	181.59
Anual	40.88		7,696.89	2,138.02

Tabla 10: Demanda mensual energética para ACS

En la Tabla 10: Demanda mensual energética para ACS observamos la demanda mensual energética para el sistema de Agua Caliente Sanitaria. Dado que la temperatura anual media de la red es de 15°C y la temperatura deseada es de 60°C, obtendremos un salto de temperaturas de 45°C. Observamos que la demanda energética es relativamente estable todo el año. La temperatura de funcionamiento deseado es de 60°C, de acuerdo con lo recomendado por el Código Técnico de Edificación Español para un uso de Agua Caliente Sanitaria en una vivienda unifamiliar. Dado que no hay información sobre la temperatura de

agua de red en la región, la temperatura de red elegida es de 15°C en función de las temperaturas ambientales medias anuales.

5.3.2 CÁLCULO DE LA ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE

El sol es la fuente principal de energía en el caso de proyectos de paneles solares térmicos para agua caliente sanitaria. La irradiación solar es captada por los colectores y utilizada para calentar el fluido. Los datos de irradiación solar se han obtenido del programa online ofrecido por la Comisión Europea, PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Se han obtenido los datos de irradiación mensual media en un plano a 15° de los últimos 15 años (2005-2020), tal y como se muestra en la Tabla 11: Irradiación solar media. Fuente: PVGIS

Mes	Irradiación Global (kWh/m ² /mes)	Irradiación Directa (kWh/m ²)	Irradiación Difusa (kWh/m ²)	Kd Ratio irradiación Global/difusa
Enero	168.8	91.4	77.5	0.459
Febrero	149.5	77.7	71.8	0.480
Marzo	174.4	101.6	72.8	0.418
Abril	171.5	111.2	60.3	0.352
Mayo	180.0	130.4	49.6	0.276
Junio	169.7	124.8	44.9	0.264
Julio	182.4	136.5	46.0	0.252
Agosto	198.1	148.9	49.1	0.248
Septiembre	200.7	146.4	54.3	0.271
Octubre	199.7	132.9	66.8	0.334
Noviembre	180.3	111.0	69.3	0.384
Diciembre	165.5	85.7	79.7	0.482
Media	178.4	116.5	61.8	0.352

Tabla 11: Irradiación solar media. Fuente: PVGIS

5.3.3 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL COLECTOR SOLAR

Para el cálculo del rendimiento de cada colector se tendrán en cuenta la información proveniente de la ficha técnica de los fabricantes y la irradiancia (W/m^2). La irradiación se ha obtenido en función de la irradiación media de la Tabla 11: Irradiación solar media. Fuente: PVGIS y las horas de sol mensuales de la Tabla 5: Horas de sol. Fuente: climate-data.org. De esta forma obtenemos el rendimiento del colector solar:

Mes	Irradiancia W/m^2	Rendimiento colector
Enero	955.543	0.604
Febrero	1007.459	0.613
Marzo	1004.443	0.612
Abril	952.795	0.604
Mayo	879.869	0.590
Junio	807.973	0.574
Julio	828.882	0.579
Agosto	851.892	0.584
Septiembre	904.209	0.595
Octubre	920.377	0.598
Noviembre	834.528	0.580
Diciembre	847.270	0.583

Tabla 12: Rendimiento del colector

5.3.4 CÁLCULO DE LA ENERGÍA SOLAR ÚTIL

Debido al rendimiento del colector y el factor de pérdidas, la energía total útil es menor que la irradiación solar mensual, tal y como se muestra en la Tabla 13: Energía solar útil:

Mes	Irradiación Global (kWh/m ² /mes)	Rendimiento Colector	Factor de pérdidas	Energía Solar Útil (kWh/m ² /mes)
Enero	168.8	0.604	0.85	86.72
Febrero	149.5	0.613	0.85	77.88
Marzo	174.4	0.612	0.85	90.77
Abril	171.5	0.604	0.85	88.01
Mayo	180.0	0.590	0.85	90.26
Junio	169.7	0.574	0.85	82.74
Julio	182.4	0.579	0.85	89.74
Agosto	198.1	0.584	0.85	98.30
Septiembre	200.7	0.595	0.85	101.48
Octubre	199.7	0.598	0.85	101.49
Noviembre	180.3	0.580	0.85	88.86
Diciembre	165.5	0.583	0.85	81.98
Media	178.4	0.593	0.85	89.85

Tabla 13: Energía solar útil

5.3.5 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PLACAS SOLARES TÉRMICAS

Para el cálculo del número de placas solares térmicas se han tenido en cuenta el área absorbente de la ficha técnica aportada por el fabricante, así como la demanda de energía y la energía solar útil. Tal y como se puede observar en la Tabla 14: Cálculo del número de . Eligiendo una terma del modelo SUNRAIN de 20 colectores (ANEXO II: Ficha técnica terma solar), se cumple con la demanda ya que el número mínimo de placas solares térmicas para cumplir con la demanda es de 0.73, coincidiendo con el mes de diciembre.

Mes	Demanda Energía (kWh/mes)	Energía Solar Útil (kWh/m ² /mes)	Superficie necesaria (m ²)	Área Colectores (m ²)	Número de colectores
Enero	181.59	80.08	2.27	3.280	0.69
Febrero	164.01	72.00	2.28	3.280	0.69
Marzo	181.59	83.90	2.16	3.280	0.66
Abril	175.73	81.27	2.16	3.280	0.66
Mayo	181.59	83.17	2.18	3.280	0.67
Junio	175.73	76.06	2.31	3.280	0.70
Julio	181.59	82.56	2.20	3.280	0.67
Agosto	181.59	90.51	2.01	3.280	0.61
Septiembre	175.73	93.58	1.88	3.280	0.57
Octubre	181.59	93.63	1.94	3.280	0.59
Noviembre	175.73	81.77	2.15	3.280	0.66
Diciembre	181.59	75.47	2.41	3.280	0.73
Anual	2,138.02	994.00	2.15	3.280	0.66

Tabla 14: Cálculo del número de placas solares térmicas para ACS

5.3.6 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE ACS APORTADA POR EL SISTEMA

La energía aportada por el sistema resulta del producto de la energía solar neta útil anual y el área de captación total del sistema. Se comprueba que la energía solar aportada sea mayor que la demanda de energía mediante el % de energía aportada respecto a la demanda, tal y como se puede apreciar en la Tabla 15: Energía solar aportada.

Mes	Energía Solar Útil (kWh/m2/mes)	Energía Solar aportada (kWh/mes)	Demanda Energía (kWh/mes)	% de Energía Aportada
Enero	80.08	262.65	181.59	145%
Febrero	72.00	236.16	164.01	144%
Marzo	83.90	275.20	181.59	152%
Abril	81.27	266.55	175.73	152%
Mayo	83.17	272.81	181.59	150%
Junio	76.06	249.48	175.73	142%
Julio	82.56	270.79	181.59	149%
Agosto	90.51	296.86	181.59	163%
Septiembre	93.58	306.94	175.73	175%
Octubre	93.63	307.12	181.59	169%
Noviembre	81.77	268.21	175.73	153%
Diciembre	75.47	247.54	181.59	136%
Anual	994.00	3260.31	2138.02	152%

Tabla 15: Energía solar aportada

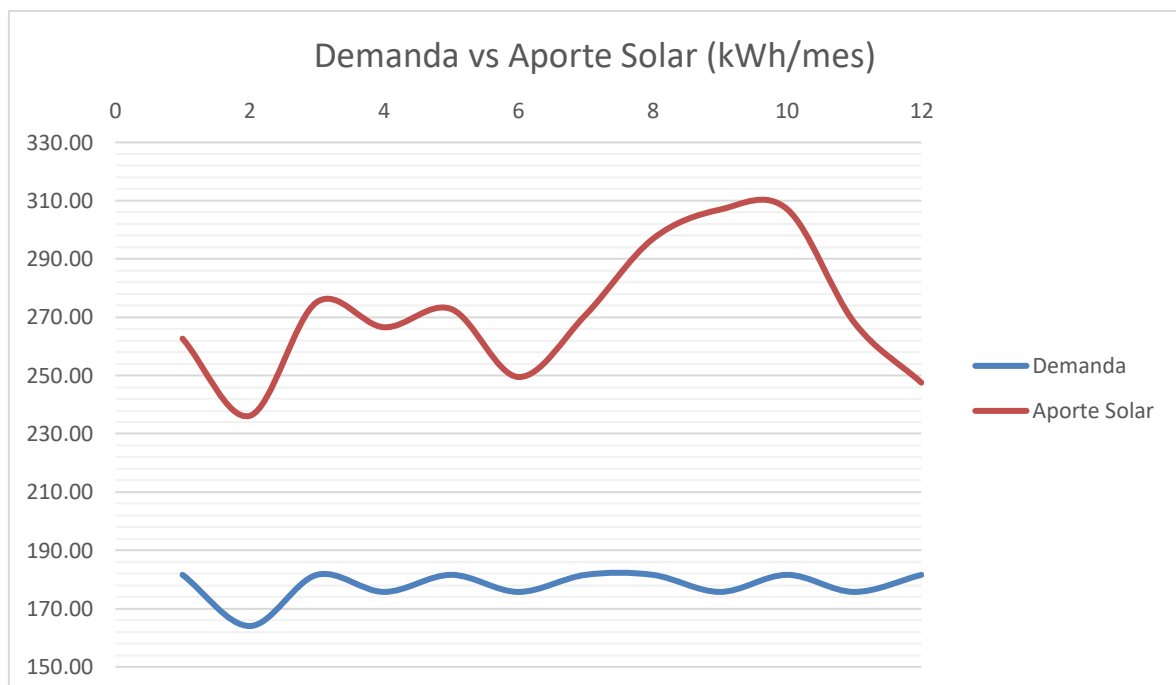


Ilustración 7: Gráfica demanda vs aporte solar (kWh/mes)

En la Ilustración 7: Gráfica demanda vs aporte solar (kWh/mes), se puede observar la demanda y el aporte energéticos mensual por los colectores. Se puede observar que durante

los meses de Noviembre a Junio, la energía solar es menor debido a la temporada de lluvias, que disminuyen notablemente a la irradiación solar.

5.4 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE ELEMENTOS HIDRÁULICOS

5.4.1 ACUMULADOR

A la hora de dimensionar el tamaño del acumulador para la instalación de ACS con paneles solares térmicos se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser ésta simultánea con la generación tal y como marca el CTE. Para esta aplicación el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

A: Área total de los captadores, expresada en m².

V: Volumen del depósito de acumulación solar, expresado en l.

De esta forma, dado que el área total de los colectores es de 3.28 m², el acumulador deberá estar dentro del rango 164 L y 590,4 L. Teniendo en cuenta que la demanda diaria es de 112 litros (28 litros por persona), se elegirá un tamaño de acumulador de 200 litros, tamaño estándar entre muchos fabricantes, de forma que haya un margen para aquellos días en los que la captación de calor sea menor.

