

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de la Energía

Diseño de una instalación de energía solar para calentamiento de agua en un hotel

Autor: Sara Torres Ugía

Tutor: José Julio Guerra Macho

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Diseño de una instalación de energía solar para calentamiento de agua en un hotel

Autor:
Sara Torres Ugía

Tutor:
José Julio Guerra Macho
Catedrático de Universidad

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Grado: Diseño de una instalación de energía solar para calentamiento de agua en un hotel

Autor: Sara Torres Ugía

Tutor: José Julio Guerra Macho

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

Agradecer a mi familia, en especial a mi padre y a mi hermana por todo el apoyo mostrado en cada decisión a lo largo de mi vida.

A mis amigos, por estar siempre presente, acompañarme en este camino y haberme ayudado a crecer.

Sara Torres Ugía

Sevilla, 2023

Resumen

El presente trabajo se va realizar el estudio, diseño y dimensionado de una instalación solar térmica para calentamiento de agua en un hotel de 4 estrellas situado en la localidad de Sevilla que cuenta con una ocupación de 146 personas. El objetivo de esta instalación es promover el uso de las energías renovables y reducir así el uso de las energías convencionales que generan un mayor impacto en el medioambiente.

Así mismo, este documento garantiza que la instalación cumple con los diferentes requisitos que se imponen tanto en Código Técnico de la Edificación (CTE) como en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE).

Este estudio está dividido en cinco documentos esenciales: Memoria descriptiva, Memoria de cálculo, Pliego de condiciones térmicas y administrativas, Mediciones y Presupuesto y Planos.

Abstract

The present work will be carried out the study, design and sizing of a solar thermal installation for water heating in a 4-star hotel located in the town of Seville, which has an occupancy of 146 people. The objective of this installation is to promote the use of renewable energies and thus reduce the use of conventional energies that generate a greater impact on the environment.

This document also guarantees that the installation complies with the different requirements imposed by both the Technical Building Code (CTE) and the Regulations on Thermal Installations in Buildings (RITE).

This study is divided into five essential documents: Descriptive report, Calculation report, Thermal and administrative specifications, Measurements and Budget and Drawings.

Índice

| | |
|---|-----------|
| Agradecimientos | 7 |
| Resumen | 9 |
| Abstract | 11 |
| Índice | 13 |
| Índice de Tablas | 16 |
| Índice de Figuras | 18 |
| 1 Memoria Descriptiva | 1 |
| 1.1 <i>Objeto del proyecto</i> | 2 |
| 1.2 <i>Introducción a las instalaciones solares (ACS)</i> | 2 |
| 1.2.1 Tipos de una instalación ACS | 2 |
| 1.2.2 Componentes de una instalación ACS | 3 |
| 1.3 <i>Método de Cálculo</i> | 5 |
| 1.3.1 Localización | 5 |
| 1.3.2 Configuración | 6 |
| 1.3.3 Demanda energética | 6 |
| 1.3.4 Parámetros del sistema | 6 |
| 1.3.5 Resultados | 8 |
| 1.4 <i>Descripción del edificio</i> | 9 |
| 1.5 <i>Descripción de la instalación</i> | 10 |
| 1.6 <i>Características técnicas de los equipos</i> | 12 |
| 1.6.1 Captadores Solares | 12 |
| 1.6.2 Interacumulador | 13 |
| 1.6.3 Bomba de circulación | 13 |
| 1.6.4 Vaso de expansión | 14 |
| 1.7 <i>Normativa</i> | 15 |
| 1.7.1 Código técnico de la Edificación (CTE), | 15 |
| 1.7.2 Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). | 15 |
| 1.7.3 Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE. | 16 |
| 1.7.4 Otras normas aplicadas | 16 |
| 1.8 <i>Bibliografía</i> | 16 |
| 2 Memoria de Cálculo | 19 |
| 2.1 <i>Introducción</i> | 20 |
| 2.2 <i>Datos de partida</i> | 20 |
| 2.2.1 Características del edificio | 20 |
| 2.2.2 Datos climatológicos | 20 |
| 2.2.3 Radiación solar sobre superficie inclinada | 22 |
| 2.2.4 Datos de consumo | 25 |
| 2.3 <i>Cálculo de la Demanda</i> | 26 |
| 2.4 <i>Dimensionado básico</i> | 27 |
| 2.4.1 Sistema de captación | 28 |
| 2.4.2 Volumen de acumulación | 29 |
| 2.4.3 Número de captadores en serie | 30 |
| 2.5 <i>Disposición de captadores</i> | 31 |
| 2.5.1 Pérdidas por orientación e inclinación | 32 |
| 2.5.2 Distancia entre captadores | 34 |
| 2.6 <i>Dimensionado de componentes de la instalación</i> | 34 |
| 2.6.1 Intercambiador | 34 |
| 2.6.2 Red de tuberías | 35 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.6.3 | Bomba de Circulación | 40 |
| 2.6.4 | Vaso de expansión | 42 |
| 2.6.5 | Espesor de aislamiento | 45 |
| 2.6.6 | Accesorios | 46 |
| 2.6.7 | Sistema de control y regulación | 46 |
| 3 | Pliego de Condiciones Técnicas y Administrativas | 49 |
| 3.1 | <i>Objeto y campo de aplicación</i> | 50 |
| 3.2 | <i>Norma aplicable</i> | 50 |
| 3.3 | <i>Condiciones de materiales y equipos</i> | 50 |
| 3.3.1 | Tuberías | 50 |
| 3.3.2 | Accesorios | 51 |
| 3.3.3 | Válvulas | 52 |
| 3.3.4 | Aislamiento | 54 |
| 3.3.5 | Vaso de Expansión | 54 |
| 3.3.6 | Bombas | 54 |
| 3.3.7 | Captadores solares | 55 |
| 3.3.8 | Sistema Eléctrico y de Control | 56 |
| 3.3.9 | Aparatos de Medida | 57 |
| 3.3.10 | Acumuladores | 58 |
| 3.3.11 | Intercambiador de calor | 58 |
| 3.4 | <i>Provisión del material</i> | 59 |
| 3.5 | <i>Condiciones de montaje</i> | 59 |
| 3.6 | <i>Pruebas, puesta en marcha y recepción</i> | 59 |
| 3.6.1 | General | 59 |
| 3.6.2 | Pruebas parciales | 59 |
| 3.6.3 | Pruebas finales | 60 |
| 3.6.4 | Ajustes y equilibrado | 60 |
| 3.6.5 | Recepción | 61 |
| 3.7 | <i>Mantenimiento</i> | 61 |
| 3.7.1 | Vigilancia | 62 |
| 3.7.2 | Mantenimiento Preventivo | 62 |
| 3.7.3 | Mantenimiento Correctivo | 62 |
| 4 | Mediciones y Presupuesto | 64 |
| 4.1 | <i>Sistema de Captación</i> | 65 |
| 4.2 | <i>Sistema de Intercambio y Acumulación</i> | 65 |
| 4.3 | <i>Sistema Hidráulico</i> | 66 |
| 4.4 | <i>Sistema de Control</i> | 68 |
| 4.5 | <i>Presupuesto final</i> | 68 |
| 5 | Planos | 71 |
| 5.1 | <i>Localización general del edificio</i> | 73 |
| 5.2 | <i>Esquema de principio</i> | 74 |
| 5.3 | <i>Distribución de captadores en cubierta</i> | 75 |
| 5.4 | <i>Sala de máquinas</i> | 76 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Características geográficas y climáticas | 21 |
| Tabla 2. Valores característicos de Sevilla | 21 |
| Tabla 3. Declinación y Ángulo horario. | 22 |
| Tabla 4. Índice de claridad. | 23 |
| Tabla 5. Radiación global directa y difusa. | 24 |
| Tabla 6. Radiación global sobre superficie inclinada. | 25 |
| Tabla 7. Demanda de ACS mensual | 27 |
| Tabla 8. Simulación 1 variando el número de captadores | 28 |
| Tabla 9. Simulación 2 variando el número de captadores | 29 |
| Tabla 10. Simulación variando volumen de acumulación | 30 |
| Tabla 11. Simulación variando el número de captadores en serie | 31 |
| Tabla 12. Dimensionado básico. | 31 |
| Tabla 13. Velocidad del fluido en función del diámetro y caudal. | 36 |
| Tabla 14. Pérdida de presión en función del diámetro y caudal. | 37 |
| Tabla 15. Dimensionado de tuberías. | 38 |
| Tabla 16. Pérdida de carga por tramo de tubería. | 39 |
| Tabla 17. Pérdida de carga en los diferentes caminos de la instalación. | 40 |
| Tabla 18. Cálculo de volumen de tuberías por tramo. | 44 |
| Tabla 19. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios. | 45 |
| Tabla 20. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios. | 46 |
| Tabla 21. Presupuesto final. | 68 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura. 1. Esquema general de una instalación de ACS | 2 |
| Figura. 2. Capas de un captador solar | 3 |
| Figura. 3. Intercambiador tipo serpentín. | 4 |
| Figura. 4. Sección “Localización” CHEQ4. | 5 |
| Figura. 5. Sección “Configuración” CHEQ4 | 6 |
| Figura. 6. Sección “Demanda energética” CHEQ4 | 7 |
| Figura. 7. Sección “Solar/Apoyo” CHEQ4 | 7 |
| Figura. 8. Sección “Otros parámetros” CHEQ4 | 8 |
| Figura. 9. Sección “Resultados” CHEQ4 | 8 |
| Figura. 10. Localización del edificio. | 9 |
| Figura. 11. Vista aérea del edificio. | 10 |
| Figura. 12. Esquema de principio. | 11 |
| Figura. 13. Captador solar Greenheiss GH-Captur 20V. | 12 |
| Figura. 14. Curva de pérdida de carga del captador Greenheiss GH-Captur 20V. | 13 |
| Figura. 15. Interacumulador Suicalsa ASSC500PW08RFP. | 13 |
| Figura. 16. Bomba de circulación Sedical AMC 40/12-B. | 14 |
| Figura. 17. Dimensiones bomba Sedical. | 14 |
| Figura. 18. Vaso de expansión Ibaiondo. | 15 |
| Figura. 19. Mapa zonas climáticas España | 20 |
| Figura. 20. Radiación global sobre superficie horizontal vs inclinada [MJ/m ²]. | 25 |
| Figura. 21. Demanda de referencia l/día por persona (Tref de 60°C) | 26 |
| Figura. 22. Representación de la demanda de ACS mensual. | 27 |
| Figura. 23. Parámetros para simulación de 30 captadores. | 28 |
| Figura. 24. Contribución solar vs número de captadores. | 29 |
| Figura. 25. Contribución solar vs volumen de captación | 30 |
| Figura. 26. Contribución solar vs número de captadores en serie. | 31 |
| Figura. 27. Orientación de los captadores | 32 |
| Figura. 28. Pérdidas límite en cuanto a orientación e inclinación. | 32 |
| Figura. 29. Ángulo de inclinación y de azimut. | 33 |
| Figura. 30. Pérdidas por orientación e inclinación. | 33 |
| Figura. 31. Distancia entre filas de captadores y distancia al muro. | 34 |
| Figura. 32. Distribución de tramos de tuberías. | 36 |
| Figura. 33. Longitudes equivalentes de accesorios. | 37 |
| Figura. 34. Curva de pérdida de carga de los captadores. | 41 |
| Figura. 35. Ficha técnica del acumulador resaltando la pérdida de carga en cada uno de los serpentines. | 41 |
| Figura. 36. Curva característica de la bomba de circulación. | 42 |
| Figura. 37. Controlador RVS 35 plus. | 47 |

1 MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Objeto del proyecto

El objetivo del presente proyecto es el dimensionado, descripción funcional y definición constructiva de una instalación de energía solar térmica de baja temperatura, para suplir la necesidad de agua caliente sanitaria (ACS) mediante un conjunto de colectores solares planos e acumuladores integrada en la instalación convencional ya existente, de manera que se aumenta la eficiencia energética del edificio y además se reduce la utilización de energía de origen fósil convencional y disminuye las emisiones de CO₂.

Se llevará a cabo siguiendo las normativas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y del Código Técnico de la Edificación (CTE).

La integración de la instalación solar se llevará a cabo siguiendo las normativas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y del Código Técnico de la Edificación (CTE) para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad de la instalación en su conjunto.

1.2 Introducción a las instalaciones solares (ACS)

Las instalaciones solares térmicas de baja temperatura tienen como principal función transformar la radiación solar en energía térmica utilizable. La configuración de estas instalaciones puede variar dependiendo de su aplicación y tamaño, así como de los equipos que incluyen y cómo están acoplados entre sí.

A grandes rasgos, todas estas instalaciones funcionan de manera similar. La energía solar térmica captada por los colectores solares es transferida a través de un fluido de trabajo al sistema de almacenamiento, donde se almacena para su posterior uso. De esta manera, cuando se necesita agua caliente sanitaria (ACS), se utiliza la energía térmica almacenada para proveer al sistema de consumo, y en caso de que no haya suficiente energía solar disponible, la instalación convencional entra en servicio para cubrir las necesidades de ACS.

1.2.1 Tipos de una instalación ACS

En este tipo de instalación se puede dividir en distintos sistemas:

- **Sistema de captación**, que a través del captador solar transforma la energía procedente del sol en energía térmica y la transfiere al fluido de trabajo.
- **Sistema de intercambio y acumulación**, transfiere la energía del fluido de trabajo al fluido del sistema de acumulación que reposa en el depósito de acumulación.
- **Sistema auxiliar o apoyo**, aporta la energía necesaria para satisfacer la demanda, complementado la energía aportada por la instalación solar.
- **Sistema de control**, es el encargado de programar y organizar el arranque y parada de bombas, así como controlar e informar de las temperaturas y presiones en los diferentes puntos de la instalación.

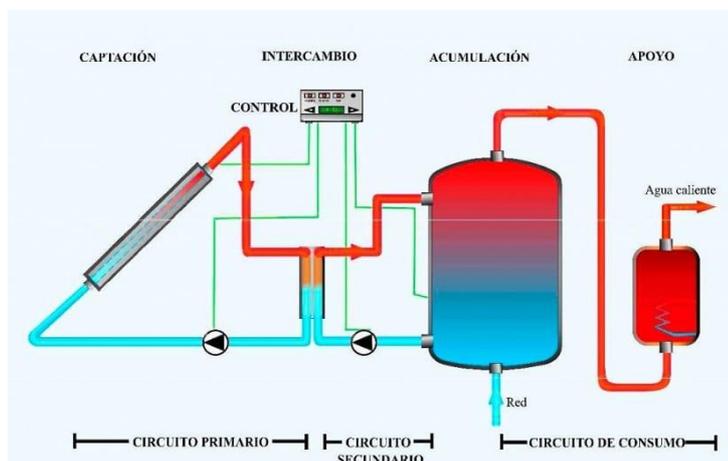


Figura. 1. Esquema general de una instalación de ACS

1.2.2 Componentes de una instalación ACS

1.2.2.1 Captadores solares térmico

Es el dispositivo que transforma la radiación solar en energía térmica que es transferida al fluido que circula por el circuito primario aumentando su temperatura. Además de producir calor de manera eficiente, el captador debe estar diseñado para soportar la continua exposición a los diferentes estados atmosféricos y resistir las temperaturas extremas que puede llegar a alcanzar.

Los más utilizados son los captadores solares planos, que se componen de:

- **Cubierta transparente**, provocan un efecto invernadero y reduce las pérdidas de calor por convección, para mejorar el rendimiento del colector, asegurar la estanqueidad del colector de agua y aire, normalmente son de vidrio, pero pueden ser de plástico.
- **Placa absorbadora**, recibe la radiación solar para transformarla en calor y transmitirla al fluido caloportador.
- **Conductos**, es por donde circula el fluido caloportador, y es imprescindible un buen contacto entre las tuberías del circuito y el absorbedor para facilitar la transferencia de energía. Los tipos de absorbedor más utilizados son los que tienen un circuito de tubos de cobre en forma de parrilla o serpentín.
- **Aislamiento**, se usa para evitar pérdidas de calor en el rendimiento del mismo. Se sitúa entre la carcasa del colector y la parte posterior de la placa absorbadora.
- **Carcasa protectora**, cuya misión es proteger y aguantar sobre sí misma el peso de cada uno de los elementos que forman el colector y actuar de unión con el edificio donde se coloca el colector a los elementos de anclaje.

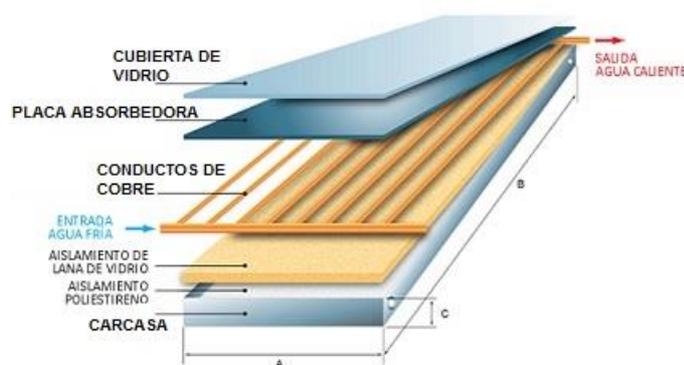


Figura. 2. Capas de un captador solar

1.2.2.2 Acumuladores solares

Es un depósito cilíndrico, que pueden ser de acero, acero inoxidable, de aluminio o de fibra de vidrio reforzado, donde se almacena la energía que se obtiene de los captadores. De esta forma, se consigue mantener la demanda de agua caliente sanitaria que requerirá el consumidor en periodos de baja o nula insolación proporcionará agua caliente sanitaria generada.

Los acumuladores pueden tener incorporados uno o más intercambiadores, llamándose, en ese caso, interacumuladores, y pueden ser de dos tipos: de ACS o de inercia.

1.2.2.3 Intercambiadores de calor

Es el equipo donde se realiza la transferencia de calor desde un fluido caliente hasta a otro frío. Normalmente se usa un intercambiador de tipo interno o interacumulador, en este caso el intercambiador está ya integrado dentro

del depósito acumulador de agua caliente sanitaria y es de tipo serpentín.



Figura. 3. Intercambiador tipo serpentín.

También existe la opción de añadir un intercambiador externo o independiente, habitualmente de tipo placa ya que tiene un coste inferior y es más compacto.

1.2.2.4 Bombas de circulación

Son los componentes encargados de impulsar el fluido a través del circuito hidráulico accionadas por un motor. Es recomendable que los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión y a las incrustaciones calcáreas como bronce o acero inoxidable, así como que tengan variador de frecuencia que permita ajustar las condiciones de funcionamiento en cada momento.

Con el objetivo de acomodar distintos escenarios operativos, las bombas de circulación integran variadores de frecuencia. Este mecanismo permite una modulación dinámica de las condiciones de funcionamiento. De este modo, se introduce un mayor grado de flexibilidad y eficiencia operativa en el sistema, capacitándolo para adaptarse de forma más precisa a fluctuaciones en la demanda energética.

1.2.2.5 Sistema de control

Este sistema regula el funcionamiento de los diferentes equipos y sistemas de la instalación, se encarga de maximizar el rendimiento de la instalación solar, así como de protegerla de posibles averías producidas por sobrecalentamiento, congelación, pérdidas de presión, etc.

Es el encargado de asegurar el correcto funcionamiento de la instalación, utilizar los máximos recursos solares posible. Este sistema contiene diferentes sensores y controladores, tanto de temperatura como de presión, que se encargan de mantener estos dos parámetros en los rangos adecuados en los diferentes dispositivos de la instalación.

1.2.2.6 Sistema auxiliar

Suele ser una caldera convencional, proporciona la energía necesaria para satisfacer la demanda cuando la energía almacenada en los dispositivos de almacenamiento no es suficiente. Según la normativa actual, es obligatorio instalar un sistema de respaldo con una capacidad suficiente para satisfacer el 100% de la demanda en cualquier situación de operación, de manera que pueda actuar como un seguro contra posibles interrupciones de suministro de energía y asegura que la demanda energética siempre pueda ser satisfecha.

1.2.2.7 Sistema hidráulico

El sistema hidráulico incluye toda la red de tuberías, normalmente de cobre o acero inoxidable, que transporta el fluido térmico, desde el sistema de captación hasta la red de distribución que lleva a los diferentes puntos de consumo.

Además, cuenta con un vaso de expansión para manejar las fluctuaciones en el volumen del fluido térmico, contribuyendo a la eficiencia y la longevidad del sistema.

A lo largo de la instalación se instalarán distintas válvulas y accesorios que garanticen un funcionamiento óptimo y seguro. Entre estos accesorios se encuentran válvulas de corte que aislen los diferentes equipos, válvulas antirretornos que impidan que el flujo pueda revertirse, o válvulas de seguridad para prevenir sobrepresiones en el sistema.

1.3 Método de Cálculo

En este Proyecto se usará la herramienta informática CHEQ4, creada por el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía) y el ASIT (Asociación Solar de la Industria Térmica), para el cálculo de la superficie de captación y el volumen de acumulación de la instalación. Esta herramienta nos permite poder realizar de manera sencilla el cálculo de la instalación validando así el cumplimiento de las exigencias que se detallan en la sección HE4 del Documento básico de Ahorro de energía que se encuentra en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

El programa cuenta con distintas pestañas donde añadir los datos de partida importantes, a continuación, se detallarán cada una de estas pestañas así como los parámetros básicos necesarios para poder obtener la contribución solar necesaria.

1.3.1 Localización

En esta primera sección se introduce la provincia y el municipio donde se va a realizar la instalación, así como la altura absoluta respecto del mar. De esta manera se detallan los datos climatológicos de la localidad como puede verse en la Figura 4. Los datos de irradiancia que muestran están sacados de la base de datos del Atlas de Radiación Solar en España de la AEMET, y los de temperatura de red y ambiente de las normas UNE 94002 y 94003 respectivamente.

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

Provincia: Sevilla | Municipio: Sevilla | Zona climática: Zona V | Latitud: 37° 22'

Mapa provincia

Altura municipio seleccionado (m): 12

Altura de la instalación (m): 12

| | Rad(MJ/m2) | T.Red (°C) | T.Amb (°C) |
|------------|------------|------------|------------|
| Enero | 9,8 | 11,0 | 10,7 |
| Febrero | 13,2 | 11,0 | 11,9 |
| Marzo | 18,1 | 13,0 | 14,0 |
| Abril | 22,1 | 14,0 | 16,0 |
| Mayo | 25,2 | 16,0 | 19,6 |
| Junio | 28,4 | 19,0 | 23,4 |
| Julio | 29,2 | 21,0 | 26,8 |
| Agosto | 25,9 | 21,0 | 26,8 |
| Septiembre | 20,8 | 20,0 | 24,4 |
| Octubre | 14,5 | 16,0 | 19,5 |
| Noviembre | 10,5 | 13,0 | 14,3 |
| Diciembre | 8,4 | 11,0 | 11,1 |
| Promedio | 18,8 | 15,5 | 18,2 |

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura. 4. Sección "Localización" CHEQ4.

