

Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Diseño de una instalación de energía solar térmica  
para producción de agua caliente sanitaria en una  
residencia de ancianos

Autor: Miguel Ángel Montero Illangua

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Sevilla, 2024





Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **Diseño de una instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en una residencia de ancianos**

Autor:

Miguel Ángel Montero Illangua

Tutor:

José Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

Dpto. Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Grado: Diseño de una instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en una residencia de ancianos

Autor: Miguel Ángel Montero Illangua

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, 2024

El Secretario del Tribunal



# Agradecimientos

---

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por su apoyo incondicional durante todo este proceso. Su amor, comprensión y aliento han sido fundamentales para poder afrontar los momentos más difíciles y celebrar los logros alcanzados.

De igual manera, quiero agradecer a mis amigos por su amistad y compañerismo. Gracias por estar ahí, por sus palabras de ánimo y por compartir conmigo momentos de alegría y apoyo mutuo.

A mis profesores y compañeros, les agradezco profundamente las enseñanzas y el conocimiento compartido durante estos años. Sus valiosas aportaciones han sido esenciales para mi formación académica y personal.

De manera especial, quiero agradecer a mi tutor, el profesor Pepe Guerra, por su invaluable guía y apoyo durante la elaboración de este trabajo. Su paciencia, dedicación y sabiduría han sido fundamentales para la correcta ejecución del proyecto, permitiéndome superar obstáculos y alcanzar un resultado satisfactorio.

Gracias a todos por ser parte de este camino y por contribuir a que este sueño se hiciera realidad.

*Miguel Ángel Montero Illangua*

*Sevilla, 2024*



El trabajo se centra en el diseño de una instalación solar térmica para el suministro de agua caliente sanitaria (ACS) en una residencia de ancianos. El objetivo principal es analizar la viabilidad técnica y económica de esta solución renovable, evaluando su potencial para reducir el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para ello se ha realizado un estudio detallado del consumo de ACS de la residencia, considerando el número de residentes, sus hábitos de consumo y las características del edificio. También se han dimensionado los componentes del sistema solar térmico en función de la demanda energética estimada. Se ha considerado diferentes tecnologías de captadores solares y se ha seleccionado la opción más adecuada para las condiciones climáticas de la zona.

Para llevar a cabo el diseño se ha utilizado un software de simulación para modelar el comportamiento del sistema solar térmico a lo largo del año. La función principal de este software es verificar el cumplimiento de la exigencia HE4 del Código Técnico de la Edificación (CTE). Aparte también se asegurará el cumplimiento del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

Este trabajo se divide en cinco documentos básicos: la memoria descriptiva, donde se define la ubicación, objetivos, demanda de ACS, componentes y funcionamiento del sistema. La memoria de cálculo, donde se dimensionan los componentes, se estima el rendimiento y se evalúa la eficiencia energética. El pliego de condiciones, el cual establece las especificaciones técnicas, condiciones de ejecución, normativa aplicable y garantías de materiales y equipos. Las mediciones y presupuestos, donde se detalla la cantidad, precios unitarios y presupuesto total desglosado por partidas de materiales y equipos necesarios. Por último, los planos, entre los que se incluyen los planos de situación, cubierta, instalación y detalles de los componentes del sistema solar térmico.



# Abstract

---

The work focuses on the design of a solar thermal installation for the supply of domestic hot water (DHW) in an old people's home. The main objective is to analyse the technical and economic feasibility of this renewable solution, evaluating its potential to reduce energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions.

To this end, a detailed study of the DHW consumption of the residence has been carried out, considering the number of residents, their consumption habits and the characteristics of the building. The components of the solar thermal system were also sized according to the estimated energy demand. Different solar collector technologies have been considered and the most suitable option for the climatic conditions of the area has been selected.

To carry out the design, simulation software was used to model the behaviour of the solar thermal system throughout the year. The main function of this software is to verify compliance with the HE4 requirement of the Technical Building Code (CTE). Apart from this, it will also ensure compliance with the Regulation of Thermal Installations in Buildings (RITE).

This work is divided into five basic documents: the descriptive report, which defines the location, objectives, DHW demand, components and operation of the system. The calculation report, where the components are dimensioned, the performance is estimated and the energy efficiency is evaluated. The specifications, which establishes the technical specifications, execution conditions, applicable regulations and guarantees for materials and equipment. Measurements and budgets, which detail the quantity, unit prices and total budget broken down by items of materials and equipment required. Finally, the plans, which include the location, roof, installation and details of the components of the solar thermal system.