5.4.2 TUBERÍAS

El fabricante del colector seleccionado recomienda un caudal dentro del rango 20-30 litros/m²*h. Teniendo en cuenta que la superficie de los colectores es de 2.412m², el caudal recomendado se encontrará en el rango entre 48,24 litros/h y 72,36 litros/h.

Así mismo se debe comprobar que la velocidad del fluido no supere 2m/s, que se calculará de la siguiente forma:

$$V_f = \frac{Q}{3600 * S_i}$$

V_f = Velocidad del fluido en el interior de la tubería (m/s)

S_i = Sección interior de la tubería (m)

Q = Caudal (m³/h)

Dada la sencillez de la instalación, se ha seleccionado un tubo de cobre de 20 mm de diámetro nominal, de forma que con un caudal de 50 litros/hora la velocidad del fluido es de 0.044 m/s, cumpliéndose de esta forma la restricción de velocidad máxima.

En la Tabla 16: Aislamiento mínimo de tuberías según RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) se puede observar el espesor mínimo para tuberías que transportan fluido caliente por el exterior de edificios. Dado que la tubería seleccionada es de 20 mm de diámetro y la temperatura máxima del fluido será de 60°C, el espesor seleccionado de aislamiento será de 35 mm de lana de vidrio.

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

Tabla 16: Aislamiento mínimo de tuberías según RITE

Los cálculos proporcionados se adecúan a instalaciones unifamiliares. En el caso de ser instalaciones multifamiliares, se deberán replantear los cálculos para una captación general con acumuladores individuales o generales, según las características de la demanda.

Capítulo 6. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE PARA CALEFACCIÓN

6.1 INTRODUCCIÓN

El sistema de suelo radiante alimentado por paneles solares térmicos es una solución simple y eficiente para la calefacción de viviendas. Este método utiliza la energía solar para calentar agua, que luego circula por una red de tuberías bajo el suelo, proporcionando una distribución uniforme del calor. Este capítulo aborda los principios de diseño, instalación y operación de estos sistemas, destacando sus beneficios en términos de eficiencia energética y sostenibilidad. La integración de paneles solares térmicos con suelo radiante no solo reduce el consumo de energía convencional, sino que también disminuye las emisiones de carbono, contribuyendo a un entorno más ecológico y rentable.

6.2 CONFIGURACIÓN BÁSICA SUELO RADIANTE

El sistema de placas solares térmicas en circuito cerrado para una vivienda unifamiliar, diseñado para suministrar calefacción mediante suelo radiante consta de colectores solares instalados en las proximidades de la vivienda, inclinados a 15° para maximizar la captación de radiación solar. Estos colectores están conectados a un acumulador de agua, que almacena el agua calentada por los colectores. Mediante un distribuidor, se distribuye el agua del acumulador por los tubos instalados en el suelo de la vivienda. Este sistema es eficiente y simple, ideal para viviendas unifamiliares, optimizando el uso de la energía solar y reduciendo la dependencia de fuentes de energías convencionales.

6.3 *DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS*

Debido a las características de la necesidad de los habitantes de los distritos de de Ccatcca, Ocongate y Marcapata, se ha elegido una vivienda tipo sobre la que se dimensionará la instalación de suelo radiante, de forma que pueda extrapolarse a viviendas de tamaño y distribución similar, como es el caso.

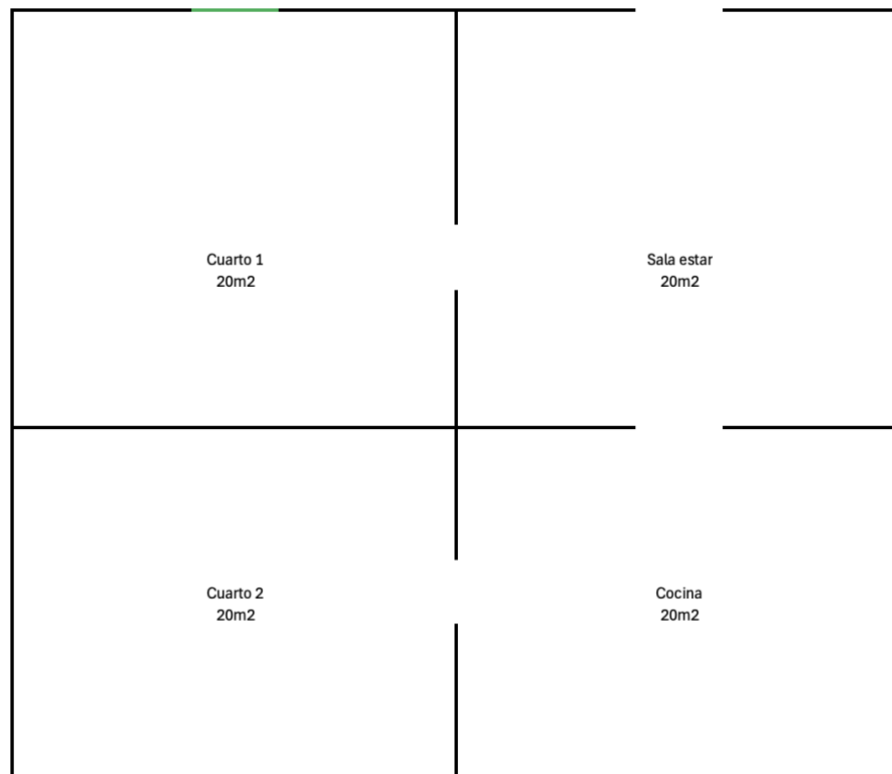


Ilustración 8: Distribución de espacios de una vivienda tipo

Tal y como se muestra en la Ilustración 8: Distribución de espacios de una vivienda tipo, la vivienda tipo suma un espacio de 80 m², dividida en cuatro estancias para una ocupación de 4 personas; dos adultos y dos niños. Sin embargo, únicamente se va a dimensionar la instalación para una estancia de 20m², como puede ser una sala de estar, atendiendo a sus necesidades.

6.4 DEFINICIÓN ZONA DE CONFORT TÉRMICO

Según la **Error! Reference source not found.**, la temperatura de confort térmico se define en función de la temperatura media mensual exterior.

$$Tn = 18.9 + (0.255 * Tm)$$

Siendo:

Tn = Temperatura neutra °C.

Tm = Temperatura media °C.

La tempera neutra se define como aquella a la cual el 90% de las personas se encuentran en confort cuando esta se encuentra en un rango de ± 2 °C. Sin embargo, para climas fríos, el rango se puede aumentar a ± 3.5 °C, rango en el que se considera que el 80% de las personas se encontrarían en la temperatura de confort. En base a la guía peruana Guía de Estrategias de Diseño Bioclimático para el Confort Térmico, se ha calculado la tempera de confort térmico mensual tal y como se muestra en la Tabla 17: Rango mensual de confort térmico:

Mes	T media (°C)	Temperatura neutra (°C)	Zona confort alto (°C)	Zona confort bajo (°C)
Diciembre	8.6	21.95	25.45	18.45
Enero	8.5	21.92	25.42	18.42
Febrero	8.5	21.92	25.42	18.42
Marzo	8.1	21.78	25.28	18.28
Abril	7.6	21.60	25.10	18.10
Mayo	6.9	21.35	24.85	17.85
Junio	6.6	21.24	24.74	17.74
Julio	7.2	21.46	24.96	17.96
Agosto	8	21.74	25.24	18.24
Septiembre	8.8	22.02	25.52	18.52
Octubre	9.2	22.17	25.67	18.67
Noviembre	8.8	22.02	25.52	18.52

Tabla 17: Rango mensual de confort térmico

Dado que la instalación abarca únicamente la calefacción de las viviendas, y ni la refrigeración, el rango elegido será el más restrictivo, correspondiente al mes de invierno Junio ($17.74^{\circ}\text{C} - 21.24^{\circ}\text{C} - 24.74^{\circ}\text{C}$).

6.5 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO RADIANTE

La calefacción por suelo radiante es la solución idónea para este tipo de viviendas unifamiliares debido a los siguientes factores:

- La temperatura de trabajo de un sistema de suelo radiante se encuentra entre los 35°C y 45°C , mientras que en los radiadores convencionales de aluminio es de 70°C . Esto nos aporta una eficiencia mayor que un sistema convencional.
- La temperatura de la estancia calentada es uniforme, dando un mayor confort al usuario.
- La velocidad de circulación del aire es mínima, por lo que reduce corrientes desagradables y movimientos de polvo en la estancia.
- Se pierde un 50% menos de calor por el techo y paredes que con otros sistemas tradicionales de calefacción.
- La inercia térmica de una instalación por suelo radiante permite reducir el consumo de energía para el calentamiento de espacios.

6.6 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL SUELO RADIANTE

El suelo radiante alimentado por paneles solares térmicos es un sistema de calefacción que se instala bajo el pavimento de una edificación, permitiendo la distribución uniforme del calor a través de toda la superficie del suelo. Las tuberías son flexibles y resistentes a la corrosión. Estas tuberías se colocan sobre placas aislantes, que evitan las pérdidas de calor hacia abajo y aseguran que el calor se dirija al espacio habitable.

Sobre las tuberías y el aislamiento se vierte una capa de mortero o concreto llamada solera, que actúa como un medio de transferencia térmica eficiente y proporciona estabilidad estructural. Los acabados del suelo pueden incluir cerámica, piedra, madera o laminados, siempre y cuando sean compatibles con la calefacción radiante. El sistema incluye termostatos para regular la temperatura del suelo y mantener el confort térmico deseado, así como colectores y válvulas que distribuyen el agua caliente desde la fuente de calor a las diferentes zonas del suelo radiante, asegurando una distribución uniforme del calor.

La fuente de calor para el sistema puede ser una caldera tradicional, una bomba de calor o en este caso, paneles solares térmicos, con la temperatura del agua generalmente entre 35°C y 45°C, contribuyendo a la eficiencia energética del sistema. Las tuberías se instalan en un patrón específico, como en espiral o serpentina.

6.7 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN Y SUS ELEMENTOS

6.7.1 TUBERÍAS PLÁSTICAS

Las tuberías plásticas en instalaciones de suelo radiante, comúnmente de polietileno reticulado (PEX) o polibutileno (PB), son conocidas por su durabilidad, flexibilidad y resistencia a la corrosión. Con diámetros entre 16 mm y 20 mm, estas tuberías facilitan una distribución uniforme del calor. Su flexibilidad permite una instalación en patrones como espirales, mientras que su resistencia a altas temperaturas y presiones asegura un flujo constante del fluido térmico. La instalación es sencilla gracias a conectores especiales que garantizan sellados herméticos y evitan fugas, haciendo de las tuberías plásticas una opción eficiente y duradera para sistemas de calefacción radiante.