1.3.2 Configuración

En este apartado te permite seleccionar el tipo de instalación que más se ajuste al sistema que se desea validar. Te permite escoger entre las tipologías más comunes de instalaciones en nuestro país, diferenciando si son de consumo único o múltiple.

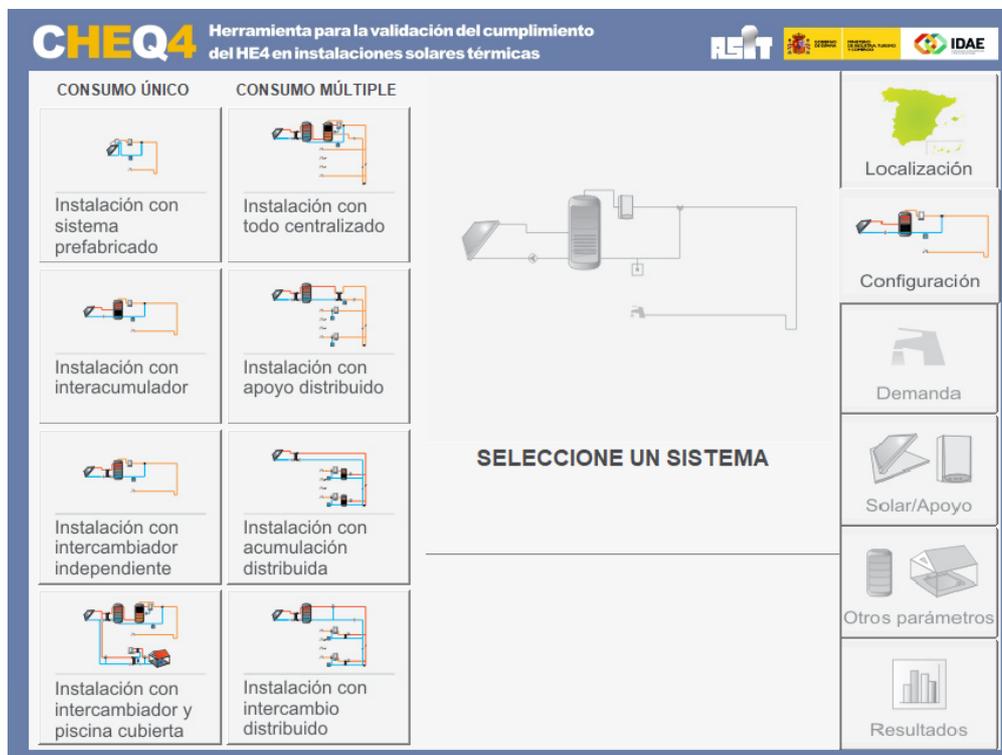


Figura. 5. Sección “Configuración” CHEQ4

1.3.3 Demanda energética

En esta pantalla se especifica la demanda total de agua caliente sanitaria del edificio. Para instalaciones de consumo único solo hay que especificar el tipo de aplicación final del edificio y el número de personas. Para el caso de instalaciones de consumo múltiple habrá que indicar el número de viviendas y dormitorios.

1.3.4 Parámetros del sistema

En este apartado se definen todos parámetros que son necesarios para la metodología que utiliza la herramienta, MetaSol, y están divididos en dos pantallas.

La primera pantalla “Solar/Apoyo”, se definen los parámetros comunes a todos los tipos de configuraciones. En la primera parte, se especifica la empresa y modelo de captadores que se van a utilizar en la instalación, y las características del sistema de captación: número de captadores, disposición en serie, orientación, inclinación y pérdidas por sombra. Después se detallan los parámetros que definen el circuito primario y secundario y el sistema de apoyo y el combustible que utilizará este sistema.

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

CONSUMO ÚNICO
 Aplicación:
 Número de...:
 Demanda calculada (l/día a 60 °C):

CONSUMO MÚLTIPLE

| | Viviendas | Dormitorios | Personas | Litros/día |
|--------|----------------------|----------------------|----------|------------|
| Tipo A | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | |
| Tipo B | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | |
| Tipo C | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | |
| Tipo D | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | |

Demanda calculada (l/día a 60 °C):

CONSUMO TOTAL
 Otras demandas (l/día a 60°C):
 Demanda total (l/día a 60°C):

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Figura. 6. Sección “Demanda energética” CHEQ4

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

CAPTADORES
 Empresa:
 Marca/Modelo:

Datos de ensayo

| Área (m2) | n0 (-) | a1 (W/m2K) | a2 (W/m2K2) | Qtest(l/hm2) | k50 | Laboratorio | Certificación |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <input type="text"/> |

CAMPO DE CAPTADORES
 Núm. captadores: Captadores en serie: Pérdidas sombras (%):
 Orientación (°): Inclinación (°): Área total captadores (m2):

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO
 Caudal prim.(l/h): Anticongelante (%): Long. circuito (m):
 Diám. tubería (mm): Esp. aislante (mm): Aislante:

SISTEMA DE APOYO
 Tipo de sistema:
 Tipo de combustible:

Figura. 7. Sección “Solar/Apoyo” CHEQ4

En la pantalla de “Otros parámetros”, se introducirá el volumen total de la instalación y las características principales del circuito de distribución.

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

Volumen total (l)
 Vol/Área (l/m²) 0,00

VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES
 Tipo A (l) Tipo C (l)
 Tipo B (l) Tipo D (l)
 Volumen total (l) Vol/Área (l/m²)

DISTRIBUCIÓN
 Long. circuito (m)
 Diám. tubería (mm)
 Esp. aislante (mm) T. imp.(°C)
 Aislante

DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES
 Long. total (m)
 Diám. tubería (mm)
 Esp. aislante (mm)
 Aislante

PISCINA CUBIERTA
 Altura (m) Temp. ambiente (°C)
 Apertura diaria (h) Temp. piscina (°C)
 Superficie lámina (m²) Renov. volumen día (%)
 Humedad relativa (%) Ocupación (pers/m²)

Localización
 Configuración
 Demanda
 Solar/Apoyo
 Otros parámetros
 Resultados

Figura 8. Sección "Otros parámetros" CHEQ4

1.3.5 Resultados

La última pantalla corresponde a la visualización de los resultados, donde te muestra si la instalación cumple o no los requisitos mínimos de contribución solar exigidos por el HE4. Entre los resultados te muestra la fracción solar, demanda neta y bruta, el aporte solar o la reducción de CO₂.

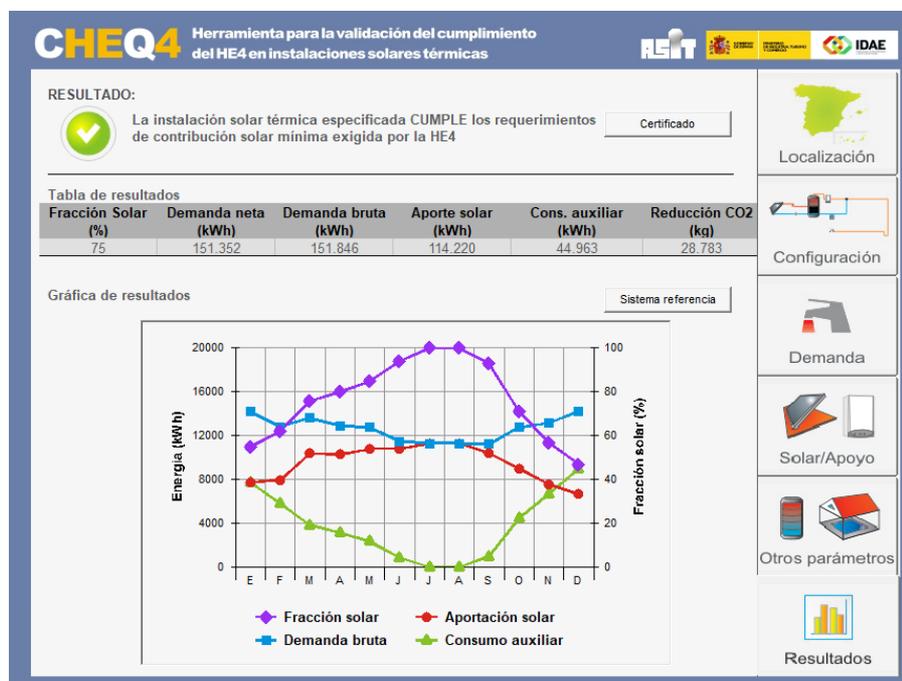


Figura 9. Sección "Resultados" CHEQ4

1.4 Descripción del edificio

El edificio a estudiar está situado en pleno centro de la ciudad de Sevilla, en la calle Lagar 2 (41004). Se trata de un edificio entre medianeras, encontrándose la puerta principal de frente por la calle Lineros. Cuyas coordenadas son 37° 23' 28.564" N 5° 59' 33.154" W.



Figura. 10. Localización del edificio.

El edificio antiguamente reconocido por albergar los Almacenes Vilma fue construido en 1963 y no fue hasta 2014 año en que se vendió el edificio y se renovó para dar lugar a la construcción del hotel H10 Casa de la Plata.

El hotel tiene cuatro estrellas y cuenta con un total de 78 habitaciones lo que da un total de 146 ocupantes, tiene una altura de 4 plantas y un ático también contiene 2 plantas sótano. Las plantas presentan la siguiente distribución:

Planta -2: Reserva de instalaciones y servicios.

Planta -1: Salas de reuniones, comedor, cocinas, lavandería, cuarto de residuos, cámaras, servicios, patio interior.

Planta Baja: Vestíbulo, bar, sala de reuniones, 5 habitaciones, vestuario personal, despachos, recepción.

Planta Primera: 23 Habitaciones.

Planta Segunda: 23 Habitaciones.

Planta Tercera: 22 Habitaciones, terraza no accesible.

Planta Ático: Cuarto de instalaciones.

La cubierta del edificio cuenta con una superficie disponible de alrededor de 500 m², espacio suficiente para albergar todo el sistema de captación solar. La sala de máquinas está también situada en la cubierta superior, en ella se almacenarán los diferentes equipos de la instalación. La instalación convencional, ya existente en el edificio, se utilizará como sistema auxiliar. Se trata de dos calderas de gas natural con una potencia total de 140 kW con un depósito auxiliar de 4000 litros.



Figura. 11. Vista aérea del edificio.

1.5 Descripción de la instalación

El esquema de principio que sigue esta instalación se muestra en la Figura 12, que nos ayudará a explicar cuál es el principio de funcionamiento de esta instalación.

Las bombas de circulación del circuito primario impulsan el fluido caloportador hacia el sistema de captación formado por un total de 52 captadores que están agrupados en baterías de 4 captadores cada una haciendo un total de 95,16 m² de superficie de captación. *En cada uno de los ramales se coloca una válvula de equilibrado que garantizará una distribución uniforme del caudal a lo largo del campo de captación.* El fluido tras aumentar su energía térmica llega a los interacumuladores, en nuestro caso la instalación cuenta con dos interacumuladores colocados en paralelo de la misma capacidad, 5000 litros. Al salir de los serpentines de los depósitos el fluido vuelve a las bombas de circulación para volver a ser impulsado hacia los captadores. Este circuito cerrado cuenta también con un sistema de llenado y vaciado.

El agua de red se inyecta en la parte inferior de ambos interacumuladores, y al entrar en contacto con los serpentines del depósito se calienta. Ambos depósitos están conectados a un acumulador auxiliar, de manera de que si la temperatura del agua de consumo no es la deseada será necesaria bombearla a la caldera auxiliar hasta llegar a alcanzar la temperatura ideal. La caldera auxiliar es una caldera impulsada por gas natural. Una vez que el agua ya ha alcanzado la temperatura deseada se envía a través del acumulador auxiliar a la red de distribución lista ya para su consumo.

En ambos circuitos primario y secundario se ha dimensionado el grupo de bombeo con dos bombas en paralelo para que sirva de redundancia en caso de avería. Se han colocado válvulas de corte a la entrada y salida de cada uno de los equipos de la instalación, que garantiza la independencia de cada equipo ante labores de mantenimiento o averías. También cuenta con purgadores en las baterías de captadores para poder expulsar el aire que se haya podido acumular y así evitar daños en el sistema. El vaso de expansión cuenta con una válvula de seguridad que protege la instalación ante altos niveles de presión.

El sistema de control es de tipo diferencial, de esta manera activará el grupo de bombeo del circuito primario una vez se alcance una diferencia de temperatura entre la entrada y salida del campo de captación de 7 °C y se parará cuando este sea de 2 °C. Para el circuito secundario el diferencial de temperatura del depósito auxiliar lo medirá un termostato ya instalado en la instalación convencional y accionará las bombas de este circuito.

Se usará un líquido mezcla de agua y anticongelante en el circuito primario, de manera que el circuito quede protegido en caso de que se generen bajas temperaturas.

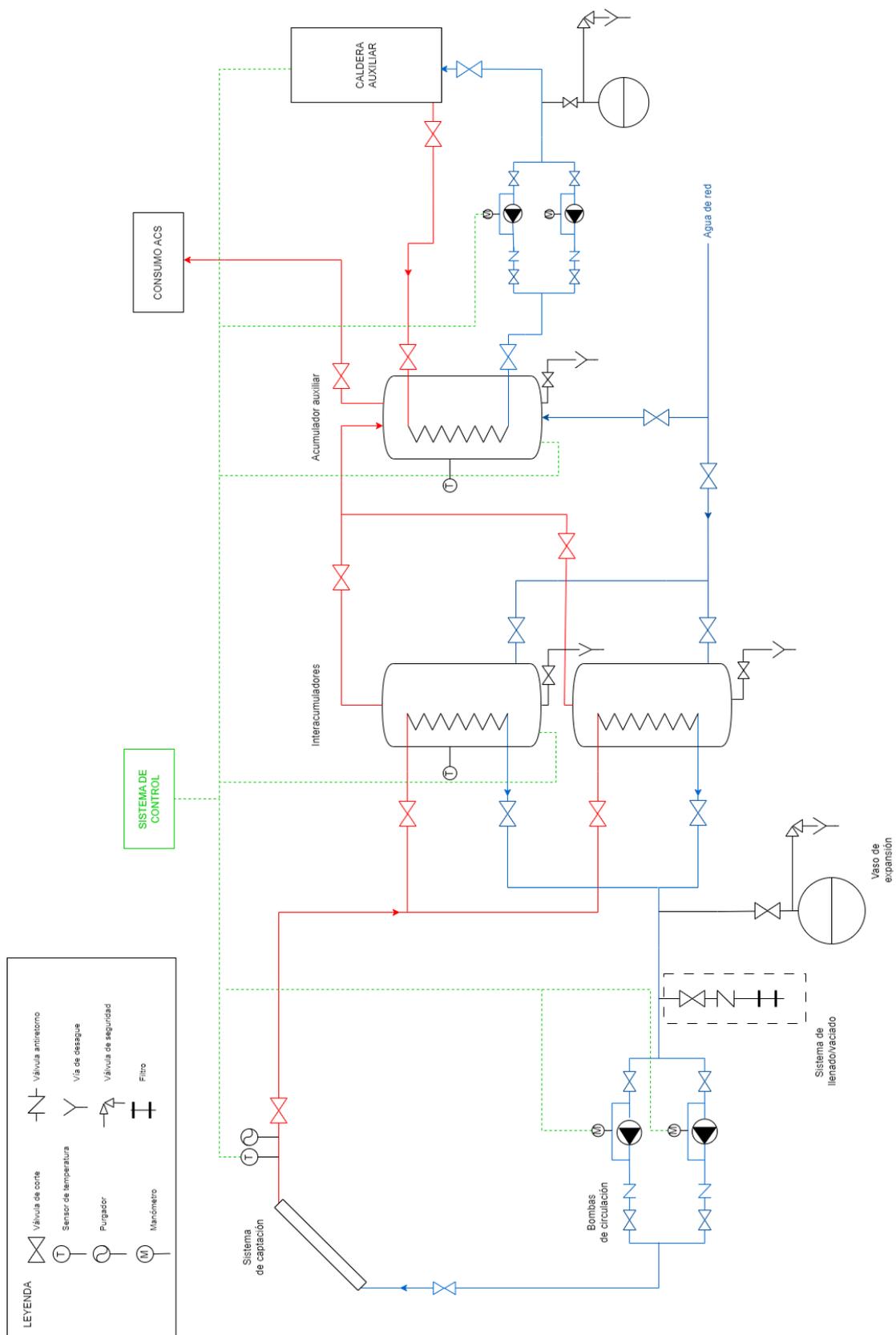


Figura. 12. Esquema de principio.

1.6 Características técnicas de los equipos

En este apartado se muestran las características técnicas de cada uno de los equipos que se utilizan en la instalación

1.6.1 Captadores Solares

Todos los captadores utilizados en la instalación es de la marca Greenheiss y está dentro de la base de datos de la herramienta CHEQ4, el modelo GH-Captur 20V que cuenta con un absorbedor de alta eficiencia de aluminio y tipo parrilla.



Figura. 13. Captador solar Greenheiss GH-Captur 20V.

Las características técnicas del captador son las siguientes:

- Superficie bruta: 1,97 m²
- Superficie de absorción: 1,83 m²
- Alto: 2058 mm
- Ancho: 958 mm
- Fondo: 85 mm
- Rendimiento óptico: 81,50 %
- Coeficiente de pérdida de calor K1: 3,388 W/(m²·K)
- Coeficiente de pérdida de calor K2: 0,018 W/(m²·K²)
- k50: 0,96
- Peso: 27,8 Kg
- Caudal de ensayo: 45 l/h· m²
- Presión máxima de trabajo: 10 bar

| Batería de | 1 ud | 2 ud | 3 ud | 4 ud | 5 ud | 6 ud |
|------------|--------|--------|--------|---|--------|--------|
| CAPTUR 20V | 0,0064 | 0,0403 | 0,1290 | 0,2989 | 0,5766 | 0,9884 |
| CAPTUR 25V | 0,0115 | 0,0786 | 0,2554 | 0,5952 | 1,1511 | 1,9766 |
| CAPTUR 20H | 0,0105 | 0,0781 | 0,2583 | Pérdida de carga en m.c.a. con un caudal de 45 l/h m² a 60°C generada en baterías | | |
| CAPTUR 25H | 0,0170 | 0,1266 | 0,4188 | | | |

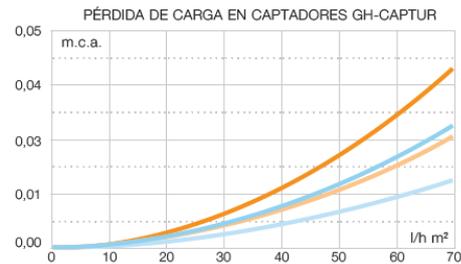


Figura. 14. Curva de pérdida de carga del captador Greenheiss GH-Captur 20V.

1.6.2 Interacumulador

Los interacumuladores utilizados son de la marca Suicalsa, modelo ASSC500PW08RFP de tipo doble serpentín, construido en acero al carbono.



Figura. 15. Interacumulador Suicalsa ASSC500PW08RFP.

Cuenta con las siguientes características técnicas:

- Capacidad: 5000 litros
- Diámetro exterior: 1700 mm
- Altura: 2959 mm
- Presión máxima del depósito: 8 bar
- Peso: 719 Kg
- Superficie del serpentín inferior: 6,34 m²
- Superficie del serpentín superior: 6,34 m²
- Superficie total: 12,68 m²

1.6.3 Bomba de circulación

Las bombas de circulación de la marca Sedical, modelo SA(X) 30/11-B.



Figura. 16. Bomba de circulación Seducal AMC 40/12-B.

Cuenta con las siguientes características técnicas:

- Presión máxima de trabajo: 10 bar
- Temperatura del fluido: 15 a 85 °C
- Peso: 4,2 Kg
- Tensión: 1x230 V, 50Hz

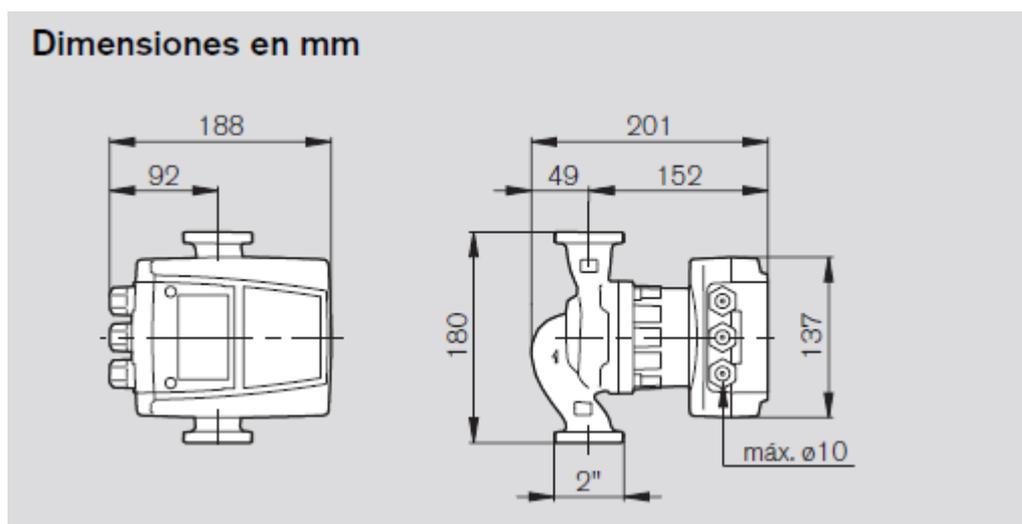


Figura. 17. Dimensiones bomba Seducal.

1.6.4 Vaso de expansión

El vaso de expansión es de la marca Ibaiondo, modelo 8 VI SIN PATAS.

Cuenta con las siguientes características técnicas:

- Capacidad: 8 litros
- Presión máxima de servicio: 10 bar
- Temperatura máxima: 100 °C
- Temperatura mínima: -10 °C
- Alto: 340 mm

- Diámetro: 200 mm



Figura. 18. Vaso de expansión Ibaiondo.

1.7 Normativa

En este apartado se presenta la normativa seguida para el desarrollo de esta memoria, fundamentalmente se ha garantizado el cumplimiento de dos normas: el Código técnico de la Edificación (CTE) y Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

1.7.1 Código técnico de la Edificación (CTE),

En el CTE se encuentra el Documento Básico HE “Ahorro de Energía” que está dividido en diferentes apartados:

- HE0 Limitación del consumo energético.
- HE1 Condiciones para el control de la demanda energética.
- HE2 Condiciones de las instalaciones térmicas.
- HE3 Condiciones de las instalaciones de iluminación.
- HE4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria.
- HE5 Generación mínima de energía eléctrica.
- HE6 Dotaciones mínimas para la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos.