6.7.2 AISLAMIENTOS

El aislamiento en una instalación de suelo radiante es crucial para la eficiencia del sistema, ya que evita las pérdidas de calor hacia abajo y asegura que el calor se dirija hacia el espacio habitable. Se utilizan placas aislantes de materiales como poliestireno expandido (EPS) o extruido (XPS), que proporcionan una barrera térmica efectiva. Estas placas se colocan

debajo de las tuberías del sistema radiante, formando una base sobre la cual se vierte la solera de mortero o concreto. El aislamiento no solo mejora la eficiencia energética del sistema al minimizar las pérdidas de calor, sino que también contribuye a la uniformidad de la distribución térmica, garantizando un confort óptimo en toda la superficie del suelo.

6.7.3 SISTEMAS DE FIJACIÓN

Los sistemas de fijación en una instalación de suelo radiante son esenciales para mantener las tuberías en su lugar y asegurar una distribución uniforme del calor. Estos sistemas incluyen clips, grapas, rieles de montaje y mallas metálicas que sujetan firmemente las tuberías al aislamiento subyacente. Los clips y grapas son utilizados para fijar las tuberías directamente a las placas aislantes, mientras que los rieles de montaje y las mallas metálicas ofrecen una estructura adicional que facilita la instalación en patrones específicos, como espirales o serpentina. Estos sistemas de fijación no solo aseguran que las tuberías permanezcan en su lugar durante la instalación y el vertido de la solera, sino que también contribuyen a la eficiencia del sistema al mantener las tuberías en la posición óptima para la transferencia de calor. La correcta fijación de las tuberías es crucial para evitar desplazamientos y garantizar una calefacción uniforme y efectiva en toda la superficie del suelo.

6.7.4 BANDA PERIMETRAL

La banda perimetral en una instalación de suelo radiante es un componente esencial que se coloca alrededor del perímetro de la habitación, donde el suelo se encuentra con las paredes. Esta banda, generalmente hecha de material aislante flexible, como espuma de polietileno, cumple varias funciones importantes. Primero, permite la expansión y contracción del suelo debido a los cambios de temperatura, evitando posibles daños estructurales. Segundo, actúa como una barrera térmica, impidiendo que el calor se transfiera a las paredes y se pierda, mejorando así la eficiencia del sistema de calefacción. Además, ayuda a reducir el ruido y las vibraciones, proporcionando un ambiente de mayor confort. La correcta instalación de la

banda perimetral es crucial para asegurar que el sistema de suelo radiante funcione de manera eficiente y duradera.

6.7.5 DISTRIBUIDOR

El distribuidor, o colector, es un componente clave en una instalación de suelo radiante que se encarga de distribuir el agua caliente a las diferentes zonas del sistema. Situado en un armario accesible, el distribuidor cuenta con múltiples entradas y salidas conectadas a las tuberías del suelo radiante. Cada circuito de tuberías se conecta a una salida del distribuidor, permitiendo un control individualizado del flujo y la temperatura en cada zona de la instalación. El distribuidor está equipado con válvulas de ajuste y medidores de caudal, lo que facilita la regulación precisa del sistema y asegura una distribución uniforme del calor. Además, incorpora válvulas de purga para eliminar el aire atrapado en las tuberías, mejorando la eficiencia y el rendimiento del sistema. La correcta instalación y ajuste del distribuidor son esenciales para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema de suelo radiante, proporcionando un confort térmico uniforme y eficiente en toda la vivienda.



Ilustración 9: Distribuidor de un suelo radiante

6.7.6 GENERADORES DE CALOR

En las instalaciones de suelo radiante se puede utilizar cualquier equipo existente para producir agua caliente para calefacción, tales como: calderas de gasóleo, calderas de gas, chimeneas de recuperación, bombas de calor aire-agua, calderas eléctricas y colectores solares. Sin embargo, un sistema que utilice un generador de calor que pueda funcionar a temperaturas del agua de 30 a 50 °C puede ser más sencillo. En esta instalación se usarán colectores solares planos, siendo estos muy adecuados debido a que su temperatura de funcionamiento se adapta perfectamente a las necesidades térmicas del agua circulante. Del mismo modo se reduce la dependencia de los combustibles fósiles.

6.8 FORMAS BÁSICAS DE DISTRIBUCIÓN DEL TUBO

La distribución de tuberías en una instalación de suelo radiante es fundamental para asegurar una calefacción eficiente y uniforme en toda la superficie del suelo. Existen varios métodos de distribución, cada uno con sus propias características y beneficios. Los tipos más comunes son el serpentín simple, el doble serpentín y el espiral, aunque también existen otras variantes que se adaptan a necesidades específicas. Debido a la sencillez de la instalación y el espacio reducido en el que se va a instalar, se ha elegido una distribución de tubo en serpentín simple.

6.8.1 SERPENTÍN SIMPLE

El diseño en serpentín simple es uno de los métodos más básicos y consiste en colocar las tuberías en un patrón ondulante a lo largo de la superficie del suelo. Este método es fácil de instalar y es ideal para áreas pequeñas o habitaciones con formas regulares, tal y como se presenta el caso. Sin embargo, puede presentar diferencias de temperatura entre el inicio y el final del circuito, ya que el agua caliente va perdiendo calor a medida que avanza. Esto puede resultar en una distribución de calor menos uniforme, especialmente en espacios más grandes.

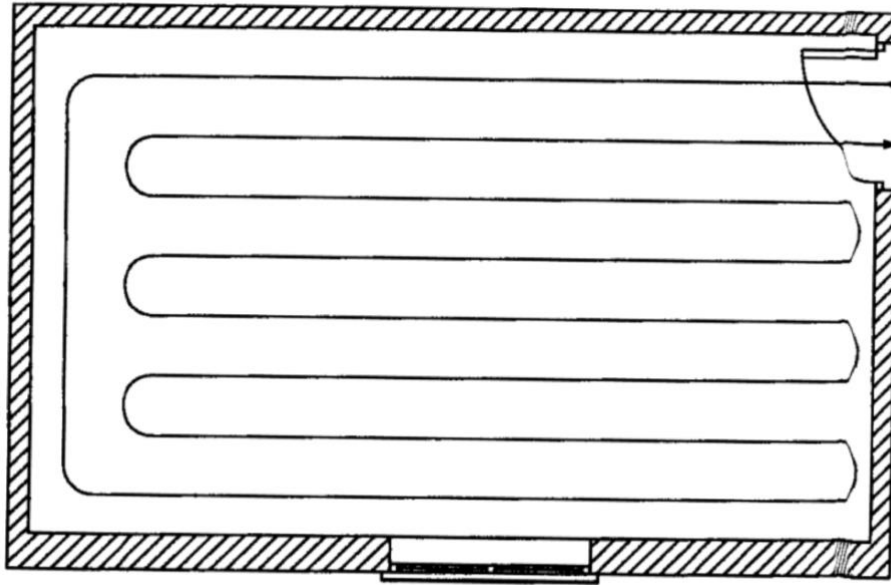


Ilustración 10: Distribución en serpentín simple

6.9 METODOLOGÍA DE CÁLCULO CARGAS TÉRMICAS

Dado las necesidades actuales, se va a dimensionar la sala de estar de la vivienda, en la que se va a utilizar un método de cálculo simplificado de cargas térmicas necesarias para calefactar la vivienda. Se determinarán las áreas de las superficies, las pérdidas de calor a través de cada componente de la estructura, y finalmente se obtendrán las pérdidas totales para obtener la carga térmica requerida. Se ha calculado únicamente para la situación menos favorable, es decir, para aquel mes en el que la temperatura es mínima.

6.9.1 ESPACIO Y CARACTERÍSTICAS PARA DIMENSIONAR

La sala de estar tiene las características constructivas que se mencionan en la Tabla 18: Espacios, materiales y transmitancias, en base a los valores del CTE DB HE. Se tomará la

misma transmitancia para aquellas paredes exteriores y las que colindan con un espacio no calefactado.

	Superficie (m ²)	Material	Transmitancia (W/m ² *K)
Suelo	20	Tierra	0.6
Pared	50	Adobe	0.6
Ventanas	4	Cristal	5
Techo	20	Teja	0.8

Tabla 18: Espacios, materiales y transmitancias

6.9.2 GRADIENTE DE TEMPERATURA

Factor clave para el cálculo de cargas es la diferencia de temperatura de confort interior, vista en el Definición zona de confort térmico y la temperatura exterior en los meses más fríos, visto en Temperatura exterior.

$$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$$

Donde :

T_{int} = Temperatura de confort térmico.

T_{ext} = Temperatura exterior.

6.9.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CALOR

Para cada uno de los elementos constructivos, se calculará la pérdida de carga de cada elemento constructivo, para después sumarlos. Además, se añadirá un factor de seguridad de un 10% de forma que se cubran pérdidas como pueden ser infiltraciones de aire y otros factores no contemplados. La fórmula será la siguiente:

$$Q = U * A * \Delta T$$

Donde :

Q = Pérdida de calor por elemento (W).

A = Superficie de cada elemento constructivo (m^2).

ΔT = Gradiente de temperatura ($^{\circ}C$).

6.10 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

Siguiendo la metodología mencionada en Metodología de cálculo cargas térmicas se ha obtenido una carga térmica de calefacción de 68.64 W/m^2 , como se muestra en Tabla 19: Cargas térmicas.

	Area	Salto $T^{\circ}C$	Carga Térmica (W)	Factor seguridad	Carga Térmica (W)
Suelo	20	16	192.0	0.10	211.20
Techo	20	16	256.0	0.10	281.60
Pared	50	16	480.0	0.10	528.00
Ventana	4	16	320.0	0.10	352.00
Qttotal (W)					1372.8
Qttotal (W/m2)					68.64

Tabla 19: Cargas térmicas

6.11 METODOLOGÍA DE LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE

6.11.1 SALTO TÉRMICO EN EL CIRCUITO HIDRÁULICO

El salto térmico entre la ida y el retorno de los tubos, según la norma UNEEN 1264 debe estar comprendido entre $0^{\circ}C$ y $5^{\circ}C$. En la práctica, se utilizan valores mayores, que pueden estar entre $5^{\circ}C$ y $10^{\circ}C$. El valor recomendado es entre $7^{\circ}C$ y $8^{\circ}C$.

Para la temperatura de impulsión se recomienda que esté entre $35^{\circ}C$ y $45^{\circ}C$, nunca superando los $50^{\circ}C$. Para el diseño de esta instalación se ha elegido una temperatura de impulsión de $40^{\circ}C$, siendo un rango medio, de forma que no supere la máxima recomendada.

6.11.2 CAUDAL SUELO RADIANTE

Para calcular el caudal de una instalación de suelo radiante, es fundamental seguir un procedimiento basado en el balance energético y la transferencia de calor en el sistema.

$$M = \frac{Q}{C_e * \Delta_t}$$

Donde:

M = Caudal de agua (kg/s o l/s).

Q = Carga térmica total (W).

C_e = Calor específico del agua (4184 J/(kg·K)).

Δ_t = es la diferencia de temperatura entre el agua de impulsión y de retorno (°C).

El caudal lo convertiremos a m³/mes para poder calcular la energía demandada a las placas solares térmicas.

$$M_{mes} = M_{l/s} * \frac{3600 * h * d}{1000}$$

Donde:

h = Horas de uso de la calefacción al día

d = Días de uso al mes

6.11.3 APOORTE ENERGÉTICO NECESARIO

El cálculo de la demanda energética depende de la demanda mensual de agua para calefacción, el calor específico del fluido y la diferencia de temperaturas entre la temperatura de impulsión y la temperatura de salida del circuito de suelo radiante. Para calcular la demanda energética destinada a calefacción mensual se utilizará la siguiente expresión:

$$Q_{Mensual} = D_{Mes\ radiante} * C_{e\ fluido} * (T_{impulsión} - T_{expulsión})$$

Donde:

$Q_{Mensual}$ = Demanda energética mensual (MJ).

$D_{Mes\ radiante}$ = Demanda mensual de agua caliente (m3).

$C_{e\ fluido}$ = Calor específico del fluido.

$T_{expulsión}$ = Temperatura deseada (°C).

$T_{impulsión}$ = Temperatura media mensual de la red (°C).

El rendimiento del colector se calculará según la metodología del apartado Rendimiento del colector solar.

El cálculo de la energía solar útil se realizará siguiendo la metodología del apartado Energía solar útil.

El cálculo del aporte solar del sistema se realizará siguiendo la metodología del apartado Aporte solar del sistema.

El cálculo del área de captación requerida se realizará siguiendo la metodología del apartado Área de captación requerida.

El cálculo del número de colectores se realizará siguiendo la metodología del apartado Número de colectores.

El cálculo de la energía aportada por los colectores se realizará siguiendo la metodología del apartado Energía aportada por los colectores.

6.11.4 LONGITUD DE TUBO DE SUELO RADIANTE

Para el cálculo de la longitud de tubo de suelo radiante se debe tener en cuenta la separación entre los tubos, el área de la estancia y la distancia entre el espacio de la instalación hasta el colector. Para una instalación de serpentín simple se calcula de la siguiente manera, de acorde al CTE.

$$L = \frac{A}{e} + 2 * l$$

Donde:

L = Longitud de tubo (m).

A = Área de la estancia (m²)

e = Distancia entre tubos (m).

l = Longitud hasta el colector (m).

6.12 CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE

6.12.1 CAUDAL INSTALACIÓN SUELO RADIANTE

Dadas las cargas térmicas necesarias para la calefacción de la vivienda, se ha obtenido un caudal necesario de 31.39 m³/mes, teniendo en cuenta que la instalación estará en funcionamiento 6 horas al día.

Caudal (kg/s)	Caudal (l/s)	Caudal (l/h)	Caudal (l/día)	Caudal (l/mes)	Caudal (m ³ /mes)
0.0469	0.0469	168.74	1012.44	31385.79	31.39

Tabla 20: Cálculo y conversión del caudal

6.12.2 DEMANDA MENSUAL ENERGÍA SUELO RADIANTE

Para el cálculo de la demanda de energía necesaria para elevar la temperatura del circuito de suelo radiante, se han obtenido los resultados mostrados en la Tabla 21: Demanda energética para la instalación de suelo radiante.

	Caudal (m ³ /mes)	Cp	t _{salida}	t _{entrada}	Salto T°	J/mes	kWh/mes
Mensual	31.39	4.184	40.0	33	7	919.23	255.34

Tabla 21: Demanda energética para la instalación de suelo radiante

6.12.3 ÁREA NECESARIA DE COLECTORES

Para el cálculo del área de los colectores tenemos en cuenta la Energía solar útil y la demanda mensual de energía para calefacción, que se ha realizado para el mes más restrictivo, es decir, aquel con menor temperatura.

Mes	Irradiación Global (kWh/m ² /mes)	Rendimiento	Factor perdidas	Energía Solar Útil (kWh/m ² /mes)	Demanda (kWh/mes)	superficie necesaria (m ²)
Enero	168.8	0.558	0.850	80.075		3.19
Febrero	149.5	0.567	0.850	72.000		3.55
Marzo	174.4	0.566	0.850	83.904		3.04
Abril	171.5	0.557	0.850	81.266		3.14
Mayo	180.0	0.544	0.850	83.174		3.07
Junio	169.7	0.527	0.850	76.062		3.36
Julio	182.4	0.532	0.850	82.557		3.09
Agosto	198.1	0.538	0.850	90.506		2.82
Septiembre	200.7	0.548	0.850	93.579		2.73
Octubre	199.7	0.552	0.850	93.634		2.73
Noviembre	180.3	0.534	0.850	81.771		3.12
Diciembre	165.5	0.537	0.850	75.469		3.38
Media	178.38	0.00	0.85	82.83	255.34	3.08

Tabla 22: Área de Colectores necesaria para calefacción

6.12.4 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PLACAS TÉRMICAS NECESARIAS

Para el cálculo del número de colectores se han tenido en cuenta el área absorbente de la ficha técnica aportada por el fabricante, así como la demanda de energía y la energía solar útil. Eligiendo una terma solar del modelo SUNRAIN de 25 colectores, se cumple con la demanda ya que el número mínimo de placas para cumplir con la demanda es de 0.933, coincidiendo con el mes de junio.

Mes	superficie necesaria m2	Área Colectores (m2)	N de colectores necesarios
Enero	3.19	3.600	0.886
Febrero	3.55	3.600	0.985
Marzo	3.04	3.600	0.845
Abril	3.14	3.600	0.873
Mayo	3.07	3.600	0.853
Junio	3.36	3.600	0.933
Julio	3.09	3.600	0.859
Agosto	2.82	3.600	0.784
Septiembre	2.73	3.600	0.758
Octubre	2.73	3.600	0.758
Noviembre	3.12	3.600	0.867
Diciembre	3.38	3.600	0.940
Media	3.08	3.600	0.856

Tabla 23: Número de colectores necesarios para la instalación de suelo radiante

6.12.5 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE CALEFACCIÓN APORTADA POR EL SISTEMA

La energía aportada por el sistema resulta del producto de la energía solar neta útil anual y el área de captación total del sistema. Se comprueba que la energía solar aportada sea mayor que la demanda de energía mediante el % de energía aportada respecto a la demanda. En el peor de los casos, el sistema suministra el 102% de la energía necesaria para calefacción.

Mes	Número de elegido de colectores	Energía Solar Útil (kWh/m ² /mes)	Energía Solar aportada (kWh/mes)	Demanda Energía (kWh/mes)	% de Energía Aportada
Enero	1	80.08	288.27	255.34	113%
Febrero	1	72.00	259.20	255.34	102%
Marzo	1	83.90	302.05	255.34	118%
Abril	1	81.27	292.56	255.34	115%
Mayo	1	83.17	299.43	255.34	117%
Junio	1	76.06	273.82	255.34	107%
Julio	1	82.56	297.21	255.34	116%
Agosto	1	90.51	325.82	255.34	128%
Septiembre	1	93.58	336.88	255.34	132%
Octubre	1	93.63	337.08	255.34	132%
Noviembre	1	81.77	294.38	255.34	115%
Diciembre	1	75.47	271.69	255.34	106%
Anual	1	82.833	298.199	255.341	117%

Tabla 24: Energía aportada por el sistema para calefacción

6.12.6 CÁLCULO DE LA LONGITUD DE TUBO

Para el cálculo de la longitud de tubo se han tomado como datos de partida los 20 m² de la estancia a calefactar, 15 cm entre tubos y 2 m entre la instalación y la entrada al colector. De esta forma obtenemos una longitud de tubo de 137.33 m, según la metodología del apartado Longitud de tubo de suelo radiante.

Capítulo 7. RESULTADOS

7.1 RESUMEN DE ELECCIÓN DE EQUIPOS

7.1.1 ELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA INSTALACIÓN DE ACS

7.1.1.1 Placas solares térmicas y acumulador

Debido a las características de la instalación y la oferta de este tipo de productos en Perú, se ha elegido usar una terma solar SUNRAIN atmosférica de baja presión que se compone de un colector solar de 20 tubos que incorpora un depósito de 200L, con una superficie de captación de 3.28 m², suficiente para cubrir la demanda de Agua Caliente Sanitaria.

7.1.1.2 Bomba de circulación

Para asegurar la circulación a través de los colectores y hacia el acumulador y el consumo, se ha elegido la bomba de agua circuladora solar SLR 25/6-180, con caudal máximo de 3300 l/h y hasta 6 m de columna de agua. Esta bomba es suficiente para asegurar una circulación óptima del fluido en el sistema.

7.1.1.3 Vaso de expansión

El vaso de expansión es fundamental para proteger estas instalaciones debido a los cambios de temperatura y cambios de presión en el fluido. Se ha elegido un vaso de expansión IBAIONDO SOLAR 5 SMF 5LTS ¾" de 5 litros.

7.1.1.4 Tuberías

Se ha estimado una longitud de tubería de cobre de 50 m para toda la instalación, de 20 mm de diámetro interior, tal y como se dimensionó en el apartado Tuberías.

7.1.2 ELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE

7.1.2.1 Placas solares térmicas y acumulador

Debido a las características de la instalación y la oferta de este tipo de productos en Perú, se ha elegido usar una terma solar SUNRAIN atmosférica de baja presión que se compone de un colector solar de 25 tubos que incorpora un depósito de 250L, con una superficie de captación de 3.6 m², suficiente para cubrir la demanda de calefacción por suelo radiante.

7.1.2.2 Bomba de circulación

Para asegurar la circulación a través de los colectores y hacia el acumulador y el circuito de suelo radiante, se han elegido dos bombas de agua circuladora solar SLR 25/6-180, con caudal máximo de 3300 l/h y hasta 6 m de columna de agua. Estas bombas son suficientes para asegurar una circulación óptima del fluido en el sistema.

7.1.2.3 Vaso de expansión

El vaso de expansión es fundamental para proteger estas instalaciones debido a los cambios de temperatura y cambios de presión en el fluido. Se han elegido dos vasos de expansión IBAIONDO SOLAR 5 SMF 5LTS ¾" de 5 litros.

7.1.2.4 Tuberías

Se ha estimado una longitud de tubería de cobre de 50 m para toda la instalación, de 20 mm de diámetro interior, tal y como se dimensionó en el apartado Tuberías.

7.1.2.5 Tubo suelo radiante

Para la instalación de suelo radiante se ha elegido el tubo X-PERT S5 16x2 MM ROLLO 200 M, cumpliendo con las necesidades de la instalación.

7.1.2.6 Panel suelo radiante

Para la estructura del suelo radiante, se va a instalar un panel Uponor Tecto nub panel EPS 11mm 14-17mm 1450x850mm, actuando de aislante con el suelo.

7.1.2.7 Colector Suelo radiante

Para la conexión entre el acumulador y el sistema de suelo radiante, se instalará un Colector Inox con caudalímetro 3 salidas Sysclima, de forma que se pueda añadir más superficie de suelo radiante en el futuro según las necesidades de las comunidades peruanas.

7.1.2.8 Mortero

Para la instalación de suelo radiante, se pondrá una superficie de mortero de 3 a 4 cm de espesor, cubriendo la totalidad de los tubos y paneles.