Para el dimensionado de la instalación se ha tenido en cuenta el apartado HE4 específico para instalaciones destinadas a producir agua caliente sanitaria.

- **Cumplimiento de la contribución mínima solar:** La contribución mínima solar procedente de fuentes de energía renovable debe cubrir al menos el 70% de la demanda energética anual del edificio. Nuestra instalación tiene un factor de contribución solar del 72 %.
- **Demanda de referencia de ACS:** Se calcula una demanda de referencia en función del tipo de edificio y ocupación. Este cálculo se detalla en el apartado 2.3 de la Memoria de Cálculo de este documento.

1.7.2 Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

- **Cumplimiento de la exigencia de higiene, IT 1.1.4.3:** En la preparación de agua caliente para usos sanitarios se cumplirá con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la legionelosis.
- **Cumplimiento de material de aislamiento, IT 1.2.4.2.1:** Se exige un nivel mínimo de espesor de aislamiento para las tuberías en instalaciones térmicas. Las exigencias de esta norma se detallan en el apartado 2.6.5 de la Memoria de Cálculo de este documento.

- **Cumplimiento de diseño de red de tuberías y conductos, IT 1.3.4.2:** En esta norma se detallan aspectos sobre el diseño de los soportes y conexiones de las tuberías y los diferentes equipos.

1.7.3 Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE.

- **Pérdidas por orientación e inclinación,** se establecen unos porcentajes mínimos de pérdidas debido a la orientación e inclinación de los captadores.
- **Distancia mínima entre captadores,** se calcula la distancia mínima entre filas de captadores o muros de manera que se evite que se puedan llegar a producir pérdidas por sombras de estos obstáculos.
- **Dimensionado de intercambiador,** se impone una relación mínima entre la superficie útil del intercambiador y el área total del campo de captadores de la instalación.
- **Dimensionado de las redes de tuberías,** se exige que diámetro de las tuberías vendrá dado por la velocidad de circulación del fluido y esta no debe ser superior a 3 m/s al ser un trazado exterior y de 2 m/s en caso de tuberías interiores.

1.7.4 Otras normas aplicadas

- UNE 100150, diseño y cálculo de sistemas de expansión.
- Norma UNE 94002:2005, Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica.
- Norma UNE 94003:2007, Datos climatológicos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas.
- Norma UNE-EN 12977-1, Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida.
- Norma UNE-EN 12976-2, Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas prefabricados.

1.8 Bibliografía

- [1] Apuntes de Energía Solar de la Edificación. Grupo de Termotecnia. Departamento de Ingeniería Energética. Universidad de Sevilla, 2023.
- [2] Manual de Usuario CHEQ4.
- [3] Código Técnico de la Edificación, Sección HE4, contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- [4] Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).
- [5] Pliego de Condiciones técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE.
- [6] MARIA DEL ROSARIO DOMINGUEZ MARTINEZ-PAIS, *Estudio y diseño de una instalación solar térmica para producción de agua caliente en un hospital*. Sevilla, 2022.
- [7] MAR TROYA RODRÍGUEZ, *Estudio y diseño de una instalación solar térmica para producir agua caliente en el sector hotelero*. Sevilla, 2020.
- [8] ELOY JOSÉ GARCÍA RODRÍGUEZ, *Diseño de una instalación solar térmica para calentamiento de agua caliente sanitaria en una residencia de mayores*. Sevilla, 2019.
- [9] JOSE MANUEL REGUERA LORETO, *Análisis y diseño de una instalación solar térmica de ACS en un hotel*. Sevilla, 2021.
- [10] Clima de Sevilla, aemet.es
- [11] Clima de Sevilla, meteoblue.com
- [12] Catálogo IBAIONDO S.A.
- [13] Catálogo SEDICAL S.A.
- [14] Catálogo de captadores solares, climagar.com

[15] Catálogo de tubería de cobre y valvulería, tubosdominguez.com

2 MEMORIA DE CÁLCULO

2.1 Introducción

En esta memoria se detallarán y justificarán los cálculos utilizados para dimensionar cada uno de los elementos de la instalación ACS en un hotel situado en Sevilla, en base a la metodología definida en la memoria descriptiva y de acuerdo con la reglamentación vigente.

2.2 Datos de partida

En este apartado se expondrán los datos de partida que se han tenido en cuenta para cumplir las exigencias energéticas, a considerar, la ubicación, los datos climatológicos y datos de consumo.

2.2.1 Características del edificio

El edificio objeto de estudio se encuentra en el municipio de Sevilla, cuyas coordenadas son 37° 23' N, 5° 59' W, y tiene una capacidad de ocupación de 146 personas. Cuenta con una cubierta que ofrece una superficie disponible para captadores de 510 metros cuadrados y tiene una orientación sur.

2.2.2 Datos climatológicos

Para determinar la zona climática en la que se encuentra el edificio Podemos consultar la norma UNE 94003:2007 o el CTE, la localidad de Sevilla se sitúa dentro de la zona climática V.

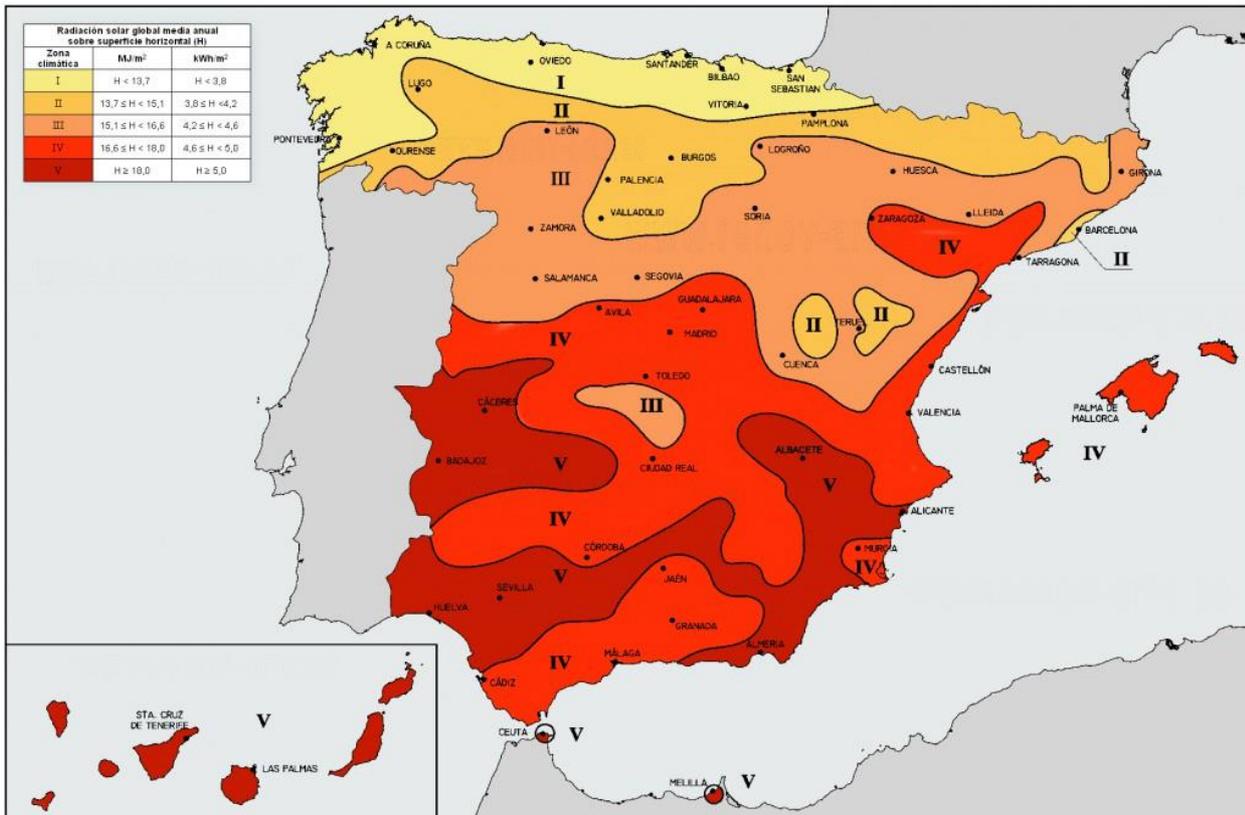


Figura. 19. Mapa zonas climáticas España

En la Tabla 1 se muestran los datos geográficos y climatológicos de Sevilla, tomando como referencia la estación meteorológica situada en La Rinconada, la estación meteorológica de AEMET más cercana a la capital.

Tabla 1. Características geográficas y climáticas

| Características | Datos |
|-------------------------------------|---------|
| Latitud | 37° 23' |
| Longitud | 5° 59' |
| Altitud media [m] | 12 |
| Temperatura de red en invierno [°C] | 11,5 |
| Temperatura de red en verano [°C] | 20,25 |
| Temperatura media de red [°C] | 15,5 |

En la Tabla 2 se puede observar los valores referentes a la irradiancia media diaria de cada mes a lo largo de un año completo, así como los datos de temperatura de red y la temperatura ambiente media obtenida de la estación meteorológica mencionada anteriormente:

Tabla 2. Valores característicos de Sevilla

| Meses | Rad. global [MJ/m ²] | T. ambiente [°C] | T. de red [°C] |
|------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Enero | 9,1 | 10 | 11 |
| Febrero | 12,2 | 11 | 11 |
| Marzo | 16 | 15 | 13 |
| Abril | 19,8 | 17 | 14 |
| Mayo | 24,1 | 20 | 16 |
| Junio | 25,9 | 24 | 19 |
| Julio | 27,2 | 25 | 21 |
| Agosto | 24,8 | 25 | 21 |
| Septiembre | 19,2 | 22 | 20 |
| Octubre | 14,3 | 19 | 16 |
| Noviembre | 10,2 | 13 | 13 |
| Diciembre | 8,3 | 11 | 11 |
| Promedio | 17,6 | 17,7 | 15,5 |

También es necesario saber la cantidad de heladas que se pueden presentar a lo largo del año, en este caso la

ciudad de Sevilla cuenta con un mínimo histórico $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ registrado en el año 1956, y en la última década, a partir de 2010, la temperatura mínima que se ha registrado en la capital hispalense es de $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.2.3 Radiación solar sobre superficie inclinada

El dato del que se parte es la radiación global sobre la superficie horizontal, por ello es necesario conocer la radiación global sobre la superficie inclinada, así se conocerá la cantidad que energía que llega a los captadores. El campo de captadores se encuentra orientada hacia el sur y la inclinación se calcula en función a la latitud de la localidad, en este caso su impondrá una inclinación de 45° .

Para empezar, es necesario calcular una serie de parámetros, cuyas definiciones se dan en la UNE-EN ISO9488:2022:

- **Declinación, δ** , ángulo que forma la línea recta que une la Tierra con el Sol y el plano del Ecuador. Viene definido por la Ecuación de Cooper:

$$\delta = 23,45 * \sin\left(360 * \frac{(284 + n)}{365}\right); \quad -23,45 < \delta < 23,45$$

- n : día del año.

- **Ángulo horario, ω_s** , ángulo que forma la proyección del Sol sobre el plano ecuatorial en un momento dado y la proyección del Sol sobre el mismo plano al mediodía.

$$\cos \omega_s = -\tan \delta \tan \varnothing$$

- \varnothing : latitud del lugar.

Tabla 3. Declinación y Ángulo horario.

| Mes | Día del año, n | δ ($^{\circ}$) | ω_s ($^{\circ}$) |
|------------|------------------|-------------------------|---------------------------|
| Enero | 17 | -20,92 | 73,02 |
| Febrero | 47 | -12,95 | 79,88 |
| Marzo | 75 | -2,42 | 88,15 |
| Abril | 105 | 9,41 | 97,28 |
| Mayo | 135 | 18,79 | 105,07 |
| Junio | 162 | 23,09 | 109,01 |
| Julio | 198 | 21,18 | 107,22 |
| Agosto | 228 | 13,45 | 100,53 |
| Septiembre | 258 | 2,22 | 91,70 |
| Octubre | 288 | -9,60 | 82,57 |
| Noviembre | 318 | -18,91 | 74,82 |
| Diciembre | 344 | -23,05 | 71,03 |

- **Radiación solar extraterrestre en una superficie horizontal, H_0** , radiación recibida en los límites de

la atmósfera terrestre.

$$H_0 = \frac{24 * 3600}{\pi} G_{CS} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360 * n}{365}\right) \left(\frac{\pi * \omega_s}{180} \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \sin \omega_s\right)$$

- **Constante solar, G_{CS}** , irradiancia solar fuera de la atmósfera terrestre en un plano normal a la dirección de la radiación solar, cuando la tierra se encuentra a la distancia media del Sol. Tiene un valor igual a $1367 \frac{W}{m^2}$.
- **Índice de claridad, K_t** , es la transmitancia atmosférica, cociente entre la irradiancia global y la irradiancia extraterrestre.

$$K_t = \frac{H}{H_0}$$

Tabla 4. Índice de claridad.

| Mes | H [MJ/m ² día] | H_0 [MJ/m ² día] | K_t |
|------------|-----------------------------|-------------------------------|-------|
| Enero | 9,1 | 16,82 | 0,54 |
| Febrero | 12,2 | 22,02 | 0,55 |
| Marzo | 16 | 28,61 | 0,56 |
| Abril | 19,8 | 35,30 | 0,56 |
| Mayo | 24,1 | 39,87 | 0,60 |
| Junio | 25,9 | 41,68 | 0,62 |
| Julio | 27,2 | 40,70 | 0,67 |
| Agosto | 24,8 | 37,00 | 0,67 |
| Septiembre | 19,2 | 30,97 | 0,62 |
| Octubre | 14,3 | 23,91 | 0,60 |
| Noviembre | 10,2 | 18,01 | 0,57 |
| Diciembre | 8,3 | 15,38 | 0,54 |

La radiación global diaria media horizontal se descompone en una componente directa, H_D , y otra difusa, H_d :

$$H = H_D + H_d$$

Para $\omega_s \leq 81,4^\circ$ y $0,3 \leq K_t \leq 0,8$:

$$\frac{H_d}{H} = 1,391 - 3,56 * K_t + 4,189 * K_t^2 - 2,137 * K_t^3$$

Para $\omega_s > 81,4^\circ$ y $0,3 \leq K_t \leq 0,8$:

$$\frac{H_d}{H} = 1,311 - 3,022 * K_t + 3,427 * K_t^2 - 1,821 * K_t^3$$

Tabla 5. Radiación global directa y difusa.

| Mes | H [MJ/m ² día] | H_D [MJ/m ² día] | H_D [MJ/m ² día] |
|------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Enero | 9,1 | 5,89 | 3,21 |
| Febrero | 12,2 | 8,04 | 4,16 |
| Marzo | 16 | 10,01 | 5,99 |
| Abril | 19,8 | 12,42 | 7,38 |
| Mayo | 24,1 | 16,04 | 8,06 |
| Junio | 25,9 | 17,63 | 8,27 |
| Julio | 27,2 | 19,63 | 7,57 |
| Agosto | 24,8 | 17,94 | 6,86 |
| Septiembre | 19,2 | 13,04 | 6,16 |
| Octubre | 14,3 | 9,44 | 4,86 |
| Noviembre | 10,2 | 6,83 | 3,37 |
| Diciembre | 8,3 | 5,36 | 2,94 |

- **Relación irradiancia directa, R_D** , relación entre la irradiancia directa sobre una superficie inclinada y la superficie horizontal

$$R_D = \frac{\cos(\varnothing - \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + \frac{\pi \cdot \omega'_s}{180} \sin(\varnothing - \beta) \sin \delta}{\cos \varnothing \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \sin \varnothing \sin \delta}$$

Donde ω'_s es el ángulo horario referido a la radiación global diaria media sobre la superficie inclinada y β es el ángulo de inclinación de los captadores, 35°.

$$\omega'_s = \text{MIN} \left\{ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan \varnothing \tan \delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\varnothing - \beta) \tan \delta) \end{array} \right.$$

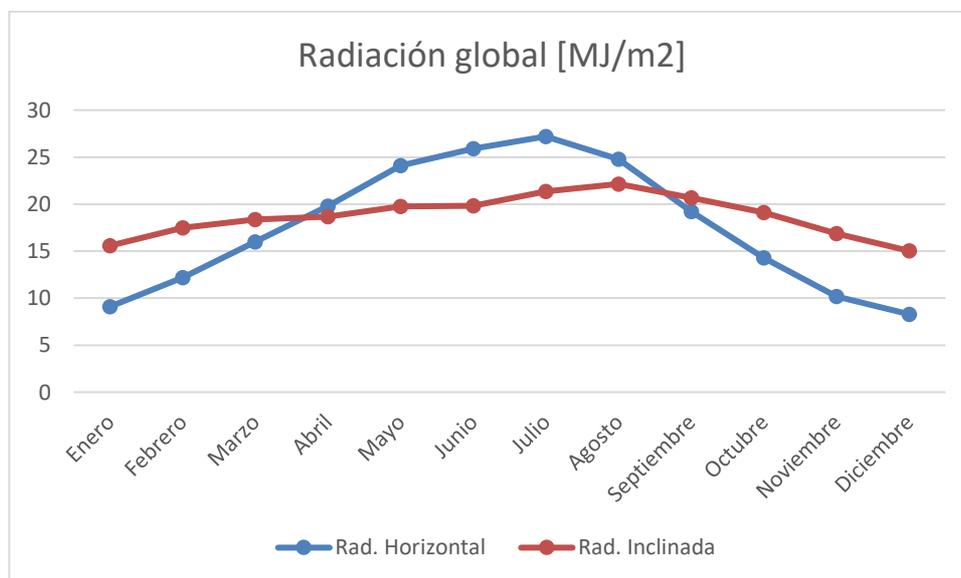
De esta manera, ya se podría obtener la irradiancia global sobre la superficie inclinada mediante la siguiente expresión:

$$H_T = R_D * H_D + \frac{1 + \cos \beta}{2} H_d$$

En la Tabla 6 se muestran un resumen de los resultados a de los cálculos de la irradiancia global expuestos antes. En la Figura 20 se puede apreciar una representación de la variación de la irradiación global sobre la superficie inclinada con respecto a la irradiancia sobre la superficie horizontal. En esta gráfica se observa como la irradiación inclina en mayor en los meses de invierno que la radiación horizontal, esto se debe a que durante el solsticio de invierno la inclinación del sol con respecto al plano terrestre es menor, lo cual nos permitirá tener un mayor beneficio y aumentar la producción en los meses más fríos.

Tabla 6. Radiación global sobre superficie inclinada.

| Mes | ω_s (°) | R_D | H_T [MJ/m ² día] |
|------------|----------------|-------|-------------------------------|
| Enero | 73,02 | 2,18 | 15,59 |
| Febrero | 79,88 | 1,73 | 17,49 |
| Marzo | 88,15 | 1,32 | 18,37 |
| Abril | 90,40 | 1,00 | 18,69 |
| Mayo | 90,81 | 0,80 | 19,75 |
| Junio | 91,02 | 0,72 | 19,84 |
| Julio | 90,92 | 0,76 | 21,35 |
| Agosto | 90,57 | 0,91 | 22,15 |
| Septiembre | 90,09 | 1,18 | 20,67 |
| Octubre | 82,57 | 1,59 | 19,12 |
| Noviembre | 74,82 | 2,05 | 16,89 |
| Diciembre | 71,03 | 2,34 | 15,04 |

Figura. 20. Radiación global sobre superficie horizontal vs inclinada [MJ/m²].

2.2.4 Datos de consumo

El cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria se hace a partir de los consumos unitarios de cada una de las habitaciones del hotel. El hotel cuenta con 73 habitaciones, con una ocupación total de 146 personas.

El cálculo de consumo se hará haciendo siguiendo lo descrito en el Anejo F del DB – HE de Ahorro de energía, donde para edificios de uso distinto a residencia privada se aceptan los valores recogidos en la Figura 21 del propio Anejo F como valor orientativo de demanda de ACS con una temperatura de referencia de 60°C:

| Criterio de demanda | Litros/día·persona |
|-------------------------------|--------------------|
| Hospitales y clínicas | 55 |
| Ambulatorio y centro de salud | 41 |
| Hotel ***** | 69 |
| Hotel **** | 55 |
| Hotel *** | 41 |
| Hotel/hostal ** | 34 |
| Camping | 21 |
| Hostal/pensión * | 28 |
| Residencia | 41 |
| Centro penitenciario | 28 |
| Albergue | 24 |
| Vestuarios/Duchas colectivas | 21 |
| Escuela sin ducha | 4 |
| Escuela con ducha | 21 |
| Cuarteles | 28 |
| Fábricas y talleres | 21 |
| Oficinas | 2 |
| Gimnasios | 21 |
| Restaurantes | 8 |
| Cafeterías | 1 |

Figura. 21. Demanda de referencia l/día por persona (Tref de 60°C)

Por lo tanto, al ser un hotel de 4 estrellas se tomará la referencia de 55 l/(día*persona) como valor promedio de consumo diario. De esta manera calculamos el consume de agua caliente diario:

$$M_{ac} = 55 \frac{l}{\text{día} \cdot \text{persona}} * 146 \text{ personas} = \mathbf{8030 \text{ l/día}}$$

2.3 Cálculo de la Demanda

La demanda de agua caliente sanitaria viene dada por la siguiente relación:

$$L_{ACS} = M_{ac} * \rho * C_p * (T_{ref} - T_{af}) * N$$

- L_{ACS} : Demanda ACS (MJ/mes)
- M_{ac} : Consumo de agua caliente (litros/día)
- ρ : Densidad del agua (kg/l)
- C_p : Calor específico del agua (J/kg·K)
- Temperatura de referencia (°C)
- T_{af} : Temperatura agua fría (°C)
- N : Número de días del mes (día/mes)

Tomando como T_{ref} 60°C y como constantes ρ con un valor de 1kg/l y C_p igual a 4190 J/kg K, se calculan los valores promedios de la demanda de agua caliente para cada mes considerando que la ocupación completa

durante todo el año, que puede observarse en la Tabla 7:

Tabla 7. Demanda de ACS mensual

| Mes | T_{af} [°C] | L_{ACS} [MJ/mes] |
|------------|---------------|--------------------|
| Enero | 11 | 51.107,82 |
| Febrero | 11 | 46.161,90 |
| Marzo | 13 | 49.021,78 |
| Abril | 14 | 46.431,07 |
| Mayo | 16 | 45.892,73 |
| Junio | 19 | 41.384,21 |
| Julio | 21 | 40.677,65 |
| Agosto | 21 | 40.677,65 |
| Septiembre | 20 | 40.374,84 |
| Octubre | 16 | 45.892,73 |
| Noviembre | 13 | 47.440,44 |
| Diciembre | 11 | 51.107,82 |

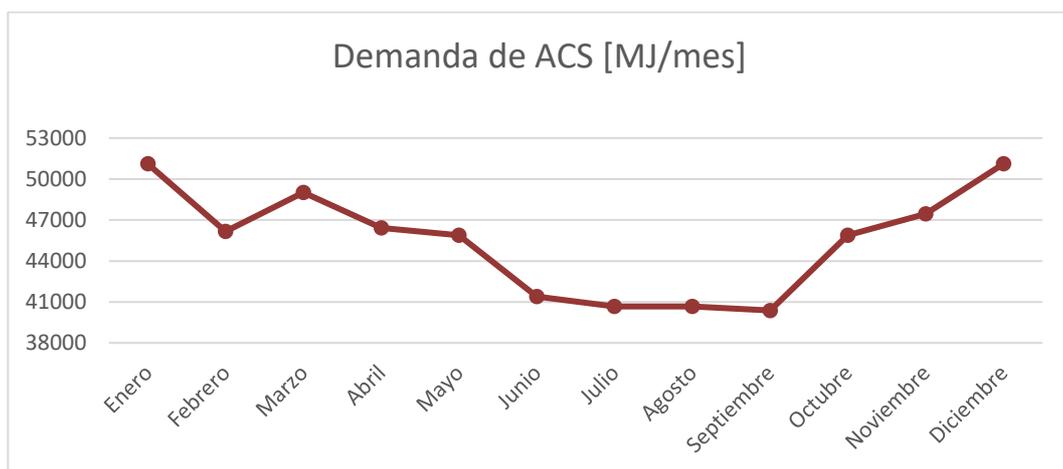


Figura. 22. Representación de la demanda de ACS mensual.