7.2 ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Debido a las necesidades de las comunidades locales, se realizarán los estudios de viabilidad económica de ambas instalaciones por separado. De esta forma se dotará a las comunidades beneficiadas de libertad de adaptar y elegir las instalaciones acorde con sus necesidades y capacidades.

7.2.1 VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN DE ACS

En la Tabla 25: Coste de la instalación de ACS se muestran los componentes necesarios para poder realizar la instalación. Los precios de los componentes se muestran tanto en euros

como en soles peruanos, siendo 4.12 la relación Sol/euro. Esto se debe a que se han buscado empresas peruanas para proveer los materiales para la instalación, sin embargo, en el caso de no encontrarse, se han buscado proveedores españoles.

Elemento	Precio/ud	Cantidad	Coste Eur		Coste Sol	
TERMOSOLAR SUNRAIN Atmosférico TZ58-1800-20 (3.28m ²)	548.8	1.0	€	548.75	S/	2,260.85
Bomba de agua circuladora solar SLR 25/6-180	€ 58.00	1.0	€	58.00	S/	238.96
Tubería Cobre 20mm (50m)	10.9	10.0	€	108.90	S/	448.67
VASO DE EXPANSIÓN IBAIONDO SOLAR 5 SMF 5LTS ¾"	34.2	1.0	€	34.21	S/	140.95
			€	749.86	S/	3,089.42

Tabla 25: Coste de la instalación de ACS

7.2.2 VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE

En la Tabla 26: Coste de la instalación de suelo radiante se muestran los componentes necesarios para poder realizar la instalación. Los precios de los componentes se muestran tanto en euros como en soles peruanos, siendo 4.12 la relación Sol/euro. Esto se debe a que se han buscado empresas peruanas para proveer los materiales para la instalación, sin embargo, en el caso de no encontrarse, se han buscado proveedores españoles.

Elemento	Precio/ud	Cantidad	Coste Eur	Coste Sol
TERMOSOLAR SUNRAIN Atmosférico TZ58-1800-25 (3.6m2)	€ 633.75	1.0	€ 633.75	S/ 2,611.05
Bomba de agua circuladora solar SLR 25/6-180	€ 58.00	2.0	€ 116.00	S/ 477.92
Tubería Cobre 20mm (50m)	10.9	10.0	€ 108.90	S/ 448.67
TUBO SUELO RADIANTE X-PERT S5 16x2 MM ROLLO 200 M	€ 225.24	1.0	€ 225.24	S/ 927.99
Panel suelo radiante uponor	€ 10.03	17.0	€ 170.51	S/ 702.50
Colector Inox con caudalímetro 3 salidas Sysclima	€ 153.50	1.0	€ 153.50	S/ 632.42
Mortero Suelo Radiante	€ 11.00	20.0	€ 220.00	S/ 906.40
VASO DE EXPANSIÓN IBAIONDO SOLAR 5 SMF 5LTS ¾"	€ 34.21	2.0	€ 68.42	S/ 281.89
			€ 1,696.32	S/ 6,988.84

Tabla 26: Coste de la instalación de suelo radiante

7.3 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO2

Entre los objetivos de este trabajo se incluye la reducción de emisiones de CO2 debido a la reducción de combustibles fósiles, como en este caso es la madera. Se estima que se emiten 0.214kg CO2 por cada kWh eléctrico que se consume.

$$Q_{Total} = Q_{ACS} + Q_{Suelo\ radiante}$$

Se ha calculado que la demanda energética de ambas instalaciones es de 5,202 kWh anuales, siguiendo con la conversión anterior, se obtiene un ahorro anual de 1113.2 kg de CO2 al usar únicamente fuentes de energías renovables, como lo son los paneles solares térmicos.

Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Comentar las conclusiones del proyecto, destacando lo que se ha hecho, dejando claros qué objetivos se han cubierto y cuáles son las aportaciones hechas.

8.1 *CONCLUSIONES*

Tras la realización del proyecto, se ha llegado a la conclusión de que el implementar paneles solares térmicos para agua caliente sanitaria y calefacción son una buena medida para la eficiencia energética, obteniendo un elevado rendimiento y una contribución del 100% de energía renovable.

El éxito de este proyecto no se debe enfocar en el ahorro económico a largo plazo, que, aunque importante, el enfoque principal es proveer a las comunidades de la cordillera de los andes de una solución que mejore su bienestar y su calidad de vida.

En cuanto a otro de los objetivos de este proyecto, promover la sostenibilidad, con estas instalaciones, se consigue alejar a estas comunidades peruanas de los combustibles fósiles tradicionales para agua caliente y calefacción, promoviendo el uso de energías renovables.

Ambas instalaciones están preparadas para cubrir con el 100% de la demanda durante todo el año, tanto en la época invernal como en la de lluvias, que coincide con verano en el hemisferio sur. Para aquellos días que el aporte solar fuese innecesario, los acumuladores de 200 y 250L proveerán a la instalación sin que los usuarios noten ninguna diferencia.

Finalmente, se ha buscado la simplicidad tanto de instalación como de mantenimiento, de forma que aquellas personas que se encarguen de una o de otra, realicen una tarea lo más simple posible.

A pesar de las limitaciones encontradas, como la falta de regulación específica en Perú y falta de proveedores, este proyecto proporciona una base sólida para futuras investigaciones y políticas públicas orientadas a la sostenibilidad y eficiencia energética. Se recomienda continuar explorando este enfoque, optimizando las tecnologías utilizadas y promoviendo su adopción a través de incentivos y programas gubernamentales, los cuales son inexistentes a día de hoy.

8.2 TRABAJOS FUTUROS

Para trabajos futuros, se recomienda mejorar las calidades de los materiales de construcción, de forma que las viviendas de la región sean más eficientes, reduciendo así la demanda de energía para agua caliente sanitaria y calefacción. Esto se realizó en el proyecto de “Viviendas Calientes” y junto con unas instalaciones de placas solares térmicas para agua caliente sanitaria y calefacción mediante suelo radiante, proveerían a la población local de unas condiciones de vida muy superiores a las actuales. Se propone como ejemplo, mejorar el aislamiento de las puertas y ventanas. Esto, sumado a ventanas de doble acristalamiento, podría suponer un ahorro energético notable.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Climate-Data.org, "Clima: Andahuaylillas," [Online]: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/cuzco/andahuaylillas-294853/>. [enero 2024].
- [2] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [3] Perú, Ministerio de Educación, "Guía de Estrategias de Diseño Bioclimático para el Confort Térmico", 2021.
- [4] UNE-EN-1264:2022.
- [5] Standard Hidráulica, *Manual técnico Sistema completo de calefacción por suelo radiante*. Standard Hidráulica, 2020. [Online]. Available: [https://d7rh5s3nxmpy4.cloudfront.net/CMP5654/files/MANUAL_SUELO_RADIANTE_2022_%285%29.pdf]. [01-Jul-2024].
- [6] Uponor, *Manual Técnico de Suelo Radiante*. Uponor, 2018. [Online]. Available: [<https://www.solarcondicionado.pt/files/catalogs/Cat%C3%A1logo-Piso-Radiante-Uponor-2017.pdf>]. [04-Jul-2024].
- [7] Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Boletín Oficial del Estado, España, 2021.
- [8] CENSOLAR (Centro de Estudios de Energía Solar), "Instalaciones de Energía Solar", 5ª ed., Sevilla, España: PROGENSA, 2007.
- [9] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, "Atlas de Energía Solar del Perú", 2003.
- [10] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), "Guía Técnica de Energía Solar Térmica", 2020.
- [11] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), "Guía Técnica Agua Caliente Sanitaria Central", 2010.
- [12] "Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica, Ley N° 28832," Diario Oficial El Peruano, 23-Jul-2006.

ANEXOS

9.1 ANEXO I: DATOS IRRADIACIÓN PVGIS

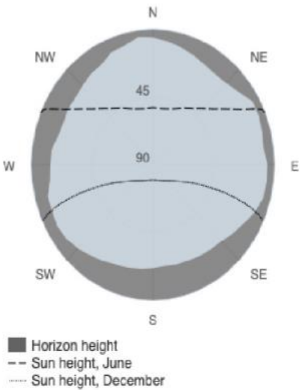
Report generated on

PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

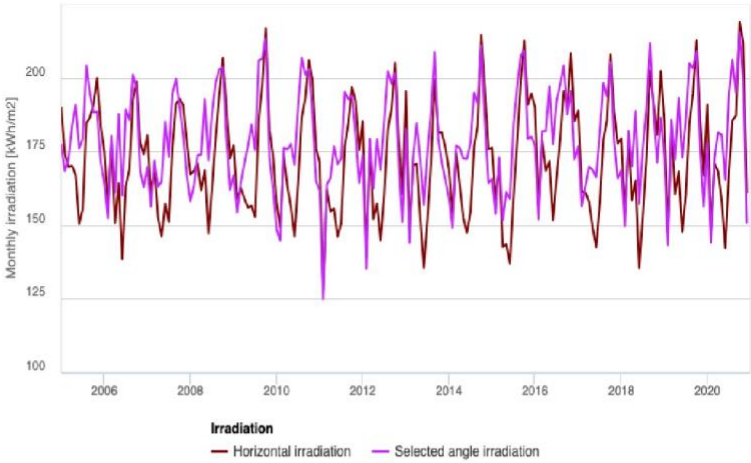
Provided inputs

Latitude/Longitude:	-13.674,-71.678
Horizon:	Calculated
Database used	PVGIS-ERA5
Start year:	2005
End year:	2020
Variables included in this report:	
Global horizontal irradiation:	Yes
Direct Normal Irradiation:	No
Global irradiation optimum angle:	No
Global irradiation at angle 15°:	Yes
Diffuse/global ratio	No
Average temperature	Yes

Outline of horizon at chosen location:



Monthly solar irradiation estimates



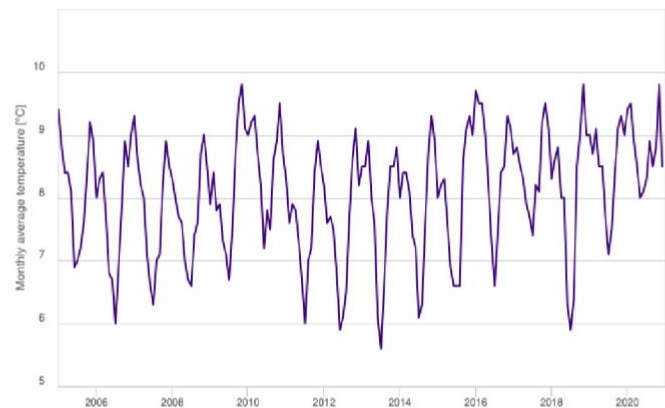
Global horizontal irradiation

Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
January	189.76	174.95	180.43	167.3	177.07	157.02	171.27	185.23	195.39	168.8	176.24	189.86	188.85	179.36	185.54	190.87
February	174.26	157.11	160.97	168.4	158.92	149.47	128.24	139.25	148.06	153.76	158.68	156.4	161.34	154.07	147.72	148.07
March	169.69	177.89	169.16	170.92	162.61	173.58	162	176.43	170.31	174.57	170.31	178.72	161.09	179.16	182.69	170.84
April	170.14	150.75	152.51	161.9	158.97	163.32	154.73	152.11	170.76	163.78	142.73	168.42	157.96	158.5	160.52	168.23
May	167.06	164.21	146.23	168.57	155.99	156.02	155.55	157.29	152.09	152.49	143.44	171.62	149.15	165.06	168.14	158.28
June	150.44	138.44	157.31	147.18	156.46	146.23	146.21	144.8	135.4	147.43	137.03	151.72	142.6	135.46	147.73	142.22
July	155.53	163.26	151.07	162.66	152.84	164.41	150.55	160.25	151.84	154.46	159.41	165.84	157.32	152.95	160.3	167.3
August	184.6	168.86	176.29	179.56	185.59	186.42	176.78	182.4	171.15	176.59	178.15	178.95	178.91	172.25	184.7	185.59
September	186.58	192.61	191.17	194.12	197.7	193.05	184.66	189.55	199.37	183.56	198.46	195.34	185.55	202.42	194.8	187.1
October	191.03	198.76	192.81	206.73	216.81	205.87	196.76	205.04	181.39	214.4	212.58	190.5	207.86	191.21	212.68	218.97
November	199.77	178.08	190.76	189.89	182.32	199.06	192.19	178.91	181.51	196.66	190.8	208.27	188.65	180.72	186.07	211.81
December	183.73	174.11	178.51	172.61	173.6	175.9	175.47	160.49	176.39	175.75	194.59	185.2	177.7	202.22	167.01	161.24

Global irradiation at angle

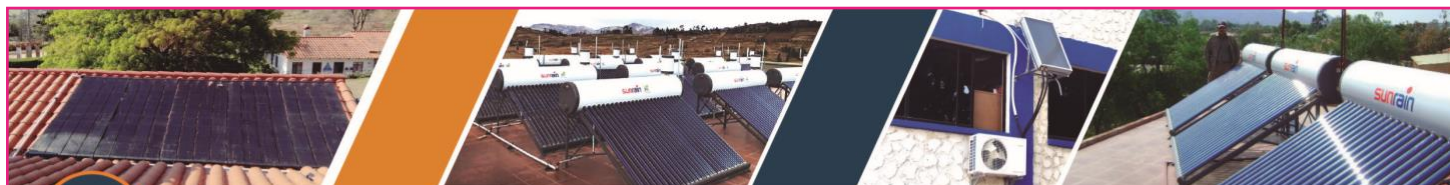
Month	2005	2006	2007	2008
January	177.24	164.29	169.69	158.22
February	168.42	152.42	156.36	163.1
March	172.24	180.22	171.72	173.68
April	183.41	161.08	163.09	173.95
May	190.8	187.7	164.9	192.72
June	176.11	160.1	185.1	171.92
July	179.19	189.14	173.19	188.13
August	204.1	185.74	194.69	198.32
September	194.62	201.08	199.57	202.78
October	188.23	196.17	190.38	203.62
November	188.56	168.35	180.84	179.54
December	171.58	162.88	167.04	162.02

Monthly average temperature



Monthly average temperature																
Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
January	9.4	8	9.3	8.3	7.9	9	8.3	8.2	8.5	8	8	9.7	8.7	8.3	9	9.4
February	8.8	8.3	8.6	8	8.4	9.2	7.6	7.6	8.5	8.4	8.2	9.5	8.8	8.6	8.7	9.5
March	8.4	8.4	8.2	7.7	7.8	9.3	7.9	7.7	8.9	8.4	8.3	9.5	8.5	8.8	9.1	8.9
April	8.4	7.7	8	7.6	7.9	8.7	7.8	7.5	8	8.1	7.6	9	8.3	8	8.5	8.5
May	8.1	6.8	7.1	7	7.3	8.2	7.3	6.8	7.6	7.4	6.9	8.2	7.9	8	8.5	8
June	6.9	6.7	6.6	6.7	7.1	7.2	6.7	5.9	6.1	7.2	6.6	7.3	7.7	6.3	7.7	8.1
July	7	6	6.3	6.6	6.7	7.8	6	6.1	5.6	6.1	6.6	6.6	7.4	5.9	7.1	8.3
August	7.2	6.9	7	7.4	7.5	7.5	7	6.5	6.6	6.3	6.6	7.5	8.2	6.4	7.5	8.9
September	7.6	7.8	7.1	7.6	8.7	8.6	7.2	7.7	7.8	7.6	8.6	8.4	8.1	8.5	8.4	8.5
October	8.4	8.9	8.2	8.7	9.5	8.9	8.4	8.6	8.5	8.7	9.1	8.5	9.2	9	9.1	8.8
November	9.2	8.5	8.9	9	9.8	9.5	8.9	9.1	8.5	9.3	9.3	9.3	9.5	9.8	9.3	9.8
December	8.9	9	8.5	8.5	9.1	8.7	8.5	8.2	8.8	8.9	9	9.1	9.1	9	9	8.5

9.2 ANEXO II: FICHA TÉCNICA TERMA SOLAR



TERMOSOLARES

ATMOSFÉRICOS

SISTEMA DE BAJA PRESIÓN

Este modelo es uno de los favoritos en el mercado nacional, fue diseñado científicamente, de fácil instalación, no requiere manipulación u operación diaria, siempre proporciona agua caliente.



Características Constructivas

- Tanque interno (acero inoxidable, SAE 304 de espesor 0,5mm).
- Tubo al vacío de 58/1800 cm.
- Cilindro exterior, acero pintado color aluminio.
- Aislante térmico, 50mm espesor.
- Estructura galvanizada revestida 1,5 mm.
- Idóneo para sistemas termosolares unifamiliares.
- Producto con certificación SolarKeyMark, CE, SRCC.

Modelos	TZ58-1800-15	TZ58-1800-20	TZ58-1800-25
Volúmen de tanque	150 L	200 L	250 L
Longitud de tubo	1800 mm		
Diámetro de tubo	Ø47 mm / Ø58 mm		
Número de tubos	15	20	25
Área de colector	2.43 m ²	3.28 m ²	3.6 m ²

HEAT PIPE

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Tanque interno (acero inoxidable SAE 304 de espesor 1.2mm).
- Tubo al vacío de 58/1800.
- Material multicapa con cobre de 1,8 mm.
- Resistente a todo tipo de clima desde -30°
- Sencilla instalación de sistema.
- Sistema apropiado para uso familiar.
- Producto con certificación SolarKeyMark, CE, SRCC.



Modelos	TZ58/1800-15C	TZ58/1800-20C	TZ58/1800-25C	TZ58/1800-30C
GENERAL PARA:				
Área absorbida (m ²)	2.082	2.788	3.558	4.142
Presión de trabajo (bar)	4			
Temperatura ambiente	-30-60 °C			
Eficiencia diaria	>=55%			
Peso vacío (kg)	65	78	96	120
Cantidad de carga	45/90/102	40/80/88	32/64/72	26/52/60
TANQUE DE ALMACENAMIENTO				
Capacidad (L)	150	200	250	300

CALENTADOR SOLAR PARA PISCINAS PRACTIC



MODELO	COLECTOR SOLAR		
	PRACTIC 300	PRACTIC 400	PRACTIC 500
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS			
MATERIA PRIMA	POLIPROPILENO	POLIPROPILENO	POLIPROPILENO
PINTURA	NEGRO HUMO	NEGRO HUMO	NEGRO HUMO
NÚMERO DE TUBOS	120	120	120
ENTRADA/SALIDA	40 mm.	40 mm.	40 mm.
PRESIÓN DE TRABAJO	10 mca.	10 mca.	10 mca.
DIMENSIONES			
LONGITUD	3 metros	4 metros	5 metros
LARGO	1 metro	1 metro	1 metro
ESPESOR	0.06 mm.	0.06 mm.	0.06 mm.
PESO			
VACÍO	6.76 kg.	8.55 kg.	11.26 kg.
LLENO	14.17 kg.	17.77 kg.	22.21 kg.

Colector solar

- Fabricado con material atóxico, es decir, que no reacciona con productos químicos utilizados en el tratamiento de la piscina.
- Tiene una elevada durabilidad, y garantía contra defectos de fabricación.
- Mantenimiento mínimo o reducido.
- Diseñado para trabajar con altos caudales (mayores diámetros)
- Posee gran área de absorción de la energía solar.
- Los tamaños adaptables a las necesidades de cada cliente.
- Posee pigmentación resistente a los rayos ultravioleta.
- Posee alta resistencia a la presión, hasta 40mca.
- Son ligeros, flexibles y de fácil instalación.
- Si está correctamente instalado, no ofrece el riesgo de sobre calentamiento del agua de la piscina.
- Fácil Montaje



COCHABAMBA:

Av. Melchor Perez de Olguín casi
Simón Lopez No. 2848
Tel.: 4-4472997 / 4-4473456

LA PAZ:

Calle Gregorio Reynolds entre Luis Uría
y Presbítero Medida No. 641, Zona Sopocachi
Tel.: 2-2424345

ORURO:

Calle Velasco Galvarro
esq. 1ro. de Noviembre
Tel.: 2-5276698

www.sie-sa.com

Síguenos en:   

9.3 ANEXO III: FICHA TÉCNICA BOMBA

Modelo Model Modèle	Velocidad Velocity Vitesse	Q max. (l/h)	H max. (mca)	Tensión Voltage 1~ 50Hz	P1 (W)	I (A)	Dimensiones (mm) Dimensions					Peso Weight Poids (kg)
							Ø ₁	Ø ₂	A	B	C	
SLR 25/6-130	3	3300	6	230 V	93	0,4	1½"	1"	123	130	130	2,8
	2	2280	5		67	0,3						
SLR 25/6-180	1	1320	3		46	0,2					180	3,0

BCN
bombas

Serie SLR



APLICACIONES

Electrobomba aceleradora ideal para instalaciones de circuitos solares.

APPLICATIONS

Circulation electropump widely used for solar circuits systems.

APPLICATIONS

Pompes accélératrices idéales pour installations de circuits solaires.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Motor:Cerrado con rotor húmedo de 3 velocidades.
Grado de protección:IP-44.
Clase de aislamiento:
Eje:Cerámica.
Cuerpo de bomba:Fundición de hierro con tratamiento de cataforesis
Turbina:Polipropileno.
Rodamientos:Cerámica.
Temperatura máx:10°C.

Incluye racords de conexiones.