En la Figura 22. se puede ver la variación que sigue la demanda energética para cada mes del año, se observa que durante los meses de verano al ser las temperaturas más altas esta demanda disminuye.

2.4 Dimensionado básico

Para poder hacer el cálculo de la superficie de captación necesaria, el Código Técnico de la sección HE-4 (4.3 cuantificación de la exigencia) establece una contribución solar mínima, o fracción solar, que relaciona la energía

solar aportada por la instalación y la demanda energética. De manera que la energía procedente de fuentes renovables debe de cubrir al menos el 70% de la demanda energética anual para ACS.

Se realizarán varios tipos de simulaciones en el programa CHEQ4, la primera para determinar el número de captadores, la segunda para determinar el volumen del depósito V , y una última simulación para determinar el número de captadores que se colocarán en serie, asegurándonos que se cumplen las especificaciones del CTE.

2.4.1 Sistema de captación

El sistema de captación se dimensiona a partir de la energía que aportará a lo largo del día para satisfacer la demanda diaria de 8030 l/día. Por ello, para realizar las simulaciones en la herramienta CHEQ4 se fijará el volumen de acumulación necesario de 8500 litros. Se utilizará un captador de la marca Greenheiss modelo GH-CAPTUR 20V el cual viene incluido en la base de datos del CHEQ4 y cuyas características se detallan en la Memoria Descriptiva.

Se empezará realizando simulaciones fijando un número de 30 captadores y variando de 5 en 5 hasta que se llegue a cumplir el 70% de fracción solar que especifica el CTE. Se estima que las pérdidas por sombras en la instalación son del 1%, ya que no cuenta con edificios cercanos son de alturas similares y no llegaran a producir sombras. Para el circuito primario y secundario se elige una longitud de 100 m y 35 mm de espesor siguiendo las indicaciones del RITE. Como sistema de apoyo auxiliar se selecciona un sistema de caldera convencional con gas natural. En cuanto al circuito de distribución, se toma una longitud de 200 m con tuberías de 40 mm de diámetro y 30 mm de espesor. En la Figura 23 se muestran estos parámetros para el primer caso de simulación de 30 captadores:

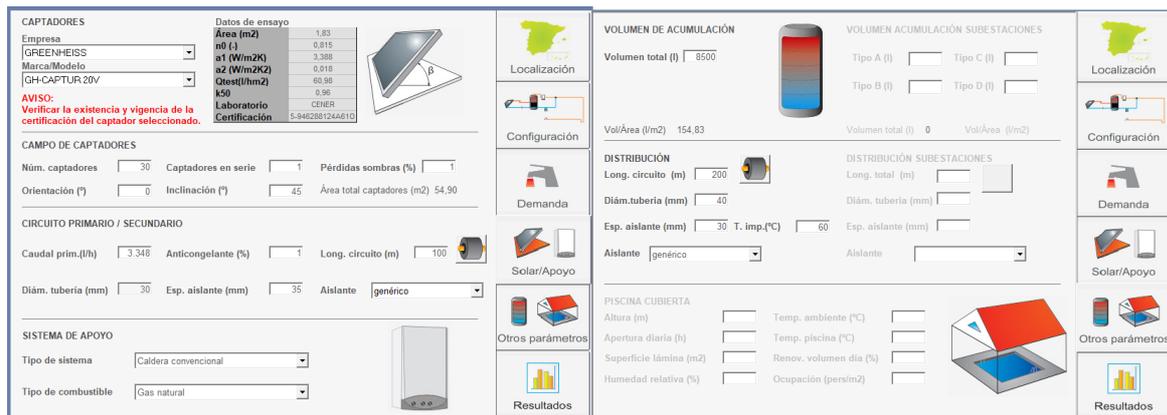


Figura. 23. Parámetros para simulación de 30 captadores.

Tabla 8. Simulación 1 variando el número de captadores

| Número de captadores, N_{cap} | Área de captación | $\frac{V}{A}$ | Contribución solar [%] |
|------------------------------------|-------------------|---------------|------------------------|
| 30 | 54,9 | 154,83 | 47 |
| 35 | 64,05 | 132,71 | 53 |
| 40 | 73,2 | 116,12 | 58 |
| 45 | 82,35 | 103,22 | 63 |
| 50 | 91,5 | 92,90 | 68 |
| 55 | 100,65 | 84,45 | 72 |

En la Tabla 8 se muestran los resultados de las simulaciones llevadas a cabo con los datos anteriores, se ve como alcanza la contribución deseada entre 50 y 55 captadores. Por esta razón se realiza de nuevo una segunda simulación variando uno a uno el número de captadores y manteniendo todavía los mismos valores en los parámetros mencionados anteriormente. Los resultados de esta segunda simulación se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Simulación 2 variando el número de captadores

| Número de captadores, N_{cap} | Área de captación [m ²] | $\frac{V}{A}$ | Contribución solar [%] |
|------------------------------------|--|---------------|------------------------|
| 50 | 91,5 | 92,90 | 68 |
| 51 | 93,33 | 91,07 | 69 |
| 52 | 95,16 | 89,32 | 70 |
| 53 | 96,99 | 87,64 | 70 |
| 54 | 98,82 | 86,01 | 71 |
| 55 | 100,65 | 84,45 | 72 |

Como resultado, se llega a la conclusión que con un número de captadores de 52, se cumple la contribución solar mínima, ocupando un área de captación total de 95,16 m².

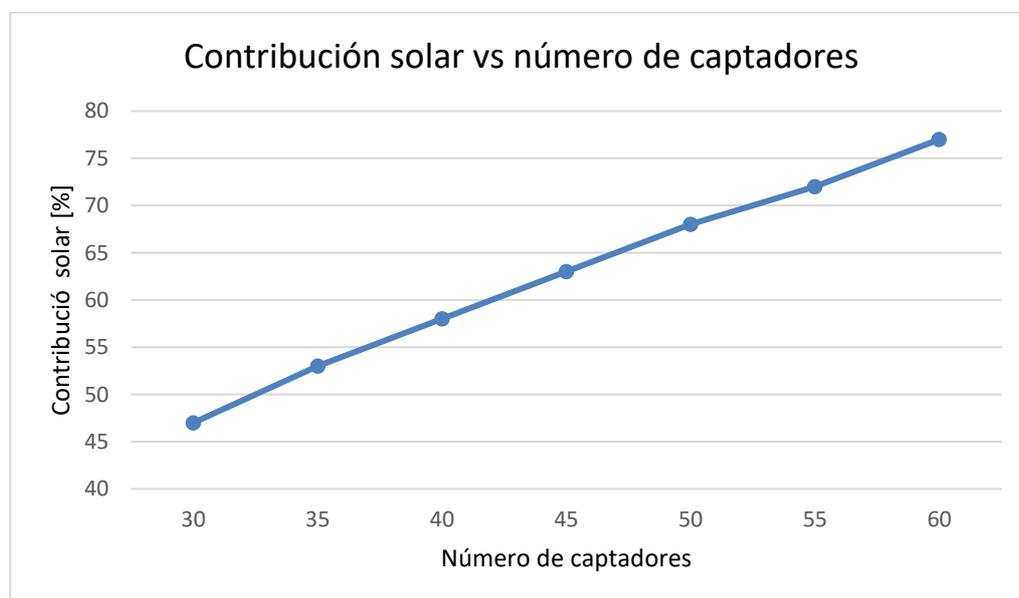


Figura. 24. Contribución solar vs número de captadores.

2.4.2 Volumen de acumulación

Una vez calculado el número mínimo de captadores necesario, hacemos simulaciones para optimizar el volumen del depósito:

Tabla 10. Simulación variando volumen de acumulación

| Volumen del depósito | Área de captación [m ²] | $\frac{V}{A}$ | Contribución solar [%] |
|----------------------|-------------------------------------|---------------|------------------------|
| 5000 | 95,16 | 52,54 | 64 |
| 6000 | 95,16 | 63,05 | 65 |
| 7000 | 95,16 | 73,56 | 67 |
| 8000 | 95,16 | 84,07 | 69 |
| 8500 | 95,16 | 89,32 | 70 |
| 9000 | 95,16 | 94,58 | 70 |
| 9500 | 95,16 | 99,83 | 71 |
| 10000 | 95,16 | 105,09 | 72 |

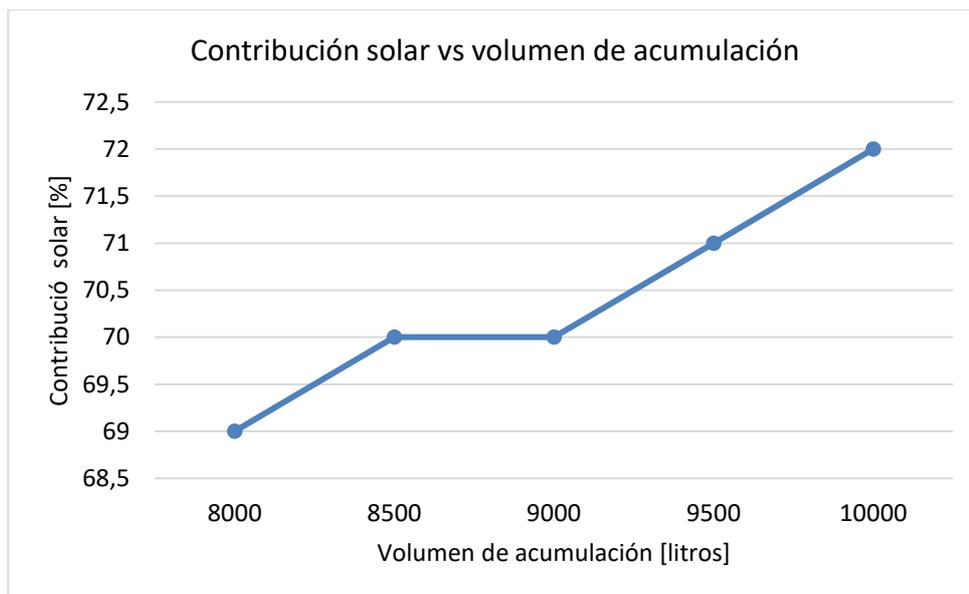


Figura. 25. Contribución solar vs volumen de captación

Dado que no existen acumuladores de 8.500 litros, se opta por elegir un depósito con la siguiente una capacidad superior encontrada en el mercado, en este caso de 10.000 litros.

2.4.3 Número de captadores en serie

Nos queda realizar la última simulación, variando el número de captadores en series y dejando los valores fijos calculados en las anteriores simulaciones, $N_{cap} = 52$ y $V_{acumulación} = 10000$ litros.

De esta manera, la única opción que permite cumplir con las especificaciones de contribución mínima del CTE es poner $N_s = 1$, agrupando todos los captadores en paralelo. Se muestran los resultados en la siguiente tabla y figura:

Tabla 11. Simulación variando el número de captadores en serie

| | Contribución solar [%] |
|---|------------------------|
| 1 | 72 |
| 2 | 66 |
| 3 | 41 |

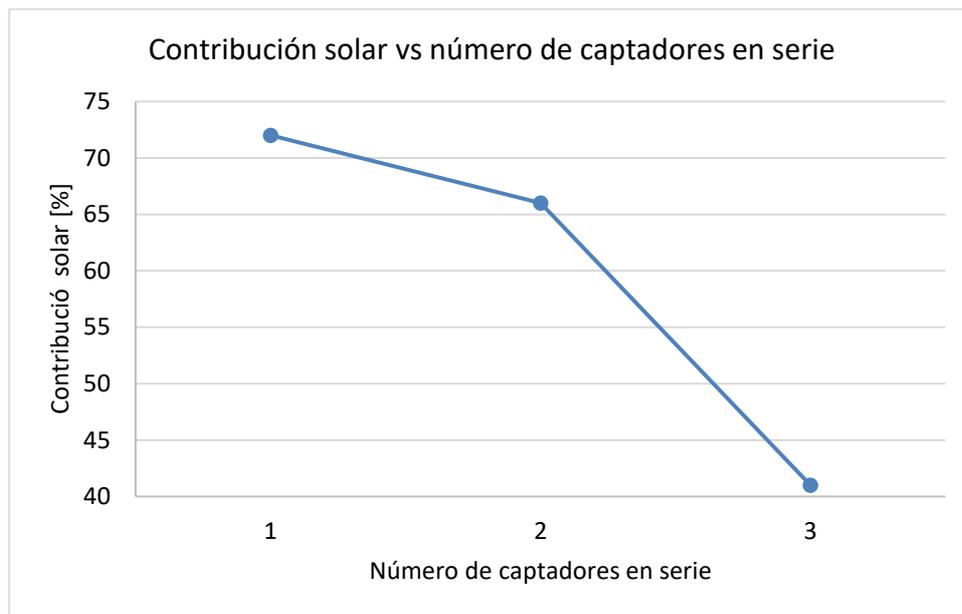


Figura. 26. Contribución solar vs número de captadores en serie.

En la Tabla 12 se puede ver un resumen del dimensionado básico del sistema de la instalación:

Tabla 12. Dimensionado básico.

| N_{cap} | $A [m^2]$ | $V [litros]$ | N_s | Contribución solar [%] |
|-----------|-----------|--------------|-------|------------------------|
| 52 | 95,16 | 10000 | 1 | 72 |

2.5 Disposición de captadores

Respecto a la orientación de los captadores, el CTE-HE4 especifica en el apartado 2.2.3 que la orientación más óptima es en la sur. Dado que la disposición del propio edificio lo facilita, los captadores estarán dispuestos con orientación sur.

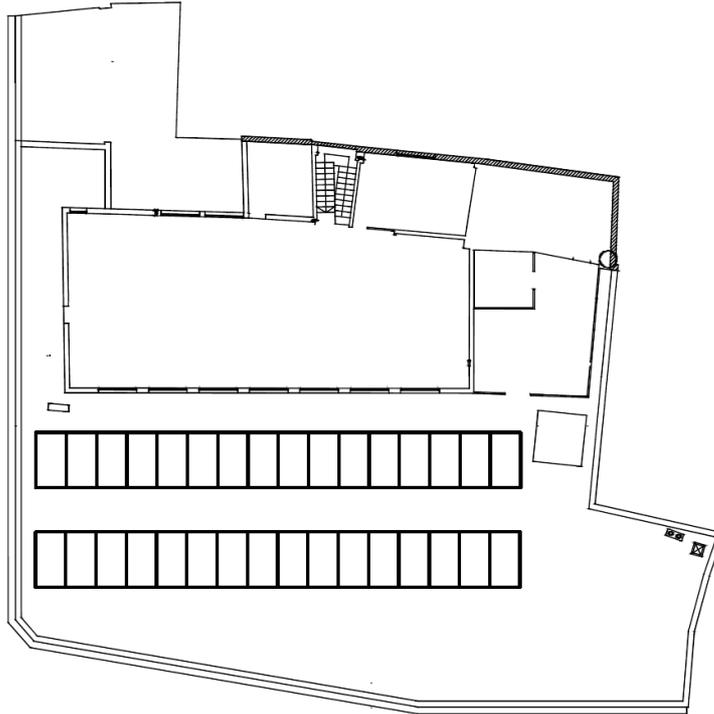


Figura. 27. Orientación de los captadores

Respecto a la inclinación en el mismo apartado del CTE-HE4, se detalla, según el periodo de utilización, los siguientes valores:

- Demanda constante anual: la latitud geográfica.
- Demanda preferente en invierno: la latitud geográfica + 10 °.
- Demanda preferente en verano: la latitud geográfica – 10 °.

Con esto, para favorecer más la producción en invierno y evitar el sobredimensionamiento en verano, se opta por una inclinación de 45°.

2.5.1 Pérdidas por orientación e inclinación

En el Pliego de Condiciones de IDAE se establecen unos porcentajes de pérdidas mínimos que se observa en la Figura 28:

| Caso | Orientación e inclinación | Sombras | Total |
|--|---------------------------|---------|-------|
| General | 10 % | 10 % | 15 % |
| Superposición de captadores | 20 % | 15 % | 30 % |
| Integración arquitectónica de captadores | 40 % | 20 % | 50 % |

Figura. 28. Pérdidas límite en cuanto a orientación e inclinación.

Las pérdidas se calcularán en dos parámetros, el ángulo de la inclinación del captador con respecto al suelo, que en nuestro caso es $\beta = 45^\circ$; y el ángulo de azimut que al estar los captadores orientados al Sur tiene un valor de $\alpha = 0^\circ$.

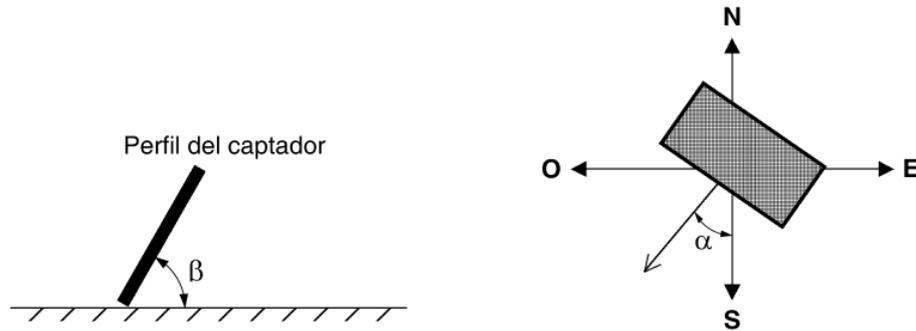


Figura. 29. Ángulo de inclinación y de azimut.

Primero tenemos que corregir los límites de inclinación en función de la latitud del lugar, 37.38°. En la Figura 30 definimos los puntos de intersección límites de pérdidas del 10%,

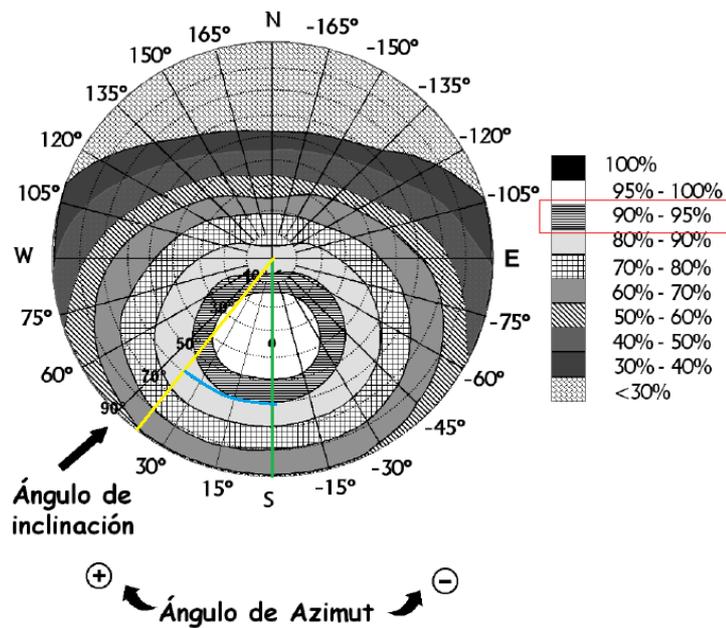


Figura. 30. Pérdidas por orientación e inclinación.

$$\beta_{max}^i = 60^\circ$$

$$\beta_{min}^i = 7^\circ$$

Estos límites corresponden para una latitud de referencia de 41°, por ello, corregimos los valores para la latitud que corresponde a nuestro caso:

$$\beta_{max} = 60^\circ - (41^\circ - \text{latitud}) = 56,38^\circ$$

$$\beta_{min} = 7^\circ - (41^\circ - \text{latitud}) = 3,38^\circ$$

Por tanto, la inclinación elegida para nuestra instalación, 45° está dentro de los límites establecidos.

$$Pérdidas = 100 * \left[1,2 * 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 * 10^{-5} \alpha^2 \right] = 0,69 \%$$

De esta manera comprobamos que nuestro sistema sí está dentro de los límites requeridos por el IDAE.

2.5.2 Distancia entre captadores

Una vez calculado el número necesario de captadores que se van a colocar en la cubierta así como la orientación e inclinación que van a llevar, necesitamos ubicarlos sobre el plano de la cubierta. Para ello calculamos la distancia mínima que tiene que existir entre las filas de captadores ya que puede provocarse sombras entre sí y por lo tanto pérdidas.

Esta distancia d , sobre la horizontal, se calcula mediante la siguiente expresión que se detalla en el IDEA. Esta distancia va en función de la latitud del lugar ya que ella varía el ángulo de incidencia del sol. De manera que se garantiza que existirá un mínimo de 4 horas de sol alrededor del mediodía durante el solsticio de invierno.

$$d = h \cdot \frac{1}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$

Donde,

- h , es la altura del obstáculo.

En el caso de los paneles se calcula mediante la siguiente expresión en función de la longitud del panel $L = 2,058$, y del ángulo de inclinación que tenga este $\beta = 45^\circ$.

$$h = L * \sin \beta = 1,46 \text{ m}$$

En cuanto al muro que rodea el edificio, cuenta con una altura de 1,1 m.

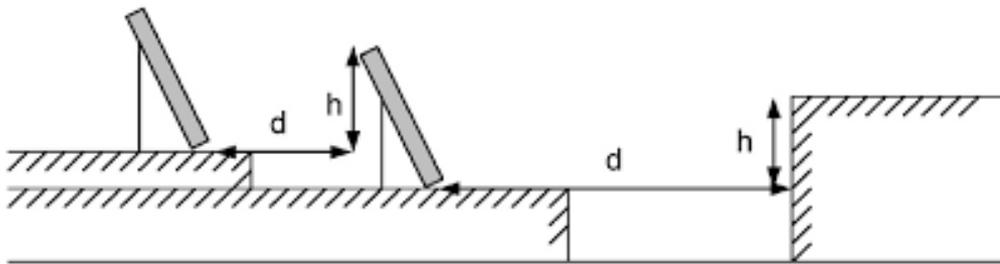


Figura. 31. Distancia entre filas de captadores y distancia al muro.

Con esto obtenemos que las filas de captadores deben estar separadas al menos una distancia de 3,33 m entre sí, y que las baterías de captadores separadas del muro un mínimo de 2,52 metros

2.6 Dimensionado de componentes de la instalación

2.6.1 Intercambiador

Es necesario dimensionar la potencia transferida entre los fluidos de los circuitos primario y secundario. El Pliego de Condiciones del IDAE impone que la relación entre la superficie útil del intercambiador y el área total del campo de captación no debe ser menor que 0.15, para casos donde el intercambiador este situado dentro del acumulador:

$$\frac{\text{Superficie de intercambio}}{\text{Area total de captación}} \geq 0.15$$

El interacumulador elegido es de la marca Suicalsa y modelo ASSC500PW08RFP con capacidad de 5.000 litros, que tiene un intercambiador de tipo doble serpentin en su interior. Se pondrán dos equipos que cuentan con una superficie de intercambio de 12,68 m² cada uno, por lo tanto, la relación quedaría:

$$\frac{\text{Superficie de intercambio}}{\text{Area total de captación}} = \frac{25,36}{95,16} = 0,266$$

El fluido caloportador elegido será anticongelante a base de propilenglicol con baja toxicidad y soporta temperaturas mínimas de hasta -30 °C. Este fluido cumple con las exigencias del IDAE, tiene un calor específico superior a 3 kJ/(kgK). Este fluido será el que cederá la energía al agua que esté contenida dentro del acumulador.

2.6.2 Red de tuberías

Para dimensionar la red de tuberías es necesario saber la pérdida de carga que tendrá lugar en cada una de las partes del circuito.

2.6.2.1 Caudal del circuito primario

El caudal del circuito primario se calcula a partir del caudal volumétrico específico de ensayo del captador que viene detallado en la ficha técnica de este, 45 l/h·m². Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{primario}} = \frac{Q_{\text{ens}} \times A_{\text{TOT}}}{N_s} = 4282,2 \text{ l/h}$$

2.6.2.2 Cálculo de red de tuberías

Para el dimensionado de la red de tuberías se seguirá lo indicado en el pliego de condiciones de la IDAE de forma que el diámetro de las tuberías vendrá dado por la velocidad de circulación del fluido y esta no debe ser superior a 3 m/s al ser un trazado exterior y de 2 m/s en caso de tuberías interiores.

También se garantizará que la pérdida de carga unitaria por tubería no sea superior a 40 mm m.c.a por metro de línea. Y al ser el fluido una mezcla de agua y anticongelante se deberá de aplicar un factor de corrección de 1,3.

Para calcular la velocidad de la tubería se usará la fórmula de Flamant para tuberías de cobre:

$$v = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{4 \times \dot{Q}}{\pi \times D^2}$$

Donde,

- v : Velocidad del fluido por la tubería. (m/s)
- \dot{Q} : Caudal del fluido por la tubería. (m³/s)
- D : Diámetro de la tubería. (m²)

De igual modo con la ecuación de Flamant se puede calcular también la pérdida de carga por metro lineal mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{\text{unit}} = 1,3 * 378 * \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Para aplicar estas dos expresiones, primero dividimos el circuito primario en distintos tramos de tuberías como se muestra en la Figura 32:

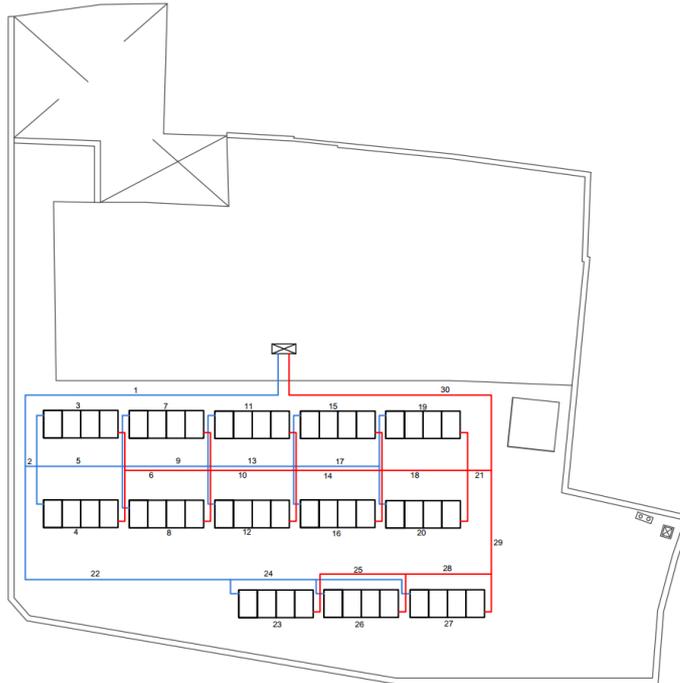


Figura. 32. Distribución de tramos de tuberías.

Como se ha mencionado antes el campo solar estará dividido en diferentes filas de captadores en paralelo, de esta manera existirán diferentes caudales para cada tramo. En las Tablas 13 y 14 se muestran el resultado del cálculo iterativo con los diámetros nominales, obteniéndose así un diámetro para cada uno de los tramos definidos en la Figura 32.

Tabla 13. Velocidad del fluido en función del diámetro y caudal.

| | | Velocidad del fluido [m/s] | | | | | | | |
|--------------|---------------|----------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| | | 0,5 | 0,75 | 1 | 1,25 | 1,5 | 2 | | |
| D [pulgadas] | | 15 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | | |
| DN [mm] | | 15 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | | |
| Caudal [l/h] | Caudal [m3/s] | 4282,2 | 0,001190 | 6,73 | 3,79 | 2,42 | 1,48 | 0,95 | 0,61 |
| | | 3294,0 | 0,000915 | 5,18 | 2,91 | 1,86 | 1,14 | 0,73 | 0,47 |
| | | 2635,2 | 0,000732 | 4,14 | 2,33 | 1,49 | 0,91 | 0,58 | 0,37 |
| | | 1976,4 | 0,000549 | 3,11 | 1,75 | 1,12 | 0,68 | 0,44 | 0,28 |
| | | 1317,6 | 0,000366 | 2,07 | 1,17 | 0,75 | 0,46 | 0,29 | 0,19 |
| | | 988,2 | 0,000275 | 1,55 | 0,87 | 0,56 | 0,34 | 0,22 | 0,14 |
| | | 658,8 | 0,000183 | 1,04 | 0,58 | 0,37 | 0,23 | 0,15 | 0,09 |
| | | 329,4 | 0,000092 | 0,52 | 0,29 | 0,19 | 0,11 | 0,07 | 0,05 |

Tabla 14. Pérdida de presión en función del diámetro y caudal.

| | | | Pérdida de carga [mm.c.a/m] | | | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| D [pulgadas] | | | 0,5 | 0,75 | 1 | 1,25 | 1,5 | 2 |
| DN [mm] | | | 15 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 |
| Caudal [l/h] | 4282,2 | 0,0011895 | 2886,81 | 736,14 | 255,06 | 78,96 | 27,36 | 9,48 |
| | 3294 | 0,000915 | 1823,97 | 465,11 | 161,15 | 49,89 | 17,28 | 5,99 |
| | 2635,2 | 0,000732 | 1234,31 | 314,75 | 109,05 | 33,76 | 11,70 | 4,05 |
| | 1976,4 | 0,000549 | 746,08 | 190,25 | 65,92 | 20,41 | 7,07 | 2,45 |
| | 1317,6 | 0,000366 | 366,96 | 93,58 | 32,42 | 10,04 | 3,48 | 1,20 |
| | 988,2 | 0,0002745 | 221,81 | 56,56 | 19,60 | 6,07 | 2,10 | 0,73 |
| | 658,8 | 0,000183 | 109,10 | 27,82 | 9,64 | 2,98 | 1,03 | 0,36 |
| | 329,4 | 0,0000915 | 32,44 | 8,27 | 2,8657 | 0,8871 | 0,3074 | 0,1065 |

Con estos resultados que se muestran en la Tabla 15, se define un diámetro para cada uno de los tramos del circuito primario, y se calcula la pérdida de carga total. Se comprueba que en ninguno de los casos se supera las indicaciones que se detallan en el pliego de condiciones del IDAE.

Para calcular la pérdida de carga de la red de tuberías se seguirá el método de la longitud equivalente, de manera que se le asignará una longitud equivalente a la de una tubería recta cada uno de los accesorios que lleven las tuberías, de manera que generen la misma pérdida de carga. En la Figura 33 se detallan las longitudes equivalentes para cada tipo de accesorio en función del diámetro del tramo de tubería:

| Diámetro nominal (") | Codo 90º | Curva 90º | Curva 45º | Codo doble 180º | Curva doble 180º | T en ramas alineadas | T en rama derivada | Válvula esférica | Válvula de compuerta | Válvula en ángulo | Válvula de retención |
|----------------------|----------|-----------|-----------|-----------------|------------------|----------------------|--------------------|------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| 1/4 | 0,07 | 0,07 | 0,04 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,17 | 2,13 | | 0,68 | 0,33 |
| 3/8 | 0,12 | 0,12 | 0,06 | 0,12 | 0,12 | 0,08 | 0,28 | 3,53 | | 1,12 | 0,55 |
| 1/2 | 0,17 | 0,16 | 0,09 | 0,17 | 0,17 | 0,11 | 0,40 | 5,01 | 0,17 | 1,59 | 0,80 |
| 3/4 | 0,29 | 0,26 | 0,15 | 0,29 | 0,27 | 0,17 | 0,66 | 8,05 | 0,27 | 2,56 | 1,34 |
| 1 | 0,40 | 0,36 | 0,21 | 0,40 | 0,37 | 0,24 | 0,92 | 11,11 | 0,37 | 3,52 | 1,93 |
| 1-1/4 | 0,52 | 0,46 | 0,27 | 0,52 | 0,47 | 0,31 | 1,19 | 14,09 | 0,46 | 4,47 | 2,55 |
| 1-1/2 | 0,64 | 0,56 | 0,33 | 0,64 | 0,57 | 0,37 | 1,45 | 16,96 | 0,55 | 5,38 | 3,20 |
| 2 | 0,87 | 0,74 | 0,46 | 0,87 | 0,74 | 0,49 | 1,98 | 22,27 | 0,70 | 7,06 | 4,57 |
| 2-1/2 | 1,10 | 0,89 | 0,59 | 1,10 | 0,90 | 0,59 | 2,48 | 26,95 | 0,83 | 8,56 | 6,01 |
| 3 | 1,32 | 1,03 | 0,72 | 1,32 | 1,03 | 0,68 | 2,96 | 31,01 | 0,91 | 9,86 | 7,52 |
| 3-1/2 | 1,53 | 1,14 | 0,85 | 1,53 | 1,14 | 0,76 | 3,40 | 34,48 | 0,97 | 10,99 | 9,07 |
| 4 | 1,73 | 1,24 | 0,97 | 1,73 | 1,22 | 0,83 | 3,83 | 37,46 | 1,00 | 11,99 | 10,68 |
| 5 | 2,10 | 1,38 | 1,22 | 2,10 | 1,35 | 0,92 | 4,60 | 42,32 | 0,98 | 13,71 | 14,00 |

Figura. 33. Longitudes equivalentes de accesorios.

La longitud equivalente viene determinada en función del diámetro de la tubería y el tipo de accesorio. Esta longitud se le sumará a la longitud del tramo obteniendo así una longitud total para cada uno de los tramos. Finalmente se multiplicará la longitud de cada tramo por la pérdida de carga unitaria calculada en la Tabla 15, no hay que olvidar añadir la pérdida de carga de los captadores a los tramos que los contengan. Los resultados se muestran en la Tabla 16.

Tabla 15. Dimensionado de tuberías.

| | Diámetro | | Q | Longitud | Velocidad | ΔP | |
|----------|------------|------|--------|----------|-----------|------------|--------|
| | [pulgadas] | [mm] | | | | [l/h] | [m] |
| Tramo 1 | 1+1/2 | 40 | 4282,2 | 18,98 | 0,95 | 27,36 | 519,23 |
| Tramo 2 | 1+1/2 | 40 | 3294 | 0,60 | 0,73 | 17,28 | 10,37 |
| Tramo 3 | 1/2 | 15 | 329,4 | 9,34 | 0,52 | 33,76 | 315,31 |
| Tramo 4 | 1/2 | 15 | 329,4 | 9,34 | 0,52 | 32,44 | 302,95 |
| Tramo 5 | 1+1/4 | 32 | 2635,2 | 4,51 | 0,91 | 33,76 | 152,26 |
| Tramo 6 | 3/4 | 20 | 658,8 | 4,51 | 0,58 | 27,82 | 125,47 |
| Tramo 7 | 1/2 | 15 | 329,4 | 9,34 | 0,52 | 32,44 | 302,95 |
| Tramo 8 | 1/2 | 15 | 329,4 | 9,34 | 0,52 | 32,44 | 302,95 |
| Tramo 9 | 1+1/4 | 32 | 1976,4 | 4,51 | 0,68 | 20,41 | 92,03 |
| Tramo 10 | 1 | 25 | 1317,6 | 4,51 | 0,75 | 32,42 | 146,22 |
| Tramo 11 | 1/2 | 15 | 329,4 | 9,34 | 0,52 | 32,44 | 302,95 |
| Tramo 12 | 1/2 | 15 | 329,4 | 9,34 | 0,52 | 32,44 | 302,95 |
| Tramo 13 | 1 | 25 | 1317,6 | 4,51 | 0,75 | 32,42 | 146,22 |
| Tramo 14 | 1+1/4 | 32 | 1976,4 | 4,51 | 0,68 | 20,41 | 92,03 |
| Tramo 15 | 1/2 | 15 | 329,4 | 9,34 | 0,52 | 32,44 | 302,95 |
| Tramo 16 | 1/2 | 15 | 329,4 | 9,34 | 0,52 | 32,44 | 302,95 |
| Tramo 17 | 3/4 | 20 | 658,8 | 4,51 | 0,58 | 27,82 | 125,47 |
| Tramo 18 | 1+1/4 | 32 | 2635,2 | 4,51 | 0,91 | 33,76 | 152,26 |
| Tramo 19 | 1/2 | 15 | 329,4 | 9,34 | 0,52 | 32,44 | 302,95 |
| Tramo 20 | 1/2 | 15 | 329,4 | 9,34 | 0,52 | 32,44 | 302,95 |
| Tramo 21 | 1+1/2 | 40 | 3294 | 1,25 | 0,73 | 17,28 | 21,61 |
| Tramo 22 | 1 | 25 | 988,2 | 16,80 | 0,56 | 19,60 | 329,24 |
| Tramo 23 | 1/2 | 15 | 329,4 | 11,97 | 0,52 | 32,44 | 388,25 |
| Tramo 24 | 3/4 | 20 | 658,8 | 4,51 | 0,58 | 27,82 | 125,47 |
| Tramo 25 | 1/2 | 15 | 329,4 | 7,46 | 0,52 | 32,44 | 241,97 |
| Tramo 26 | 3/4 | 20 | 658,8 | 4,51 | 0,58 | 27,82 | 125,47 |
| Tramo 27 | 1/2 | 15 | 329,4 | 11,97 | 0,52 | 32,44 | 388,25 |
| Tramo 28 | 1 | 25 | 988,2 | 5,50 | 0,56 | 19,60 | 107,79 |
| Tramo 29 | 1+1/2 | 40 | 4282,2 | 18,98 | 0,95 | 27,36 | 400,78 |

Tabla 16. Pérdida de carga por tramo de tubería.

| | Accesorios | L_{Total} [m] | ΔP [mm.c.a] | ΔP [Pa] |
|----------|------------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Tramo 1 | 1 T derivada, 1 vál. retorno | 24,91 | 681,46 | 6678,32 |
| Tramo 2 | 1 T alineada | 0,97 | 16,77 | 164,31 |
| Tramo 3 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 10,82 | 365,28 | 3579,73 |
| Tramo 4 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 10,82 | 350,95 | 3439,31 |
| Tramo 5 | 1 T alineada | 4,82 | 162,72 | 1594,67 |
| Tramo 6 | 1 T alineada | 4,68 | 130,19 | 1275,95 |
| Tramo 7 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 10,82 | 350,95 | 3439,31 |
| Tramo 8 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 10,82 | 350,95 | 3439,31 |
| Tramo 9 | 1 T alineada | 4,82 | 98,36 | 963,89 |
| Tramo 10 | 1 T alineada | 4,75 | 154,01 | 1509,25 |
| Tramo 11 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 10,82 | 350,95 | 3439,31 |
| Tramo 12 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 10,82 | 350,95 | 3439,31 |
| Tramo 13 | 1 T alineada | 4,75 | 154,01 | 1509,25 |
| Tramo 14 | 1 T alineada | 4,82 | 98,36 | 963,89 |
| Tramo 15 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 10,82 | 350,95 | 3439,31 |
| Tramo 16 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 10,82 | 350,95 | 3439,31 |
| Tramo 17 | 1 T alineada | 4,68 | 130,19 | 1275,95 |
| Tramo 18 | 1 T alineada | 4,82 | 162,72 | 1594,67 |
| Tramo 19 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 10,82 | 350,95 | 3439,31 |
| Tramo 20 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 10,82 | 350,95 | 3439,31 |
| Tramo 21 | 1 T alineada | 1,62 | 28,00 | 274,41 |
| Tramo 22 | 1 T alineada | 18,36 | 359,81 | 3526,12 |
| Tramo 23 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 13,62 | 441,77 | 4329,33 |
| Tramo 24 | 1 T alineada | 4,68 | 130,19 | 1275,95 |
| Tramo 25 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 8,94 | 289,97 | 2841,72 |
| Tramo 26 | 1 T alineada | 4,68 | 130,19 | 1275,95 |
| Tramo 27 | 2 T derivada, 2 vál. corte | 13,62 | 441,77 | 4329,33 |
| Tramo 28 | 2 T derivada | 7,34 | 143,85 | 1409,68 |
| Tramo 29 | 1 T derivada | 17,38 | 475,46 | 4659,54 |

Con la pérdida de carga de cada tramo, podemos ver cuál es la pérdida de carga máxima que tiene lugar en el circuito. El camino más desfavorable es el que va por los tramos 1-22-23-26-28-29, con una pérdida de carga de 21,88 kPa, es este calor el que utilizaremos para dimensionar la bomba de circulación.

En la Tabla 17 podemos ver los diferentes caminos posibles que puede presentar la instalación y sus pérdidas de carga asociadas:

Tabla 17. Pérdida de carga en los diferentes caminos de la instalación.

| Circuito | ΔP [mm.c.a] | ΔP [kPa] |
|------------------------|---------------------|------------------|
| 1-2-3-6-10-14-18-21-29 | 2112,25 | 20,70 |
| 1-2-5-7-10-14-18-21-29 | 2130,45 | 20,88 |
| 1-2-5-9-11-14-18-21-29 | 2074,80 | 20,33 |
| 1-2-5-9-13-15-18-21-29 | 2130,45 | 20,88 |
| 1-2-5-9-13-17-19-21-29 | 2097,92 | 20,56 |
| 1-22-23-26-28-29 | 2232,55 | 21,88 |
| 1-22-24-25-26-28-29 | 2210,95 | 21,67 |
| 1-22-24-27-28-29 | 2232,55 | 21,88 |

2.6.3 Bomba de Circulación

En caso de instalaciones superiores a 50 m² de superficie de captación, como es nuestro caso con 95,16 m², es necesario montar dos bombas en paralelo, dejando una de reserva, para el circuito primario como para el secundario.

Para dimensionar la bomba de circulación es necesario calcular la pérdida de carga total de la instalación. Esta pérdida de carga se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta P = \Delta P_{tuberías} + \Delta P_{equipos}$$

2.6.3.1 Pérdida de carga en los captadores

De la ficha técnica de Greenheiss podemos sacar la curva de pérdida de carga obtenida por ensayos hechos por el fabricante que se muestra en la Figura 34.

Tomando como referencia el caudal de ensayo del tecnólogo, que es de 45 l/h·m². Y situándonos en la gráfica, como marca la línea roja sobre la línea azul que es la del modelo que usamos en la instalación, que nos da el fabricante en la Figura 34 vemos que la pérdida de carga de cada captador resulta ser de:

$$\Delta P_{capt} = 0,005 \text{ m. c. a} = 49 \text{ Pa}$$

Dado que en cada batería se encuentran los captadores conectados en paralelo, se obtiene que la pérdida de carga para cada batería será la misma que de un solo captador.

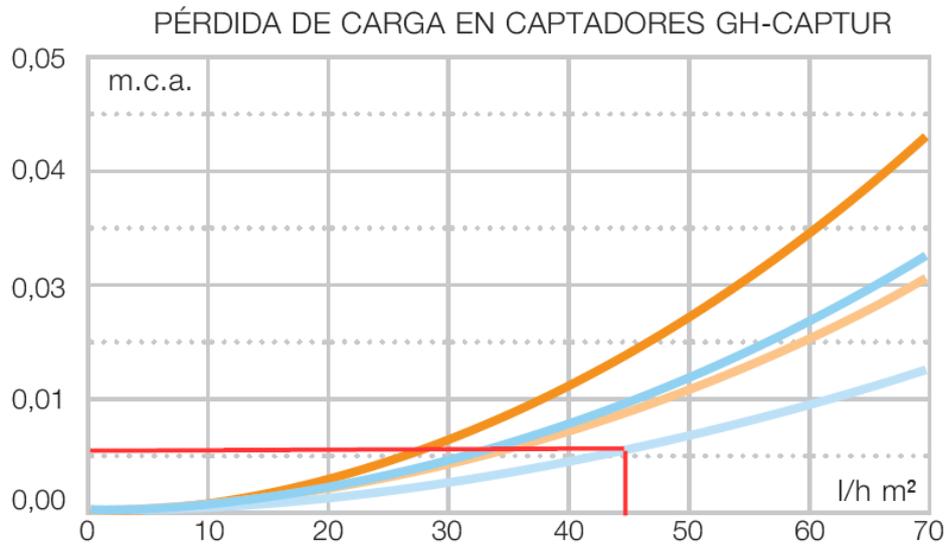


Figura. 34. Curva de pérdida de carga de los captadores.