TECHNICAL CHARACTERISTICS

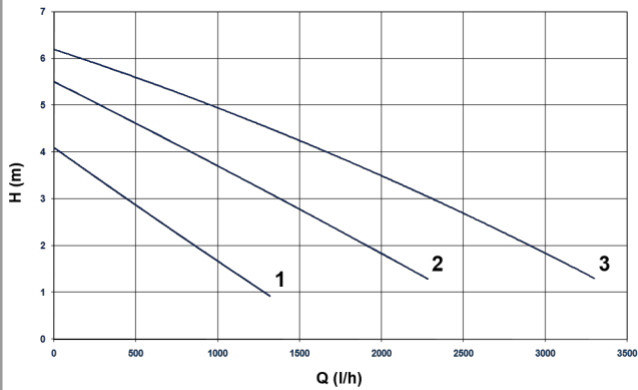
Motor:Closed glandless of 3 speeds.
Safety class:IP-44.
Insulation:
Shaft:Ceramic.
Pump body:Cast iron with cataphoresis treatment.
Impeller:Polypropylene.
Bearings:Ceramic.
Max. temperature:10°C.
Connection fittings included.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

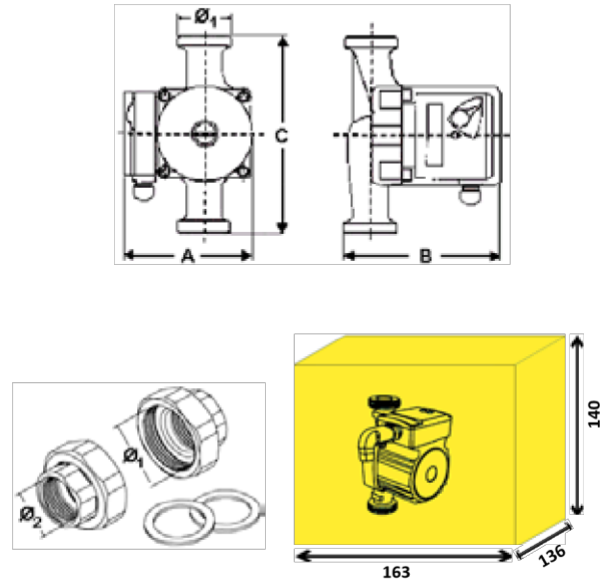
Moteur:Moteur fermé à rotor noyé de 3 vitesses.
Degré de protection:IP-44.
Classe d'isolation:
Arbre:Céramique.
Corps de pompe:Fonte avec traitement par cataphorèse
Turbine:Polypropylène.
Roulements:Céramique.
Température max:10°C.

Raccords connexion compris.

CURVA DE CARACTERÍSTICAS
CURVE OF CHARACTERISTICS
COURBE DE CARACTÉRISTIQUES



DIMENSIONES / DIMENSIONS (MM)



9.4 ANEXO IV: FICHA TÉCNICA TUBO SUELO RADIANTE

Tubo ROTH X-PERT S5 con barrera EVOH

Información técnica



Descripción

Tubo Roth de 5 capas fabricado en PERT tipo II (polietileno resistente a la temperatura) mediante co-extrusión para obtener una tubería de máxima flexibilidad, ideal para instalaciones de suelo radiante.

AENOR Ø16 y Ø20mm con certificado ENOR s según UNE-EN ISO 22391:2010 y diámetros Ø11, Ø16 y Ø20mm con certificado DIN CERTCO según DIN EN ISO 22391:2010 y DIN 4726:2008.

Incorpora barrera antioxígeno EVOH en la capa intermedia para evitar que sea dañada durante la instalación.

Ventajas

> Mayor temperatura de trabajo que las tuberías PERT estándar gracias al sistema de fabricación mediante co-extrusión. > Con barrera antioxígeno embutida entre 2 capas de PERT para evitar daños durante el transporte y la instalación.

> Mayor flexibilidad, facilitando su instalación.

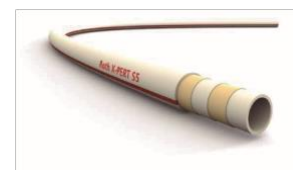
> Respetuoso con el medio ambiente: al no necesitar ser reticulado, se evita transferir agentes químicos al agua.

Dimensiones, suministros y referencias

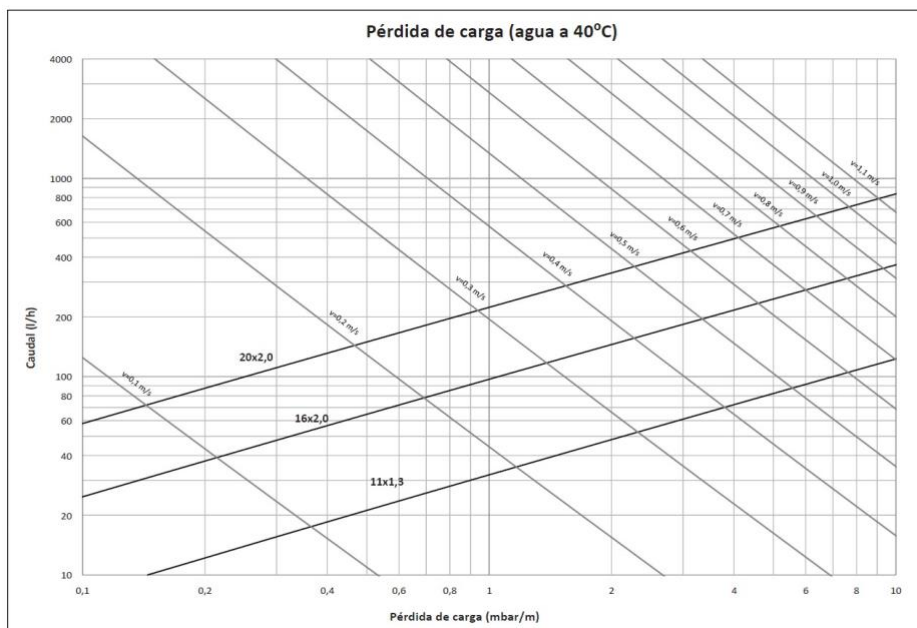
Descripción	Suministro	Referencia
Tubo X-PERT S5 Ø11 x 1,3 mm	Rollo 120 m	1135003441
Tubo X-PERT S5 Ø16 x 2,0 mm	Rollo 200 m	1345161210
Tubo X-PERT S5 Ø16 x 2,0 mm	Rollo 650 m	1345161316
Tubo X-PERT S5 Ø20 x 2,0 mm	Rollo 240 m	1345201217
Tubo X-PERT S5 Ø20 x 2,0 mm	Rollo 500 m	1345201326

Características técnicas

Dimensión	Ø11 x 1,3 mm	Ø16 x 2,0 mm	Ø20 x 2,0 mm
Volumen interno (l/m)	0,04	0,113	0,201
Conductividad térmica (W/mK)		0,35	
Rugosidad interna (mm)		0,0003	
Temperatura máxima de trabajo (°C)		70	
Temperatura máxima puntual (°C)		95	
Presión máxima (bar)		6	
Radio de curvatura		5 x D	



■ Gráfico pérdida de carga



ES 230622

Roth

ROTH IBÉRICA, S.A.U.
Pol. Ind. Montes de Cierzo, A-68 Km.86
31500 Tudela (Navarra)
Tel.: 948 844 406
E-Mail: tecnico@roth-spain.com



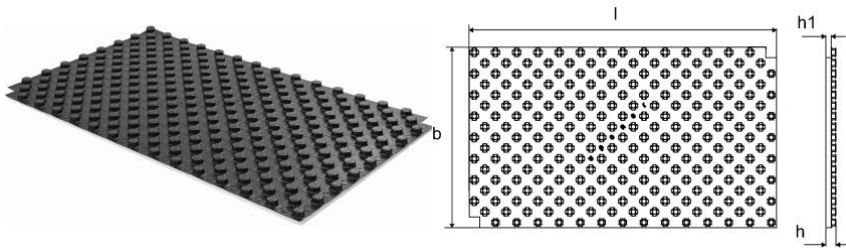
UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

9.5 ANEXO V: FICHA TÉCNICA PANEL SUELO RADIANTE

Uponor Tecto nub panel EPS 11mm 14-17mm 1450x850mm

1005477

- EPS (libre de HBCD) panel de aislamiento térmico.



About Uponor Tecto nub panel

Specification

- Tecto Nub Panel, consiste en un panel de tetones para la fijación de tuberías de 14-17mm.
- Con una separación de tubos en cm: 10, 15, 20, 25, 30 - EN 13501-1 clasificación al fuego: clase E.
- Inflamabilidad estándar, clase de material de construcción B2, conforme a DIN 4102.

Application

- Calefacción y refrigeración por suelo radiante.
- Para usar con soleras a base de cemento y anhidrita.

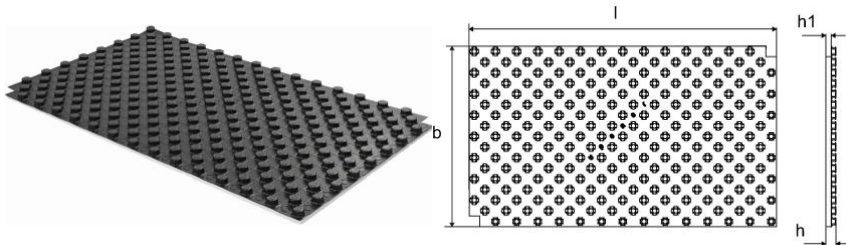
Certification

- DIN CERTCO: 7F010-F; 7F037-F.

1/2

Uponor Tecto nub panel EPS 11mm 14-17mm 1450x850mm

1005477



Información técnica

Unidad de Medida

m2

Item no VVS	339262033
Longitud (l)	1450 mm
Z-valor b	850 mm
Z-valor h	33 mm
Z-valor h1	11 mm
Packaging Quantity PL1	15.68
Packaging Quantity PL4	94.08

Documentos técnicos

Descarga de documentos aquí 

Uponor España

Avda.
Leonar
do da
Vinci,
Parque
Empre
sarial
La
Carpet
ania
15-17-
19
28906,
Getafe
(Madri
d

9.6 ANEXO VI: FICHA TÉCNICA CAJA DE COLECTORES

Cajas para colectores, fabricadas con chapa de acero galvanizado y acabados de altísima calidad. Están provistas de una chapa protectora de media caña para no dañar

Cajas para



Puerta y marco lacados en



Puerta



Marco

Caja empotrable para colector

el paso de los tubos; totalmente desmontable para facilitar la colocación de los mismos.

Puerta frontal y marco lacados en color blanco (RAL 9003).

Las cajas son muy versátiles y cómodas de colocar al poderse ajustar en cuanto a su altura y su profundidad y disponer de un marco frontal extraíble y de una guía



▶ **Altura variable** (765-775)

▶ **Fondo ajustable** (90-110)

▶ **Marco, puerta y pasatubos totalmente desmontables**

soporte para adaptarse al anclaje de los colectores. La altura se puede modificar mediante las patas extensibles permitiendo fijar una altura de la caja de 705 a 775 mm. El fondo de la caja admite un ajuste de 80 a 110 mm siendo así muy flexible en cuanto al grosor de pared disponible en la obra. Gracias a la posibilidad de extraer la puerta con cierre rápido, el marco y el pasatubos, las cajas son muy cómodas de manipular y permiten trabajar sin obstáculos.



colectores

Cajas para

Selección de caja



Caja con colector.