2.6.3.2 Pérdida de carga en los interacumuladores

La pérdida de carga en los interacumuladores viene indicado en la ficha técnica de manera que se tienen una pérdida de carga de 3,85 m.c.a.

| Volumen (litros) | Peso (kg) | Superficie serpent. (m²) | | | CALDERA | | | | SOLAR | | | |
|------------------|-----------|--------------------------|----------|-------|---------------|--------------------------|----------------------------|----------|---------------|--------------------------|----------------------------|----------|
| | | Inferior | Superior | Total | Potencia (kW) | Producción (litros/hora) | Caudal serp. (litros/hora) | ΔP (mca) | Potencia (kW) | Producción (litros/hora) | Caudal serp. (litros/hora) | ΔP (mca) |
| 200 | 55 | 0,76 | — | 0,76 | 15 | 430 | 516 | 0,15 | 7 | 201 | 401 | 0,10 |
| 300 | 68 | 0,76 | — | 0,76 | 15 | 430 | 516 | 0,15 | 7 | 201 | 401 | 0,10 |
| 500 | 94 | 1,53 | — | 1,53 | 22 | 631 | 757 | 0,55 | 11 | 315 | 631 | 0,35 |
| 740 | 130 | 2,27 | — | 2,27 | 31 | 889 | 1066 | 1,50 | 15 | 430 | 860 | 1,00 |
| 1000 | 170 | 3,17 | — | 3,17 | 44 | 1261 | 1514 | 4,15 | 22 | 631 | 1261 | 3,00 |
| 1500 | 233 | 4,54 | — | 4,54 | 64 | 1835 | 2202 | 2,10 | 32 | 917 | 1835 | 1,45 |
| 2050 | 281 | 5,26 | — | 5,26 | 74 | 2121 | 2546 | 3,25 | 37 | 1061 | 2121 | 2,30 |
| 2500 | 332 | 6,34 | — | 6,34 | 89 | 2542 | 3050 | 5,30 | 44 | 1261 | 2523 | 3,85 |
| 3000 | 384 | 5,26 | 3,17 | 8,43 | 118 | 3382 | 4060 | 4,20 | 59 | 1692 | 3382 | 3,00 |
| 4000 | 574 | 5,26 | 5,26 | 10,52 | 148 | 4242 | 5092 | 3,25 | 74 | 2122 | 4242 | 2,30 |
| 5000 | 719 | 6,34 | 6,34 | 12,68 | 178 | 5084 | 6100 | 5,30 | 88 | 2522 | 5046 | 3,85 |

Figura. 35. Ficha técnica del acumulador resaltando la pérdida de carga en cada uno de los serpentines.

Como se dispondrán de dos interacumuladores del mismo modelo asociados en paralelo la pérdida de carga total de este equipo queda de la siguiente forma:

$$\Delta P_{interacumuladores} = 3,85 \text{ m. c. a} = 37,73 \text{ kPa}$$

2.6.3.3 Pérdida de carga total

Ahora podemos obtener la pérdida de carga total de la instalación, como la suma de las pérdidas de carga de todos los elementos de la instalación:

$$\Delta P_{tuberias} = 21,88 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{captadores} = 0,049 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{intercambiador} = 37,73 \text{ kPa}$$

$$\Delta P = \Delta P_{tuberías} + \Delta P_{captadores} + \Delta P_{intercambiador} = 6,09 \text{ m. c. a} = 59,66 \text{ kPa}$$

Sabiendo este dato y que el caudal que circula por el circuito primario es de $4,28 \text{ m}^3/\text{h}$, podemos elegir la bomba de circulación.

Para tener un margen de seguridad se aumenta la pérdida de carga un 5%:

$$\Delta P_{bomba} = \Delta P + 5\%_{seguridad} = 62,64 \text{ kPa} = 6,40 \text{ m. c. a}$$

Se selección a la bomba del fabricante Sedical, modelo SA(X) 30/11-B, la cual es la que mejor se adapta a los parámetros que tenemos y es capaz de superar la altura necesaria. Cuenta con una alimentación de 1x230 v, 50 Hz y con un

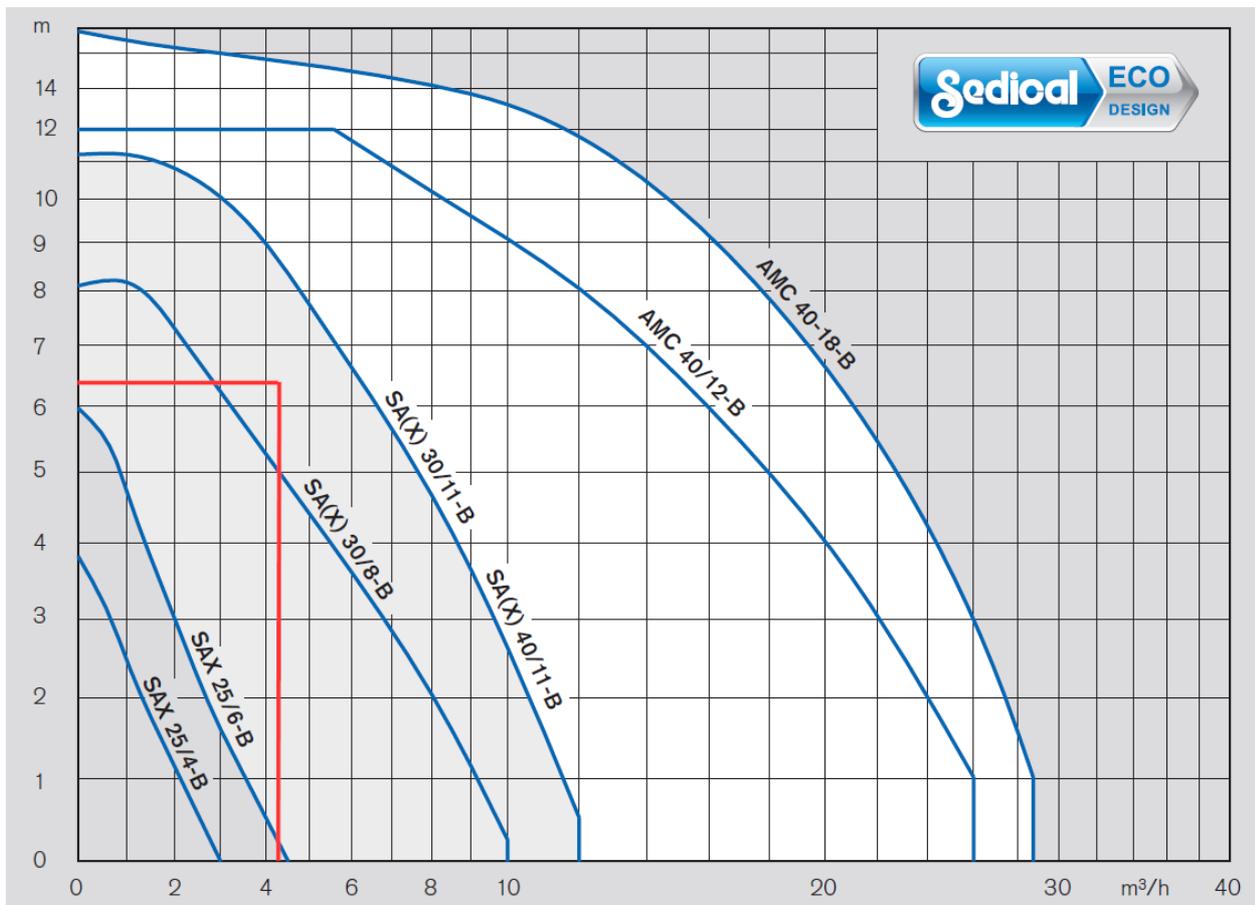


Figura. 36. Curva característica de la bomba de circulación.

2.6.4 Vaso de expansión

Para dimensionar el vaso de expansión se seguirá la norma UNE 100155:2004, para “Diseño y cálculo de sistemas de expansión”. El volumen del caso de expansión se calculará siguiendo la siguiente expresión:

$$V_{VE} = V \cdot c_e \cdot c_p$$

Donde,

- V , es el volumen total del circuito primario, al que se le aplica un coeficiente de seguridad.
- c_e , coeficiente de expansión del fluido.
- c_p , coeficiente de presión del fluido.

2.6.4.1 Coeficiente de expansión

Se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo del coeficiente de expansión cuando la temperatura se encuentra entre 30 °C y 70 °C:

$$c_e = (-1,75 + 0,064 \cdot T + 0,0036 \cdot T^2) \cdot 10^{-3}$$

Al ser el fluido una mezcla de agua y propilenglicol, es necesario aplicar un factor de corrección:

$$f_c = a \cdot (1,8 \cdot T + 32)^b$$

$$a = -0,0134(G^2 - 143,8 \cdot G + 1918,2)$$

$$b = (G^2 - 94,57 \cdot G + 500)$$

Donde G es el porcentaje de propilenglicol de la mezcla, en nuestro caso es de 30%.

Si tomamos como valor de temperatura 60 °C que es la temperatura a la que se encontrará el fluido al entrar al vaso de expansión:

$$a = 20,04$$

$$b = -0,503$$

$$f_c = 1,669$$

$$c_e = \mathbf{0,015}$$

2.6.4.2 Volumen total del circuito

El volumen total del circuito primario, se calcula en función del volumen que fluye por las distintas tuberías, los captadores y el interacumulador.

El volumen de las tuberías se calcula en función de la longitud y el diámetro:

$$V_{tuberías} = L \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

Esto nos da que para el conjunto de todos los tramos de tuberías se tiene un volumen de fluido total de 120,58,29 litros. En la Tabla 18 podemos ver el cálculo para cada uno de los tramos.

Para el volumen de los captadores, este volumen viene detallado en la ficha técnica del fabricante con un valor de 1,19 litros, de manera que, al tener un total de 52 captadores, este volumen será:

$$V_{captadores} = N_c * 1,19 = 61,88 \text{ litros}$$

De la misma manera, en la ficha del fabricante viene detallado el volumen de fluido en los intercambiadores,

$$V_{intercambiadores} = 83 \text{ litros}$$

Por lo tanto, el volumen total del circuito multiplicado por un coeficiente de seguridad del 10% es:

$$V = 383,30 \text{ litros}$$

Tabla 18. Cálculo de volumen de tuberías por tramo.

| | Diámetro [mm] | Longitud [m] | Volumen [m ³] |
|----------|------------------|-----------------|------------------------------|
| Tramo 1 | 40 | 24,91 | 0,0313 |
| Tramo 2 | 40 | 0,97 | 0,0012 |
| Tramo 3 | 15 | 10,82 | 0,0019 |
| Tramo 4 | 15 | 10,82 | 0,0019 |
| Tramo 5 | 32 | 4,82 | 0,0039 |
| Tramo 6 | 20 | 4,68 | 0,0015 |
| Tramo 7 | 15 | 10,82 | 0,0019 |
| Tramo 8 | 15 | 10,82 | 0,0019 |
| Tramo 9 | 32 | 4,82 | 0,0039 |
| Tramo 10 | 25 | 4,75 | 0,0023 |
| Tramo 11 | 15 | 10,82 | 0,0019 |
| Tramo 12 | 15 | 10,82 | 0,0019 |
| Tramo 13 | 25 | 4,75 | 0,0023 |
| Tramo 14 | 32 | 4,82 | 0,0039 |
| Tramo 15 | 15 | 10,82 | 0,0019 |
| Tramo 16 | 15 | 10,82 | 0,0019 |
| Tramo 17 | 20 | 4,68 | 0,0015 |
| Tramo 18 | 32 | 4,82 | 0,0039 |
| Tramo 19 | 15 | 10,82 | 0,0019 |
| Tramo 20 | 15 | 10,82 | 0,0019 |
| Tramo 21 | 40 | 1,62 | 0,0020 |
| Tramo 22 | 25 | 18,36 | 0,0090 |
| Tramo 23 | 15 | 13,62 | 0,0024 |
| Tramo 24 | 20 | 4,68 | 0,0015 |
| Tramo 25 | 15 | 8,94 | 0,0016 |
| Tramo 26 | 20 | 4,68 | 0,0015 |
| Tramo 27 | 15 | 13,62 | 0,0024 |
| Tramo 28 | 25 | 7,34 | 0,0036 |
| Tramo 29 | 40 | 17,38 | 0,0218 |
| TOTAL | | | 0,1206 |

2.6.4.3 Coeficiente de presión

Para calcular el coeficiente de presión se parte de la ecuación de estado de gases perfectos con temperatura constante (Ley de Boyle y Mariotte). La ecuación aplicada en vasos de expansión con diafragma queda reducida a una relación entre la presión máxima y mínima, como se muestra a continuación:

$$c_p = \frac{P_M}{P_M - P_m}$$

P_m , es la presión mínima de funcionamiento, es la presión estática que existe en el punto más alto de la instalación, donde se situará el vaso de expansión. Dado que todos los equipos se encuentran en la cubierta, se le proporcionará un margen de seguridad de 0,5 bar a la presión atmosférica.

$$P_m = 1,5 \text{ bar}$$

P_M , es la presión máxima de funcionamiento, esta presión debe ser menos que la presión de la válvula de seguridad, y se debe coger el mínimo de entre estos dos valores:

$$P_M = 0,9 \cdot P_{VS}$$

$$P_M = P_{VS} - 0,5$$

P_{VS} , es la presión de la válvula de seguridad, que debe ser la menor de las presiones máxima admisible de los equipos de la instalación, la de los captadores es de 10 bar y para el intercambiador de 8 bar. De manera que se obtienen los siguientes resultados:

$$P_m = 1,5 \text{ bar}; P_{VS} = 8 \text{ bar}; P_M = 7,2 \text{ bar};$$

$$c_p = 1,26$$

2.6.4.4 Volumen del vaso de expansión

Una vez calculados todos los parámetros necesarios procedemos a calcular el volumen del vaso de expansión:

$$V_{VE} = 7,29 \text{ litros}$$

El vaso de expansión elegido será el modelo 8 VI SIN PATAS que tiene una capacidad de 8 litros de la marca Ibaiondo.

2.6.5 Espesor de aislamiento

En el apartado IT 1.2.4.2.1 Aislamiento térmico de redes de tuberías del RITE, se establecen los espesores mínimos de aislamiento de las tuberías para instalaciones térmicas de manera que se minimicen las pérdidas de energía y se eviten consumos innecesarios.

Todas las tuberías, accesorios y equipos que contengan fluidos que tengan una temperatura mayor de 40 °C deben disponer de un aislamiento térmico. Se utilizará el procedimiento simplificado detallado en el IT 1.2.4.2.1.2 para calcular el espesor del aislante de cada tubería, en función del diámetro exterior de la tubería y de la temperatura del fluido en la red para un material con una conductividad térmica de referencia de 0,040 W/mK. En las Tablas 19 y 20 se muestran los valores del espesor especificado en el documento.

El intercambiador cuenta con aislamiento propio, proporcionado por el fabricante, de fibra de poliéster de 50 mm de espesor y con un coeficiente de conductividad térmica de 0,038 W/mK.

Tabla 19. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios.

| 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 20. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios.

| Diámetro exterior (mm) | Temperatura máxima del fluido (°C) | | |
|------------------------|------------------------------------|------------|-------------|
| | 40...60 | > 60...100 | > 100...180 |
| $D \leq 35$ | 25 | 25 | 30 |
| $35 < D \leq 60$ | 30 | 30 | 40 |
| $60 < D \leq 90$ | 30 | 30 | 40 |
| $90 < D \leq 140$ | 30 | 40 | 50 |
| $140 < D$ | 35 | 40 | 50 |

En nuestro caso para las tuberías tiene diámetros mejores de 35 mm, se utilizará durante para todo el circuito un aislante de espesor 35 mm para aquellas tuberías que discurren por el exterior y de 25 mm para las se encuentren en el interior. En el caso de las tuberías de 40 mm de diámetro se utilizará y un aislamiento de 40 mm en exterior y 30 mm en interior.

2.6.6 Accesorios

A lo largo de la instalación se presentan los siguientes accesorios y válvulas:

- Válvula de corte: se colarán a la entrada y salida de cada uno de los equipos y de cada batería de captadores. Resultando un total de 44 válvulas de control en la instalación.
- Válvulas de equilibrado: se situará en cada una de las entradas de las tuberías para equilibrar los lazos del circuito añadiendo una pérdida de carga adicional. Siendo un total de 13 válvulas.
- Válvula antirretorno: se colocará a la salida de cada bomba de circulación para evitar que los flujos invertidos. Cuenta con un total de 4 válvulas antirretorno.
- Válvula de seguridad: se situará cerca del depósito de expansión y en el punto más frío del circuito, debe garantizar que no existan daños en caso de descarga.
- Purgadores: Se colocarán purgadores a la salida de las filas de captadores y en el vaso de expansión, haciendo un total de 4 purgadores en la instalación.
- Sistemas de medida: se colocarán termómetros en los diferentes depósitos y manómetros en cada una de las bombas de circulación del circuito para controlar que las temperaturas y presiones estén situadas dentro de los límites de la instalación.

2.6.7 Sistema de control y regulación

Este sistema es el encargado de asegurar el correcto funcionamiento de la instalación, así como de proteger la instalación contra diversos factores como sobrecalentamientos o heladas.

Este sistema de control diferencial será por temperaturas, de manera que comparará las temperaturas de los captadores y la del interacumulador, para activar o desactivar las bombas de circulación. Con esto cuando la esta diferencia de temperatura sea menor a 2 °C se pararán las bombas y cuando a partir de 7 °C se activarán, optimizando así el aprovechamiento solar de la instalación.

Se instalará una centralita de regulación de la marca Sysclima modelo RVS 35 plus que se muestra en la figura 37.



Figura. 37. Controlador RVS 35 plus.

3 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS

3.1 Objeto y campo de aplicación

En el presente Pliego de Condiciones Técnicas se fijan las condiciones técnicas mínimas que debe cumplir el proyecto de instalación solar térmica para calentamiento de ACS en un hotel.

Se definirán todos los componentes y materiales utilizados, montaje de los equipos, así como las pruebas a realizar y la puesta en marcha de la instalación. También se detallará el mantenimiento que se debe aplicar a la instalación durante toda su vida útil.

3.2 Norma aplicable

Todos los materiales y tareas que forman parte de la instalación deberán cumplir con los requisitos exigidos en los siguientes reglamentos:

- Pliego de Especificaciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Térmica a Baja Temperatura.
- Código Técnico de la Edificación – Acciones en la Edificación (CTE-DB-AE)
- Código Técnico de la Edificación – Seguridad en caso de incendio (CTE-DBSI)
- Código Técnico de la Edificación – Protección frente al ruido (CTE-DB-HR)
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones Técnicas Complementarias (ITC.BT). Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio.
- Norma UNE-EN 12975-1:2006. “Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares”.
- Norma UNE 94002: Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda de la energía térmica.
- Norma UNE 94003: Datos climáticos para el dimensionado de las instalaciones solares térmicas.

Aparte de la Normativa de carácter obligatorio anteriormente mencionada, se utilizará otras normas como la UNE de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), normas NTE del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo o de las Compañías suministradores de energía eléctrica, etc. Puede ocurrir que, en ocasiones, a falta de normativa española, podrán utilizarse de organismos internacionales, tales como CER, ISO, etc. En cualquier caso, se seguirá la edición más reciente de toda la normativa mencionada, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.

De igual manera, se respetarán cualesquiera otras normativas o reglamentos mencionados en el presente pliego.

3.3 Condiciones de materiales y equipos

3.3.1 Tuberías

En los distintos circuitos cerrados de la instalación podrán utilizarse tuberías de cobre, de acero negro, de acero inoxidable o material plástico compatibles con el fluido que utilizan, que soporten las condiciones extremas de funcionamiento del correspondiente circuito y con la protección necesaria en función de su ubicación.

En los circuitos de agua caliente sanitaria podrán utilizarse cobre y acero inoxidable. Podrán utilizarse materiales plásticos que soporten las condiciones extremas (presión y temperatura) de funcionamiento del circuito, y que estén autorizadas por la normativa vigente.

Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y sus uniones serán realizadas por accesorios a presión que soporten las condiciones extremas o, mediante soldadura por capilaridad de acuerdo a la norma UNE EN 1057. Se realizará soldadura fuerte cuando la temperatura del circuito pueda superar en algún momento los 125°C. En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero según Norma UNE 100050.

Todos los elementos metálicos no galvanizados, ya sean tuberías, soportes, o bien accesorios, o que no estén debidamente protegidos contra la oxidación por su fabricante, se les aplicara dos capas de pintura antioxidante a base de resinas sintéticas acrílicas multipigmentadas por minio de plomo, cromado de zinc y óxido de hierro. Las dos manos se darán: la primera fuera de obra y la otra con el tubo instalado.

3.3.2 Accesorios

- **Compensadores de dilatación**

Se utilizarán en los circuitos de agua caliente. Los compensadores de dilatación han de ser instalados allí donde indique el plano y, en su defecto, donde se requiera según la experiencia del instalador, adaptándose a las recomendaciones del Reglamento e Instrucciones Técnicas correspondientes.

La situación será siempre entre dos puntos fijos garantizados como tales, capaces de soportar los esfuerzos de dilatación y de presión que se originan.

Los extremos del compensador serán de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chaflán de 37o 30° y un talón de 1,6 mm cuando el diámetro nominal de la tubería sea de hasta 2" inclusive. Para tuberías de diámetro superior, las conexiones serán por medio de bridas en acero al carbono s/normas DIN 2502 o 2503, según las presiones sean de 6 y 10 o 16 Kg/cm².

Las bridas irán soldadas a los cuellos del compensador por los procedimientos recomendados para la soldadura de piezas en acero al carbono de espesores medios.

- **Juntas**

No se utilizará amianto. La presión nominal mínima será PN-10, y soportarán temperaturas de hasta 200°C.

- **Lubricante de roscas**

En general no se empleará lubricante endurecedor ni venenoso.

- **Acoplamiento dieléctricos o latiguillos**

Se incluirán acoplamiento dieléctricos o latiguillos en las uniones entre cobre y acero o fundición, tanto en la conducción de impulsión, como en el retorno.

- **Derivaciones**

Para las derivaciones se pueden usar empalmes soldados. Todas las aberturas realizadas a las tuberías se harán con precisión para lograr intersecciones perfectamente acabadas.