Número de salidas colector

S-3
S-4
S-5/6
S-7/8/9
S-10/11
S-12
Otras combi.
Otras combi.

Referencia

130600400
130600500
130600600
130600750
130600900
130601050
130601200
130601500

Ancho Nominal

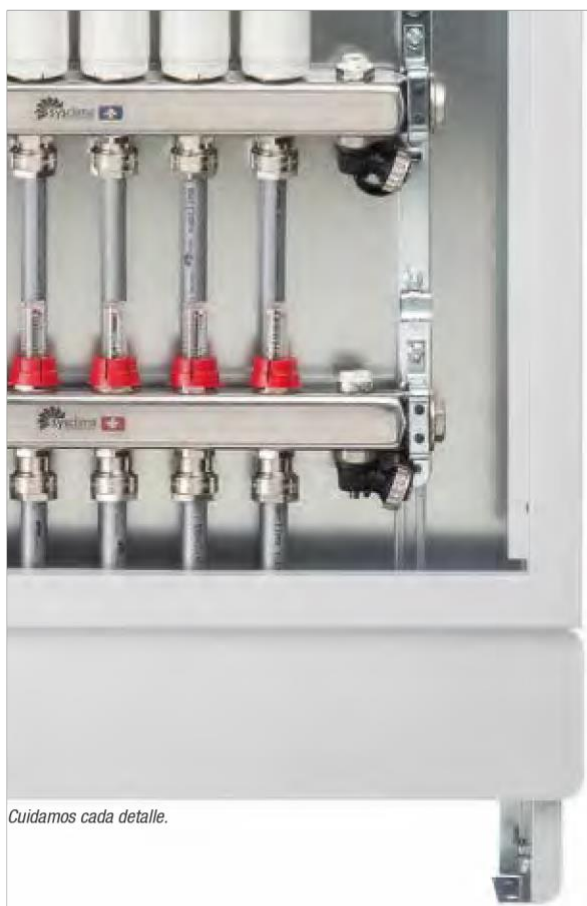
400
500
600
750
900
1050
1200
1500

Nº salidas colector+ grupo hid.

—
—
S-3
S-4
S-5/6
S-7/8/9
S-10/11/12
Otras combi.



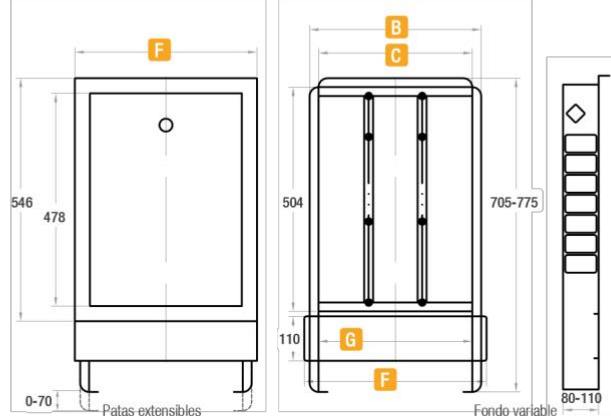
Caja con colector y grupo hidráulico compacto.



Cuidamos cada detalle.

Detalle de las patas extensibles.

Dimensiones de caja



Ancho Nominal	Caja		Marco frontal	
	B	C	F	G
400	435	395	459	391
500	489	449	513	445
600	574	534	598	530
750	724	684	748	680
900	874	834	898	830
1050	1024	984	1048	980
1200	1174	1134	1198	1130
1500	1474	1434	1498	1430

B: Ancho caja · **C:** Ancho interior caja · **F:** Ancho marco frontal · **G:** Ancho interior marco frontal



9.7 ANEXO VII: FICHA TÉCNICA VASO DE EXPANSIÓN

CE

Vasos de expansión de membrana Sistemas cerrados de energía solar

- Vasos de expansión de membrana para sistemas cerrados de energía solar
- Membrana no recambiable, especial para soportar picos de temperatura de hasta 130°C durante una hora
- Se recomienda instalar un vaso intermedio VI disipador de temperatura
- Conexión de agua cincada (R 3/4")
- Aptos para uso de anticongelantes hasta el 50% ▪ Válvula de hinchado
- Acabado exterior mediante pintura en color Blanco
- Fabricados conforme a la Directiva 2014/68/UE

INDUSTRIAS IBAIONDO, S.A. – Plentzia bidea, 3 – 48100 MUNGIA (BIZKAIA) ESPAÑA
Tel.: (+34) 946740400 Fax: (+34) 946740962





SMF SIN PATAS

- Material: Acero

- Gas precarga: Aire

- 2 años de garantía

Especificaciones técnicas

- | | |
|-----------------------------------|----------------|
| ▪ Volumen: | 2 – 24 Litros |
| ▪ Membrana: | No Recambiable |
| ▪ Presión máxima servicio: | 8-10Bar |
| ▪ Presión de prueba: | 12-15 Bar |
| ▪ Precarga EXWORKS: | 2,5 Bar |
| ▪ Temperatura máxima de servicio: | 100°C |
| ▪ Temperatura mínima de servicio: | -10°C |
| ▪ Conexión de agua: | R ¾" G.M |



Peso (Kg)	Código	Modelo	Volumen (Lts.)	Presión (Bar)	ØD (mm)	H (mm)	Conexión agua R
0,8	02002070	2 SMF	2	10	110	245	3/4"
2	02005070	5 SMF	8	10	200	250	3/4"
2,5	02008070	8 SMF	8	10	200	340	3/4"
3,2	02012070	12 SMF	12	10	270	310	3/4"
4	02018070	18 SMF	18	10	270	415	3/4"
4,5	02024070	24 SMF	24	8	320	430	3/4"

9.8 ANEXO VIII: CÁLCULO DEMANDA ENERGÉTICA

Mes	m3	Cp	tuso	tagua	Salto T°	J/mes	kWh/mes
Enero	3.472	4.184	60.0	15	45	653.71	181.59
Febrero	3.136	4.184	60.0	15	45	590.45	164.01
Marzo	3.472	4.184	60.0	15	45	653.71	181.59
Abril	3.36	4.184	60.0	15	45	632.62	175.73
Mayo	3.472	4.184	60.0	15	45	653.71	181.59
Junio	3.36	4.184	60.0	15	45	632.62	175.73
Julio	3.472	4.184	60.0	15	45	653.71	181.59
Agosto	3.472	4.184	60.0	15	45	653.71	181.59
Septiembre	3.36	4.184	60.0	15	45	632.62	175.73
Octubre	3.472	4.184	60.0	15	45	653.71	181.59
Noviembre	3.36	4.184	60.0	15	45	632.62	175.73
Diciembre	3.472	4.184	60.0	15	45	653.71	181.59
Anual	40.88					7,696.89	2,138.02

9.9 ANEXO IX: CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

Tabla resumen

	Area	Salto T°C	Carga Térmica (W)	Factor seguridad	Carga Térmica (W)
Suelo	20	16	192.0	0.10	211.20
Techo	20	16	256.0	0.10	281.60
Pared	50	16	480.0	0.10	528.00
Ventana	4	16	320.0	0.10	352.00
			Qttotal (W)		1372.8
			Qttotal (W/m2)		68.64

Cálculo de cargas térmicas

Upared	W/m2*K	W	
Utecho	0.6 adobe 0.8 teja	192 480	Qsuelo Qpared
Uventana	5 simple 0.6 tierra	256 320	Qttecho Qventana
Text	21		
Tint	5		
Salto T	16		
		Qttotal (W)	1248
		Qttotal (W/m2)	62.4
Asuelo	20		Factor seguridad
Atecho	20		10%
Apared	50		
Aventana	4		
		Qttotal (W)	1372.8
		Qttotal (W/m2)	68.64

9.10 ANEXO X: CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN EL COLECTOR

MEDIA
0.7716
2.7832
0.0161

Climasol
0.73
3.39
0.03

Icaro 2.3 HF
0.737
4.043
0.018

Icaro 2.3 VF
0.75
3.737
0.009

Icaro 2.0 VF
0.755
3.72
0.017

Vitosol 200 18 tubos
0.767
1.649
0.006

Vitosol 200 9 tubos
0.785
1.847
0.005

Vitosol 300 10 tubos
0.75
1.432
0.025

Spiebel Eltron
0.82
3.46
0.0153

Tubosol
0.8500
1.7710
0.0192

Tamb
14.5
60.0

Tfuido
Irradiación

Factor pérdida:
0.94

RENDIMIENTO MEDIA

Mes	Irradiancia W/m2	Rendimiento colector
Enero	955.543	0.558
Febrero	1007.459	0.567
Marzo	1004.443	0.566
Abril	952.795	0.557
Mayo	879.869	0.544
Junio	807.973	0.527
Julio	828.882	0.532
Agosto	851.892	0.538
Septiembre	904.209	0.548
Octubre	920.377	0.552
Noviembre	834.528	0.534
Diciembre	847.270	0.537
Min		0.527
Media		0.547

$$\eta(x) = \eta_0 - a_1 \cdot (x) - a_2 \cdot G \cdot (x)^2 \quad [X = (T_n - T_a) / G]$$

9.11 ANEXO XI: CÁLCULO DEMANDA ENERGÍA SUELO RADIANTE

Demanda mensual de energía para el sr

Caudal (m3/mes)	Cp	tsalida	tenrada	Salto T°	Jmes	kWh/mes
Mensual	31.39	4.184	40.0	33	919.23	255.34

3064.0896

$$Q_{Mensual} = D_{Mes radiante} * C_p fluido * (T_{impulsión} - T_{expulsión})$$

Donde:

$Q_{Mensual}$ = Demanda energética mensual (MJ).

$D_{Mes radiante}$ = Demanda mensual de agua caliente (m3).

$C_p fluido$ = Calor específico del fluido.

$T_{expulsión}$ = Temperatura descada (°C).

$T_{impulsión}$ = Temperatura media mensual de la red (°C).

Caudal necesario para la instalación de suelo radiante

Caudal (kg/s)	Caudal (l/s)	Caudal (l/h)	Caudal (l/día)	Caudal (l/mes)	Caudal (m3/mes)
0.0469	0.0469	168.74	1012.44	31985.79	31.39

El caudal M del agua en la instalación de suelo radiante se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$M = \frac{Q}{C_p * \Delta T_{(ida-ret)}}$$

donde:

- M es el caudal de agua (kg/s o l/s).
- Q es la carga térmica total (W).
- C_p es el calor específico del fluido (generalmente agua) en J/(kg·K).
- $\Delta T_{(ida-ret)}$ es la diferencia de temperatura entre el agua de impulsión y de retorno (°C).

Impulsión 40
Retorno 33
Salto temp 7

J a kwh 3.6
Horas funcionamiento 6

Carga W 1,372.80
Carga W/m2 68.64

Ce agua J/(kgK) 4184

factor pérdidas 0.85
Media sol anual 6.56

Tubosol 20 tubos 1.607
Area 0.08035

Tubolos 15 tubos 1.206
Area 0.0804

Tubosol 25 tubos 3.6
Area