- **Codos en bombas**

Se suministrarán codos de radio largo en la succión y descarga de las bombas.

- **Sombretes**

Se incluirá la protección adecuada para cada una de las tuberías que pasen a través de la cubierta, de acuerdo a las instrucciones de la Dirección Facultativa.

- **Guías**

Se suministrarán guías, donde se indique y donde sea necesario como en liras, juntas de expansión, instaladas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

- **Termómetros**

Los termómetros serán de mercurio en vidrio, con una escala adecuada para el servicio (divisiones de 1/2 grado) dentro de una caja metálica protectora con ventana de vidrio, instalados de modo que su lectura sea sencilla.

- **Manómetros**

Los manómetros serán con válvula de aguja de aislamiento en acero inoxidable, e inmersos en glicerina.

Los rangos de los manómetros serán tales que la aguja, durante el funcionamiento normal, esté en el medio del dial. La precisión será de al menos el 1%. Puntos de toma de presión: Se incluirán los puntos de toma con válvula necesarios y/o indicados en planos o especificaciones.

- **Válvulas de seguridad**

Se incluirán todas las válvulas de seguridad indicadas, o necesarias (de tarado adecuado) para un funcionamiento completamente seguro y correcto de los sistemas. Durante el periodo de pruebas de la instalación se procederá al timbrado de las mismas. Las válvulas de seguridad de alivio serán de paso angular y carga por resorte. Serán adecuadas para condiciones de trabajo de 0 a 120°C y hasta 25 kg/cm². Los materiales de fabricación serán bronce RG-5 para el cuerpo, vástago, tornillo de fijación, tuerca deflectora y la tobera, latón para el cabezal y obturador, acero cadmiado para el resorte y PTFE para la junta.

- **Purgadores de aire**

Cuando sea necesario, y con el fin de disponer de una instalación silenciosa y evitar formación de cámaras de aire, se dispondrá la tubería con pendiente ascendente hacia la dirección de flujo.

Las derivaciones se harán de tal modo que se eviten retenciones de aire y se permita el paso libre del mismo. Se incluirán purgadores de aire, manuales o automáticos, en todos los puntos altos, particularmente en los puntos más elevados de los montantes principales, así como en todos los puntos necesarios, teniéndose especial cuidado en los retornos (ascensos, codos ascendentes).

En el caso de que, una vez que las redes estén en funcionamiento, se den anomalías por presencia de aire en la instalación, se instalaran nuevos empalmes, purgadores, válvulas según sea necesario y sin coste extra. Si se deben realizar trabajos que requieran rotura, y reposición de acabados, el contratista se hará cargo de los gastos generados. Se preferirán por norma general los purgadores manuales, salvo en puntos ocultos o de difícil acceso, que hagan recomendable la instalación de purgadores automáticos.

- **Vaciados**

Los vaciados, purgadores, válvulas de seguridad, reboses, se dirigirán al sumidero o desagüe más cercano. En cualquier caso, se adoptarán las medidas oportunas para evitar que una descarga accidental produzca daños o desperfectos. Se suministrarán las válvulas de vaciado que sean necesarias para el vaciado completo de todas las tuberías y equipos.

- **Conexiones a equipos**

Se dispondrán elementos de unión que permitan una fácil conexión y desconexión de los diferentes equipos y elementos de la red de tuberías, tales como latiguillos, bridas, etc., dispuestas de tal modo que los equipos puedan ser mantenidos o que puedan retirarse sin tener que desmontar la tubería. La instalación se realizará de tal modo que no se transmitan esfuerzos de las redes de tuberías a los equipos.

3.3.3 Válvulas

- **Generalidades**

Las válvulas llevaran impreso de forma indeleble el diámetro nominal, la presión nominal y, si procede, la presión de ajuste.

La elección de las válvulas se realizará, de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura) siguiendo los siguientes criterios:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.

- Para seguridad: válvula de resorte.
- Para retención: válvulas de disco, de capeta o de muelle (disco partido).

Las válvulas de seguridad, por su importante función, deberían ser capaces de derivar la potencia máxima del captador o grupo de captadores, incluso en forma de vapor, de manera que en ningún caso sobrepase la máxima presión de trabajo del captador o del sistema.

Los purgadores automáticos resistirán las presiones y temperaturas máximas alcanzables en el circuito correspondiente. Los del circuito primario se recomienda que resistan, al menos, temperaturas de 150°C.

• **Materiales**

Los componentes fundamentales de las válvulas deberían estar constituidos por los materiales que se indican a continuación:

Válvulas a esfera:

- Cuerpo de fundición de hierro o acero.
- Esfera y eje de acero duro cromado o acero inoxidable.
- Asientos, estopada y juntas de teflón. Podrán ser de latón estampado para diámetros inferiores a 1 ½ con esfera de latón duro cromado.

Válvulas de asiento:

- Cuerpo de bronce (hasta 2") o de fundición de hierro o acero.
- Tapa del mismo material que el cuerpo.
- Obturador en forma de pistón o de asiento plano con cono de regulación de acero inoxidable y aro de teflón. No será solidario al husillo.
- El asiento será integral en bronce o en acero inoxidable según el cuerpo de la válvula.
- Prensaestopas del mismo material que cuerpo y tapa.

Válvulas de seguridad de resorte:

- Cuerpo de hierro fundido o acero al carbono con escape conducido.
- Obturador y vástago de acero inoxidable.
- Prensaestopas de latón. Resorte en acero especial para muelle.

Válvulas de retención de clapeta:

- Cuerpo y tapa de bronce o latón.
- Asiento y capeta de bronce.
- Conexiones de rosca hembra.

Válvulas de retención de muelle:

- Cuerpo y tapa de bronce o latón.
- Asiento y capeta de bronce.
- Conexiones de rosca hembra.
- Resorte en acero especial para muelle.

Purgadores automáticos de aire:

- Cuerpo y tapa de fundición de hierro o latón.
- Mecanismo de acero inoxidable.
- Flotador y asiento de acero inoxidable o de plástico.
- Obturador de goma sintética.

3.3.4 Aislamiento

El material usado como aislamiento debería cumplir con la norma UNE 100171.

El material aislante situado a la intemperie debería protegerse adecuadamente frente a los agentes atmosféricos de forma que se evite su deterioro. Como protección del material aislante se podrá utilizar una cubierta o revestimiento de escayola protegido con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio.

En el caso de que el aislamiento esté basado en espuma elastómera se podrá usar pinturas plásticas impermeables cuya exposición prolongada al sol no afecte a sus propiedades fundamentales.

En el caso de acumuladores e intercambiadores de calor situados a la intemperie podrán usarse forros de telas plásticas como protección del material aislante.

3.3.5 Vaso de Expansión

Los vasos de expansión serán siempre cerrados. El vaso de expansión llevara una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrito con caracteres indelebles en las que aparecerán los siguientes datos:

- Fabricante
- Marca
- Modelo

Se recomienda que los vasos de expansión utilizados en los circuitos primarios tengan una temperatura máxima de funcionamiento superior a 100°C, y se adoptarán las medidas necesarias (vaso tampón, tubería de enfriamiento, etc.) para que no llegue al vaso fluido a temperatura superior a la que el mismo pueda soportar.

En casos de fugas, los vasos de expansión deberían presurizarse con nitrógeno puro. El uso de aire no es aconsejable porque puede reducir la vida útil.

El cuerpo exterior será de acero, timbrado y estará construido de forma que sea accesible la membrana interior de expansión. El interior tendrá un tratamiento anticorrosivo y exteriormente un doble tratamiento antioxidante con acabado pintado al duco o esmaltado al horno.

El depósito estará dividido en dos cámaras herméticas entre sí, por la membrana de dilatación, construida en caucho butílico o polipropileno, con elasticidades recuperables a temperaturas inferiores a 60°C, sin degradación del material. La cámara de expansión de gas estará rellena con nitrógeno u otro gas inerte disponiendo de acometida para reposición de gas y manómetro. En la acometida del agua se incluirá manómetro, termómetro, válvula de alimentación, purga de agua y seguridad. Asimismo, esta acometida dispondrá de sifón en cuya parte superior se dispondrá de botellón de recogida de aire con purgador manual y automático.

3.3.6 Bombas

La bomba de circulación llevara una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrito con caracteres indelebles en las que aparecerán los siguientes datos:

- Fabricante
- Marca
- Modelo
- Características eléctricas

Los grupos bombas deberán reunir las siguientes características en cuanto a materiales y prestaciones:

- Cuerpo en fundición o bronce. Partidos, o no, según planos. Se incluirán conexiones para cebado, venteo, drenaje y manómetros en impulsión y descarga
- Rodete de fundición/polysulfone o bronce
- Eje en acero inoxidable AISI 316

- Tubo de estanqueidad en acero inoxidable
- Cojinetes a bolas de carbono, a prueba de polvo y humedad
- Cierres Mecánicos: todas las bombas deberán de estar provistas con cierres mecánicos y separadores de sedimentos
- Juntas torcas de EPDM
- Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo
- Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto
- Motor eléctrico de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220V/1~ o 220/380V/ 3~, 50 Hz, IP.44 clase F
- Presión de aspiración 2 maca. para 82°C
- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, numero de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas
- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión
- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado

3.3.7 Captadores solares

- **Generalidades**

El captador solar llevara una etiqueta visible y duradera con los siguientes datos:

- Nombre del fabricante
- Tipo
- Número de serie
- Año de fabricación
- Superficie total del captador
- Dimensiones del captador
- Presión máxima de trabajo
- Temperatura de estancamiento a 1000 W/m² y 30°C
- Volumen del fluido de transferencia de calor
- Peso del captador vacío
- Lugar de fabricación

Es recomendable que se utilicen captadores solares que se ajusten a las siguientes características técnicas:

- Material de la cubierta transparente: vidrio templado de espesor no inferior a 3 mm y transmisividad mayor o igual a 0,8
- La distancia media entre el absorbedor y la cubierta transparente no será inferior a 2 cm ni superior a 4 cm
- Absorbedor constituido solo por materiales metálicos

La instalación de sistemas integrados en cubierta se debería realizar mediante procedimiento acreditado por el fabricante y de forma que se garanticen las características funcionales y de durabilidad del conjunto.

Los datos para la caracterización térmica, hidráulica y mecánica del captador solar deberían proceder de los resultados del ensayo realizado conforme a la norma UNE 12975. A estos efectos, es importante señalar que

la función de rendimiento del captador siempre está relacionada con una superficie útil y un caudal de ensayo.

- **Modelo de captador**

Todos los captadores que integren la instalación se recomienda que sean del mismo tipo y modelo. Si no fuera posible mantener el mismo modelo en la rehabilitación o ampliación, se dispondrá de un sistema de regulación de caudal por baterías que permita que las nuevas baterías presenten el mismo caudal (diferencia máxima del 10%) que las existentes cuando circule por el circuito primario el caudal de diseño.

En el caso que la instalación disponga de captadores en una única batería, se podrán utilizar captadores distintos siempre que:

- No implique modificaciones en el caudal que circula por dicho captador fuera del rango $\pm 5\%$ respecto del caudal original de diseño unitario
- No suponga una disminución del rendimiento térmico del sistema de captación en las condiciones habituales de operación
- Estéticamente sean similares

- **Estructura soporte y sujeción del captador**

La estructura soporte cumplirá los requisitos establecidos en el CTE-SE.

Todos los materiales de la estructura soporte se deberían proteger contra la acción de los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la acción combinada del aire y el agua. Las estructuras de acero deberían protegerse mediante galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas de zinc o tratamientos anticorrosivos equivalentes.

La realización de taladros en la estructura se debería llevar a cabo antes de proceder al galvanizado o protección de la estructura.

La tornillería y piezas auxiliares deberían estar protegidas por galvanizado o cincado, o bien serán de acero inoxidable.

3.3.8 Sistema Eléctrico y de Control

La instalación eléctrica cumplirá con el vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Se construirá un cuadro eléctrico específico para la instalación solar. El sistema de control consistirá en un controlador digital programable e incorporará una adquisición de datos de la instalación en tiempo real, telegestionable a distancia a través de un módem ya incorporado. Los datos a chequear serán: caudales, temperaturas en captadores, acumuladores, potencia y energía inyectadas en cada servicio y número de horas de funcionamiento de las bombas.

Las funciones de regulación y control que han de realizarse son las siguientes:

- Activar la bomba de circulación en función del salto de temperatura entre la salida de la batería de captadores solares y la parte baja del acumulador
- La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que detecten exactamente las temperaturas que se desean, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los colectores y las zonas de estancamiento.
- La precisión de los sistemas de control y la regulación de los puntos de consigna asegurará que en ningún caso las bombas estén en marcha con diferencias de temperaturas menores de 3°C ni paradas con diferencias superiores a 7°C .
- La diferencia de temperatura entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial no será inferior a 3°C .
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.

3.3.9 Aparatos de Medida

Los sistemas de medida de temperatura, caudales y energía proporcionan información del estado de funcionamiento de la instalación y permiten realizar la evaluación de las prestaciones energéticas de la instalación.

- **Medida de temperatura**

Las medidas de temperatura se realizarán mediante sondas, termopares, termómetros de resistencia o termistores.

La medición de la diferencia de temperatura del fluido de trabajo se realizará mediante termopilas, termómetros de resistencia (conectados en dos brazos de un circuito en puente) o termopares emparejados, de forma que la señal de salida sea única en todos los casos.

Las sondas de temperatura deben ser, preferentemente, de inmersión y estar bañadas por el fluido cuya temperatura se quiere medir, o situadas, como máximo, a una distancia de 5 cm del fluido.

- **Medida de caudal**

Los contadores de caudal de agua estarán constituidos por un cuerpo resistente a la acción del agua conteniendo la cámara de medida, un elemento con movimiento proporcional al caudal de agua que fluye y un mecanismo de relojería para transmitir este movimiento a las esferas de lectura por medio de un acoplamiento magnético. La esfera de lectura, herméticamente sellada, será de alta resolución.

Cuando exista un sistema de regulación exterior, este estará precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas. Se suministrarán los siguientes datos, que deberán ser facilitados por el fabricante:

- Calibre del contador
- Temperatura máxima del fluido
- Caudales: en servicio continuo, máximo (durante algunos minutos), mínimo (con precisión mínima del 5% y en arranque)
- Indicación mínima de la esfera
- Capacidad máxima de totalización
- Presión máxima de trabajo
- Dimensiones
- Diámetro y tipo de las conexiones
- Pérdida de carga en función del caudal

La medida de caudales de líquidos se realizará mediante turbinas, medidores de flujo magnético, medidores de flujo de desplazamiento positivo o procedimientos gravimétricos, de forma que la exactitud sea igual o superior a $\pm 3\%$ en todos los casos.

- **Medida de energía térmica**

Los contadores de energía térmica estarán constituidos por los siguientes elementos:

- Contador de agua, descrito anteriormente
- Dos sondas de temperatura
- Microprocesador electrónico, montado en la parte superior del contador o separado. La posición del contador y de las sondas define la energía térmica que se medirá

El microprocesador podrá estar alimentado por la red eléctrica o mediante pilas con una duración de servicio mínima de 3 años.

El microprocesador multiplicará la diferencia de ambas temperaturas por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionará la cantidad de energía.

3.3.10 Acumuladores

El acumulador seleccionado deberá especificar el tipo y las siguientes características técnicas:

- Volumen cubicado real
- Principales dimensiones
- Presión de máximo trabajo
- Situación y diámetro de las bocas de conexión
- Situación y especificación de los puntos de sujeción o apoyos
- Máxima temperatura de utilización
- Tratamiento y protección
- Material y espesor de aislamiento y características de su protección

El depósito estará fabricado de acuerdo con lo especificado en el Reglamento de Aparatos a Presión, instrucción Técnica Complementaria MJE-AP11 y probado con una presión igual a dos veces la presión de trabajo y homologado por el Ministerio de Industria y Energía.

El acumulador llevará una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrito con caracteres indelebles en las que aparecerán los siguientes datos:

- Nombre del fabricante y razón social
- Contraseña y fecha de registro de tipo
- Numero de fabricación
- Volumen neto de almacenamiento en litros
- Presión máxima de servicio

Los depósitos vendrán equipados de fábrica con las bocas necesarias soldadas antes de efectuar el tratamiento de protección interior.

Al objeto de este pliego de condiciones podrán utilizarse depósitos de las siguientes características y tratamientos:

- Depósitos de acero galvanizado en caliente de cualquier tamaño, con espesores de galvanizado no inferiores a los especificados en la Norma UNE 37.501
- Depósitos de acero con tratamiento epoxídico
- Depósitos de acero inoxidable de cualquier tamaño
- Depósitos de cobre de cualquier tamaño
- Acumuladores no metálicos que, además de soportar las condiciones extremas del circuito, resistan la acción combinada de presión y temperatura más desfavorable y este autorizada su utilización por la Administración Competente

Cuando el intercambiador está incorporado al acumulador solar, éste estará situado en la parte inferior del acumulador y podrá ser de tipo sumergido o de doble envolvente. El intercambiador sumergido podrá ser de serpentín o de haz tubular.

3.3.11 Intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor serán de acero inoxidable AISI 316 L. El intercambiador seleccionado resistirá la presión máxima de la instalación. Los materiales soportarán temperaturas de 110°C y serán compatibles con el fluido de trabajo.

El intercambiador llevara una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrita con caracteres indelebles en las que aparecerán los siguientes datos:

- Fabricante
- Marca
- Modelo
- Número de placas
- Temperatura máxima
- Presión nominal
- Potencia nominal
- Caudal nominal en primario y secundario
- Salto de temperatura nominal en primario y secundario

Se podrán utilizar intercambiadores de placas desmontables o electrosoldadas. El material de las placas será acero inoxidable o cobre.

3.4 Provisión del material

Los componentes instalados deberán ser de marcas acreditadas y en su caso homologados, para que ofrezcan las máximas garantías posibles.

Se dispondrá de un lugar adecuado y seguro para almacenar los materiales y elementos de la instalación hasta el momento en que estos vayan a ser puestos en obra.

Los captadores deberán ser suministrados apilados sobre una base de madera adecuada para su traslado mediante carretilla elevadora. Si los captadores desembalados quedan a la intemperie, se colocarán con un ángulo mínimo de 20° y máximo de 80°.

3.5 Condiciones de montaje

Las condiciones de montajes serán las indicadas por los fabricantes de los diferentes materiales, aparatos o equipos. La instalación de las distintas partes de la obra se realizará teniendo en cuenta la práctica normal conducente a obtener un buen funcionamiento durante el periodo de vida que se le puede atribuir.

3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción

3.6.1 General

La ejecución de la instalación termina con la entrega de la instalación al promotor o usuario para iniciar el periodo de uso, así como el de mantenimiento. Para realizar la recepción de la instalación debería estar realizado, además del montaje completo, las pruebas y ajustes especificados, así como la puesta en marcha.

El instalador se responsabilizará de la ejecución de las pruebas funcionales, del buen funcionamiento de la instalación y de su estado hasta su entrega a la propiedad.

La memoria de diseño contemplará la relación de las pruebas a realizar. En el documento de Control de Ejecución se recogerán las pruebas parciales, finales y funcionales, la fecha en la que tuvieron lugar, los resultados obtenidos y el grado de cumplimiento de las expectativas. Al objeto de la recepción de la instalación se entenderá que su funcionamiento es correcto, cuando la instalación satisfaga como mínimo las pruebas parciales del presente capítulo.

3.6.2 Pruebas parciales

Todas las pruebas estarán precedidas de una comprobación de los materiales al momento de su recepción en

obra.

Durante la ejecución de obra, todos los tramos de tubería, uniones o elementos que vayan a quedar ocultos, deberían ser expuestos para su inspección y debería quedar expresamente aprobado su montaje antes de quedar ocultos.

Adicionalmente, se inspeccionarán los soportes de tubería utilizados, los diámetros, trazados y pendientes de tuberías, la continuidad de los aislamientos, etc.

- **Pruebas de equipos**

Los materiales y componentes deberían llegar a obra con Certificación de Origen Industrial, que acredite el cumplimiento de la normativa en vigor. Su recepción se realizará comprobando el cumplimiento de las especificaciones de proyecto y sus características aparentes.

- **Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas**

Todas las redes de circulación de fluidos deberán ser probadas hidrostáticamente, a fin de asegurar su estanqueidad, antes de quedar ocultas por obras de albañilería, material de relleno o por el material aislante. Son aceptables las pruebas realizadas de acuerdo con la norma UNEEN 14336:2005, en función del tipo de fluido transportado.

- **Pruebas de libre dilatación**

Una vez que las pruebas anteriores de las redes de tuberías hayan resultado satisfactorias y se haya comprobado hidrostáticamente el ajuste de los elementos de seguridad, las instalaciones equipadas con captadores solares se llevaran hasta la temperatura de estancamiento de los elementos de seguridad, habiendo anulado previamente la actuación de los aparatos de regulación automática.

Durante el enfriamiento de la instalación y al finalizar el mismo, se comprobará visualmente que no hayan tenido lugar deformaciones apreciables en ningún elemento o tramo de tubería y que el sistema de expansión haya funcionado correctamente.

3.6.3 Pruebas finales

Las pruebas finales permitirán garantizar que la instalación reúne las condiciones de calidad, fiabilidad y seguridad exigidas en proyecto. Son aceptables, las pruebas finales que se realicen siguiendo las instrucciones indicadas en la norma UNE-EN 12599.

Las pruebas de libre dilatación y las pruebas finales de la instalación solar se realizarán en un día soleado y sin demanda.

En la instalación solar se llevará a cabo una prueba de seguridad en condiciones de estancamiento del circuito primario, con el circuito lleno y la bomba de circulación parada, cuando el nivel de radiación sobre la apertura del captador sea superior al 80% de radiación definida como máxima por el proyectista, durante al menos una hora.

3.6.4 Ajustes y equilibrado

La instalación solar deberá ser ajustada a los valores de proyecto dentro de los márgenes admisibles de tolerancia. Se realizarán de acuerdo con lo establecido en la Norma UNE 100.010 (partes 1, 2 y 3), "Climatización. Pruebas de ajuste y equilibrado", que habrá que particularizar para las características específicas de cada sistema o instalación.

- **Sistemas de distribución de agua**

Se comprobará que el fluido anticongelante contenido en los circuitos expuestos a heladas cumple con los requisitos especificados en el proyecto.

Cada bomba, de la que se debería conocer la curva característica, debería ser ajustada al caudal de diseño, como paso previo al ajuste de los caudales en circuitos.

De cada circuito hidráulico se deberían conocer el caudal nominal y la presión, así como los caudales

nominales cada uno de los ramales.

Los distintos ramales, o los dispositivos de equilibrado de los mismos, serán equilibrados al caudal de diseño. Se debería comprobar el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales mediante el procedimiento previsto en el proyecto.

De cada intercambiador de calor se deberían conocer la potencia, temperatura y caudales de diseño, debiéndose ajustar los caudales de diseño que lo atraviesan.

Cuando exista más de un grupo de captadores solares en el circuito primario del subsistema de energía solar, se debería probar el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales de la instalación mediante el procedimiento previsto en el proyecto.

Se comprobará el mecanismo del subsistema de energía solar en condiciones de estancamiento, así como el retorno a las condiciones de operación nominal sin intervención del usuario con los requisitos especificados en el proyecto.

- **Control automático**

Se ajustarán todos los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño especificados en el proyecto y se comprobará el funcionamiento de todos los componentes que configuran el sistema de control.

3.6.5 Recepción

- **Recepción provisional**

El objeto de la recepción es comprobar que la instalación está de acuerdo con los servicios contratados y que se ajusta, por separado cada uno de sus elementos y globalmente, a lo especificado en el proyecto.

Una vez realizadas las pruebas funcionales con resultados satisfactorios, se procederá al acto de Recepción Provisional de la instalación por parte de la propiedad, con lo que se da por finalizado el montaje de la instalación.

El acto de recepción provisional quedara formalizado por un acta donde figuren todos los intervinientes y en la que se formalice la entrega conforme de la documentación referida. La documentación disponible y entregada debería ser, al menos, la siguiente:

- Una memoria descriptiva de la instalación, en la que se incluyen las bases de proyecto y los criterios adoptados para su desarrollo.
- Una copia reproducible de los planos definitivos, comprendiendo, como mínimo, los esquemas de principio de todas las instalaciones, los planos de sala de máquinas y los planos de plantas donde se debería indicar el recorrido de las conducciones y la situación de las unidades terminales.
- Una relación de todos los materiales y equipos empleados, indicando fabricante, marca, modelo y características de funcionamiento.
- Las hojas desopilativas de los resultados de las pruebas parciales y finales.
- Un manual de instrucciones de funcionamiento de los equipos principales de la instalación.

- **Recepción definitiva**

Desde el acta de recepción provisional, la propiedad podrá y deberá notificar cualquier incidencia en el funcionamiento de la instalación.

Transcurrido el plazo estipulado desde el acta de recepción, la Recepción Provisional se transformará en Recepción Definitiva. A partir de la Recepción Definitiva entrara en vigor la garantía.

3.7 Mantenimiento

Se definen tres escalones de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la

instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma:

- Vigilancia
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo

3.7.1 Vigilancia

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos.

Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación.

Puede ser llevado a cabo por el usuario.

3.7.2 Mantenimiento Preventivo

El plan de mantenimiento ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento necesarias para que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

El mantenimiento preventivo implicará operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deberían permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con área de apertura de captación inferior a 20 m² y una revisión cada seis meses para instalaciones superiores a 20 m².

En la siguiente hoja se definen las operaciones de mantenimiento preventivo que deben realizarse, la periodicidad mínima establecida (en meses) y observaciones en relación con las prevenciones a observar.

3.7.3 Mantenimiento Correctivo

Las actividades de mantenimiento correctivo no pueden estar sometidas a un plan, dado el carácter impredecible de estas acciones. Como su propio nombre indica, las acciones de mantenimiento correctivo se realizarán para corregir anomalías observadas durante el funcionamiento normal de la instalación.

No obstante, si es posible llevar un control de las acciones de mantenimiento correctivo realizado, mediante el uso de un parte de mantenimiento correctivo. En este parte aparecerá recogido el componente afectado, la causa aparente del problema, la acción correctiva realizada, además de la fecha y la firma del responsable de dicha acción.

4 MEDICIONES Y PRESUPUESTO

4.1 Sistema de Captación

| Concepto | Precio[€/ud] | Cantidad | Importe [€] |
|---|--------------|----------|-----------------|
| Captado solar Greenheiss o similar Características: Modelo CAPTUR 20V Superficie bruta: 1,83 m ² Caudal de ensayo: 45 l/h· m ² Factor óptico: 81,5% Coeficiente lineal de pérdidas: 3,388 W/(m ² ·K) Coeficiente cuadrático de pérdidas: 0,018 W/(m ² ·K ²) k50: 0,96 Peso: 27,8 kg Presión máxima de trabajo: 10 bar | 503 | 52 | 26.156 |
| Estructura soporte Greenheiss o similar Características: Resistencia a velocidades de viento: 29 m/s Carga de nieve: 200 N/m ² Ángulo de inclinación variable Material: Aluminio | 132 | 52 | 6.864 |
| Conjunto de accesorios para montaje de batería | 99,8 | 40 | 5.189,6 |
| Total sistema de captación | | | 38.209,6 |

4.2 Sistema de Intercambio y Acumulación

| Concepto | Precio[€/ud] | Cantidad | Importe [€] |
|---|--------------|----------|---------------|
| Interacumulador Suicalsa o similar Características: Modelo ASSCPW Capacidad: 5000 litros Doble serpentín Superficie de intercambio: 16,68 m ² Presión máxima de trabajo: 8 bar Peso: 27,8 kg Capacidad: 1,19 litros Presión máxima de trabajo: 10 bar | 14.066 | 2 | 28.132 |
| Total sistema de intercambio y acumulación | | | 28.132 |

4.3 Sistema Hidráulico

| Concepto | Precio[€/ud] | Cantidad | Importe [€] |
|---|--------------|----------|-------------|
| Bomba de circulación Sedical o similar Características: Modelo SA(X) 30/11-B Temperatura del fluido: 15 a 85 °C Caudal máximo: 12 m ³ /h Altura máxima: 11,2 m Presión máxima de diseño: 10 bar Temperatura máxima de diseño: 85 °C Alimentación eléctrica: 1x230 V, 50 Hz | 1.618 | 2 | 3.236 |
| Vaso de expansión Ibaiondo o similar Características: Modelo 8 VI Capacidad: 8 litros Presión máxima: 10 bar Rango de temperaturas: -10 °C a 100 °C Peso: 2 kg | 22,31 | 1 | 44,62 |
| Tubería cobre rígido Proveedor: Tubos Domínguez o similar | | | |
| Diámetro 1/2" | 4,61 | 124,80 m | 575,33 |
| Diámetro 3/4" | 7,38 | 18,04 m | 133,14 |
| Diámetro 1" | 9,57 | 31,32 m | 299,73 |
| Diámetro 1+1/4" | 12,58 | 18,04 m | 226,94 |
| Diámetro 1+1/2" | 15,5 | 35,48 m | 549,94 |
| Manguito Reducción Proveedor: Salvador Escoda/ Conex Banninger o similar | | | |
| Manguito M-H 1+1/2" - 1+1/4" | 27,98 | 2 | 55,96 |
| Manguito M-H 1+1/2" - 1" | 33,08 | 1 | 33,08 |
| Manguito M-H 1+1/2" - 1/2" | 41,96 | 4 | 167,84 |
| Manguito M-H 1+1/4" - 1" | 22,72 | 2 | 45,44 |
| Manguito M-H 1+1/4" - 1/2" | 30,1 | 6 | 180,60 |
| Manguito M-H 1" - 3/4" | 5,8 | 4 | 23,20 |
| Manguito M-H 1" - 1/2" | 11,92 | 6 | 71,52 |
| Manguito M-H 3/4" - 1/2" | 5,4 | 10 | 54,00 |
| Codo 90° cobre Proveedor: Tubos Domínguez o similar | | | |

| | | | |
|--------------------------------------|--------|----------|------------------|
| Diámetro 1/2" | 1,75 | 26 | 45,5 |
| Diámetro 1" | 8,22 | 1 | 8,22 |
| Diámetro 1+1/2" | 47,61 | 4 | 190,44 |
| Unión T | | | |
| Proveedor: Tubos Domínguez o similar | 4,5 | 10 | 45 |
| Diámetro 1+1/2"-1+1/2"-1" | 4,5 | 10 | 45 |
| Diámetro 3/4"-1/2"-1/2" | 4,5 | 10 | 45 |
| Diámetro 1"-3/4"-1/2" | 4,5 | 9 | 40,5 |
| Diámetro 3/4"-1/2"-1/2" | | | |
| Aislamiento térmico | | | |
| Proveedor: K-FLEX o similar | | | |
| Diámetro 1/2" 20 mm espesor | 13,48 | 124,80 m | 1682,30 |
| Diámetro 3/4" 20 mm espesor | 9,36 | 18,04 m | 168,85 |
| Diámetro 1" 25 mm espesor | 6,57 | 31,32 m | 205,77 |
| Diámetro 1+1/4" 35 mm espesor | 11,47 | 18,04 m | 206,92 |
| Diámetro 1+1/2" 40 mm espesor | 12,05 | 35,48 m | 427,53 |
| Válvula de corte | | | |
| Proveedor: Saycalsa o similar | | | |
| Diámetro 1/2" | 10,52 | 30 | 314,6 |
| Diámetro 1+1/2" | 40,74 | 14 | 570,36 |
| Válvula de equilibrado 1/2" | 126,42 | 13 | 1643,46 |
| Proveedor: Honeywell o similar | | | |
| Válvula de seguridad 1+1/2" | 68,12 | 4 | 272,48 |
| Proveedor: Watts o similar | | | |
| Válvula de retención 1+1/2" | 18,9 | 4 | 75,60 |
| Proveedor: York o similar | | | |
| Purgador de aire 1/2" | 14,82 | 4 | 59,28 |
| Proveedor: Watts o similar | | | |
| Líquido anticongelante | 180 | 3 | 540 |
| Proveedor: LKN Sistemas o similar | | | |
| Preparado a base de propilenglicol | | | |
| Previene la corrosión, no toxicidad | | | |
| Garrafa 25 litros | | | |
| Total sistema hidráulico | | | 12.285,16 |

4.4 Sistema de Control

| Concepto | Precio[€/ud] | Unidades | Importe [€] |
|--|--------------|----------|---------------|
| Centralita de control Sysclima o similar Características: Modelo RVS 35 plus 6 entradas para sensores PT100 3 salidas de relé mecánico | 273,42 | 1 | 273,42 |
| Sonda de temperatura GESA o similar Modelo PT100 | 63,3 | 2 | 126,60 |
| Termómetro Watts o similar Modelo Watts DN80 Medición: 0 °C a 140°C | 10,77 | 3 | 32,31 |
| Manómetro Watts o similar Modelo Watts DN63 Medición: 0 bat a 600 bar | 15,1 | 4 | 60,40 |
| Total sistema de control | | | 492,73 |

4.5 Presupuesto final

Tabla 21. Presupuesto final.

| | |
|------------------------|------------------|
| Sistema de captación | 38.209,6 |
| Sistema de acumulación | 28.132 |
| Sistema hidráulico | 12.285,16 |
| Sistema de control | 492,73 |
| TOTAL | 79.119,49 |

En la Figura 38 se muestra un desglose del presupuesto por cada uno de los sistemas. Se observa que la mayor parte del presupuesto corresponde al sistema de captación que supone un 48,3 % de la instalación.

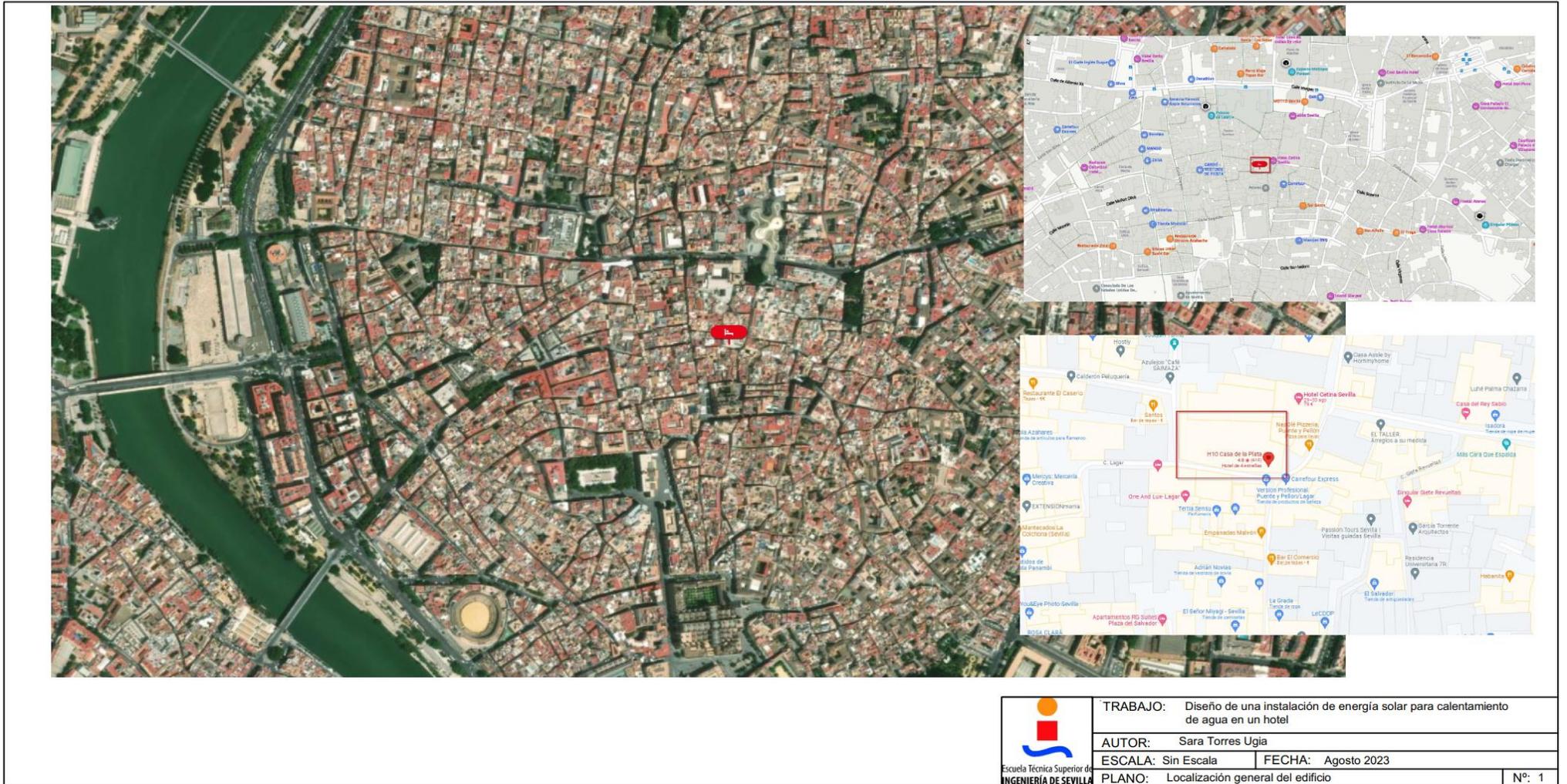


Figura. 38. Porcentaje del sistema sobre el presupuesto.

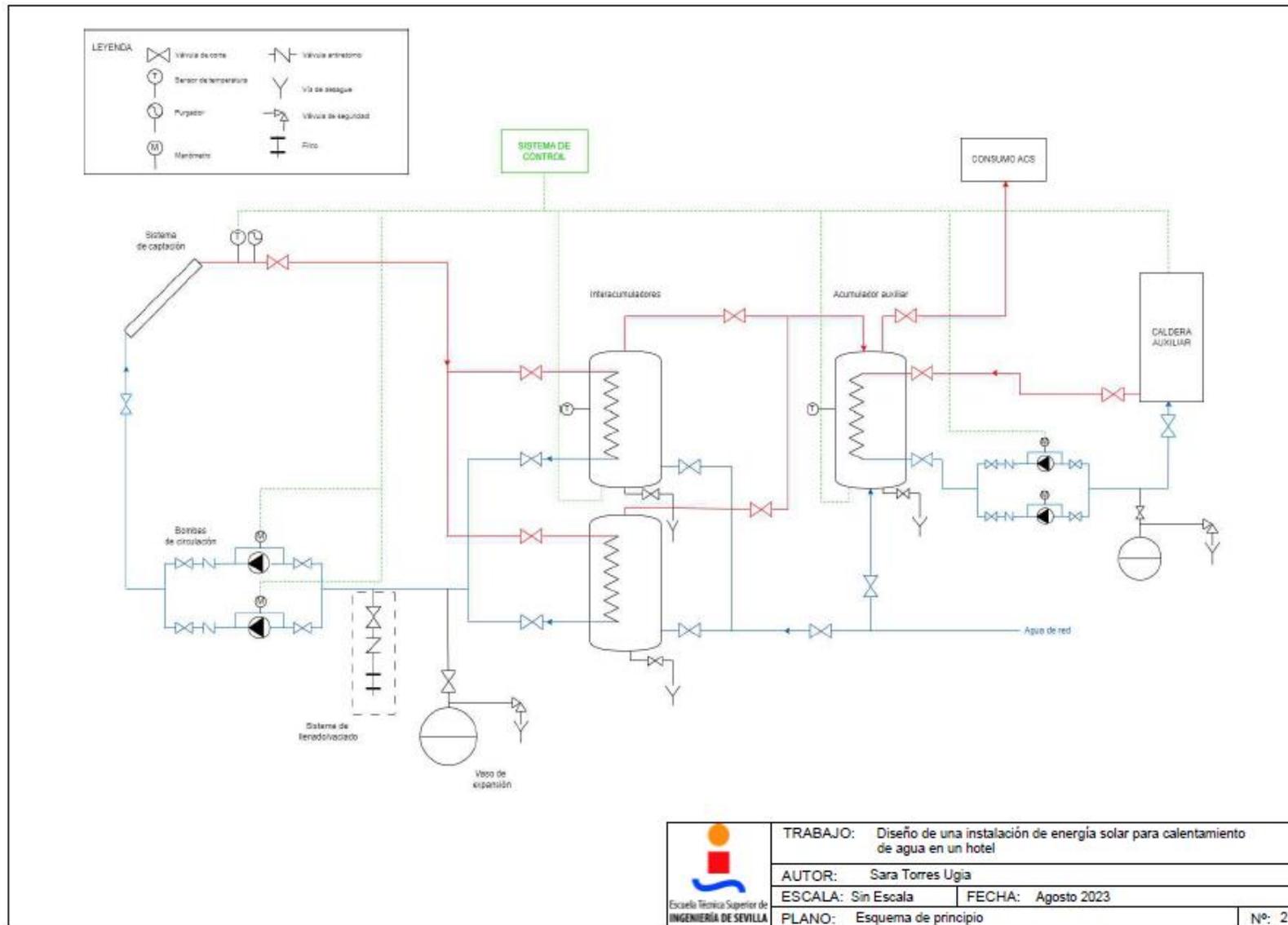
Si calculamos el ratio de precio de la instalación por metro de superficie instalada de captación, nos da que el ratio es de 831,43 € por metro cuadrado de superficie de captación.

5 PLANOS

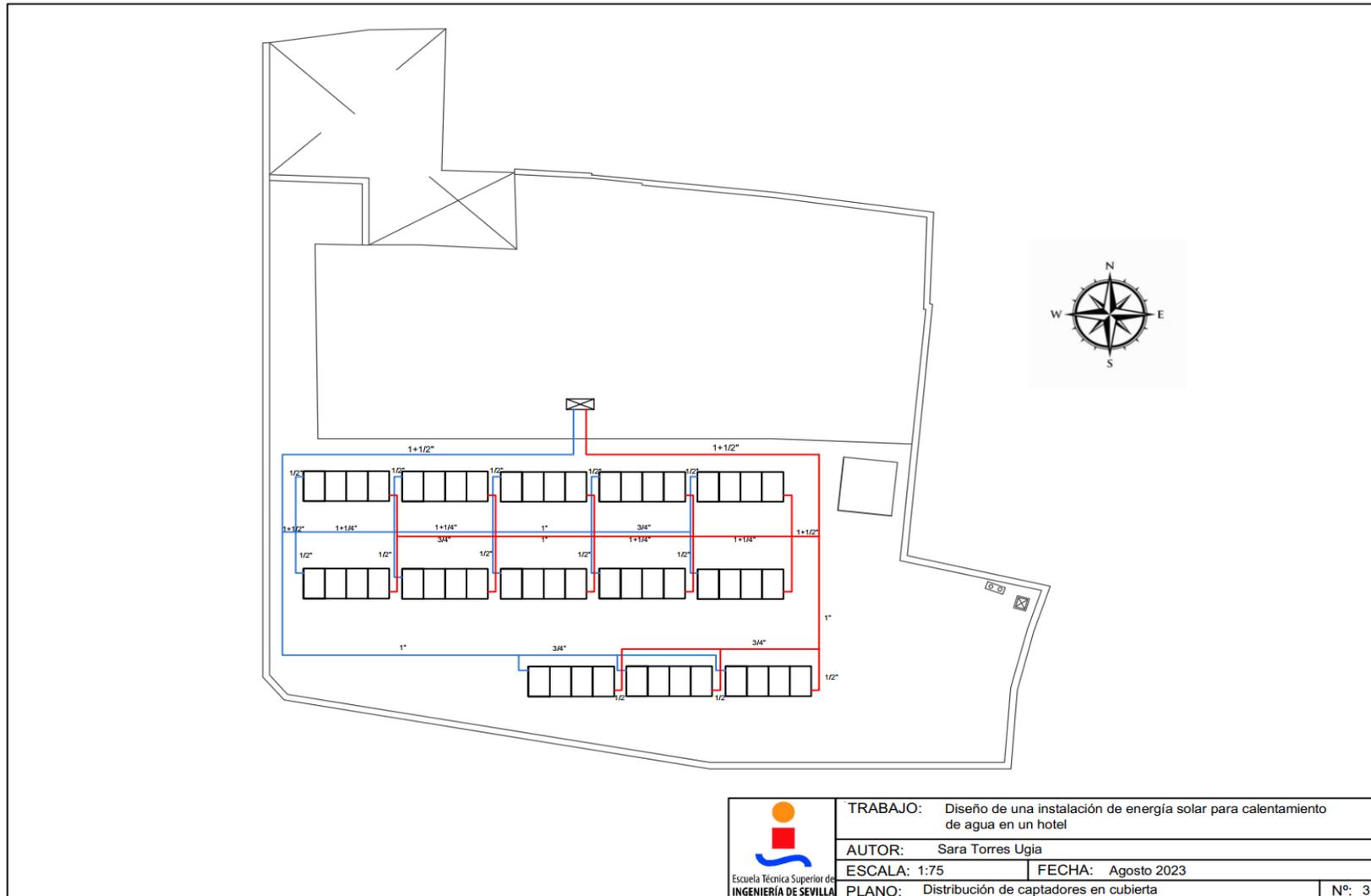
5.1 Localización general del edificio



5.2 Esquema de principio



5.3 Distribución de captadores en cubierta



5.4 Sala de máquinas