|   |              |
|---|--------------|
| <b>Agradecimientos</b>  | <b>vii</b>   |
| <b>Resumen</b>  | <b>ix</b>    |
| <b>Abstract</b>   | <b>xi</b>    |
| <b>Índice</b>   | <b>xiii</b>  |
| <b>Índice de Tablas</b>   | <b>xvi</b>   |
| <b>Índice de Figuras</b>  | <b>xviii</b> |
| <b>1. MEMORIA DESCRIPTIVA</b>                                     | <b>3</b>     |
| 1.1 <i>Objeto del proyecto</i>                                    | 4            |
| 1.2 <i>Instalación solar térmica</i>                              | 4            |
| 1.2.1 <i>Tipología de instalaciones de energía solar para ACS</i> | 4            |
| 1.2.2 <i>Sistemas de energía solar para ACS</i>                   | 7            |
| 1.2.3 <i>El captador solar y sus componentes</i>                  | 8            |
| 1.3 <i>Método de cálculo</i>                                      | 9            |
| 1.4 <i>Descripción del edificio</i>                               | 16           |
| 1.5 <i>Descripción de la instalación solar</i>                    | 18           |
| 1.6 <i>Características técnicas de los equipos</i>                | 20           |
| 1.6.1 <i>Captadores solares</i>                                   | 20           |
| 1.6.2 <i>Interacumulador solar</i>                                | 20           |
| 1.6.3 <i>Bomba de circulación</i>                                 | 22           |
| 1.6.4 <i>Vaso de expansión</i>                                    | 23           |
| 1.7 <i>Normativa</i>  | 24           |
| 1.8 <i>Bibliografía</i>   | 26           |
| <b>2. MEMORIA DE CÁLCULO</b>                                      | <b>28</b>    |
| 2.1 <i>Introducción</i>   | 29           |
| 2.2 <i>Datos de partida</i>                                       | 29           |
| 2.2.1 <i>Ubicación del edificio</i>                               | 29           |
| 2.2.2 <i>Datos climatológicos</i>                                 | 29           |
| 2.2.3 <i>Radiación solar sobre superficie inclinada</i>           | 32           |
| 2.2.4 <i>Datos de consumo</i>                                     | 38           |
| 2.3 <i>Cálculo de la demanda</i>                                  | 39           |
| 2.4 <i>Dimensionado básico</i>                                    | 39           |
| 2.4.1 <i>Sistema de captación</i>                                 | 40           |
| 2.4.2 <i>Volumen de acumulación</i>                               | 41           |
| 2.4.3 <i>Número de captadores en serie</i>                        | 42           |
| 2.5 <i>Disposición de captadores</i>                              | 43           |
| 2.6 <i>Dimensionado del interacumulador solar</i>                 | 46           |
| 2.7 <i>Dimensionado aerotermo</i>                                 | 47           |
| 2.8 <i>Dimensionado red de tuberías</i>                           | 47           |
| 2.9 <i>Dimensionado bomba de circulación</i>                      | 53           |
| 2.10 <i>Dimensionado vaso de expansión</i>                        | 56           |
| 2.11 <i>Dimensionado sistema de control</i>                       | 59           |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 2.12      | <i>Cálculos de espesores de aislamiento</i>  | 60        |
| 2.13      | <i>Selección de accesorios</i>               | 62        |
| <b>3.</b> | <b>PLIEGO DE CONDICIONES</b>                 | <b>64</b> |
| 3.1       | <i>Objeto</i>                                | 65        |
| 3.2       | <i>Normativa aplicable</i>                   | 65        |
| 3.3       | <i>Condiciones de materiales y equipos</i>   | 65        |
| 3.3.1     | Tuberías                                     | 65        |
| 3.3.2     | Accesorios                                   | 66        |
| 3.3.3     | Válvulas                                     | 69        |
| 3.3.4     | Aislamiento                                  | 70        |
| 3.3.5     | Vaso de expansión                            | 70        |
| 3.3.6     | Bombas                                       | 71        |
| 3.3.7     | Captadores solares                           | 71        |
| 3.3.8     | Sistema eléctrico y de control               | 72        |
| 3.3.9     | Aparatos de medida                           | 73        |
| 3.3.10    | Acumuladores                                 | 74        |
| 3.3.11    | Intercambiadores de calor                    | 75        |
| 3.4       | <i>Provisión del material</i>                | 76        |
| 3.5       | <i>Condiciones de montaje</i>                | 76        |
| 3.6       | <i>Pruebas, puesta en marcha y recepción</i> | 77        |
| 3.6.1     | General                                      | 77        |
| 3.6.2     | Pruebas parciales                            | 77        |
| 3.6.3     | Pruebas finales                              | 77        |
| 3.6.4     | Ajustes y equilibrado                        | 78        |
| 3.6.5     | Recepción                                    | 78        |
| 3.7       | <i>Mantenimiento</i>                         | 79        |
| <b>4.</b> | <b>MEDICIONES Y PRESUPUESTO</b>              | <b>81</b> |
| 4.1       | <i>Sistema de captación</i>                  | 82        |
| 4.2       | <i>Sistema de acumulación</i>                | 83        |
| 4.3       | <i>Sistema hidráulico</i>                    | 83        |
| 4.4       | <i>Sistema de control</i>                    | 85        |
| 4.5       | <i>Presupuesto total de la instalación</i>   | 86        |
| <b>5.</b> | <b>PLANOS</b>                                | <b>89</b> |



# ÍNDICE DE TABLAS

---

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Características de la bomba Wilo Yonos MAXO-Z 65/0,5-16 (21).                                     | 23 |
| Tabla 2. Valores característicos de Algeciras, Cádiz.  | 33 |
| Tabla 3. Declinación solar y ángulo horario.   | 34 |
| Tabla 4. Radiación global y extraterrestre sobre superficie horizontal e índice de claridad.               | 34 |
| Tabla 5. Radiación global horizontal, directa y difusa.  | 35 |
| Tabla 6. Relación radiación directa y global en superficie horizontal y radiación en superficie inclinada. | 37 |
| Tabla 7. Valores del consumo de ACS en l/día*persona (4).  | 38 |
| Tabla 8. Demanda de ACS y temperatura de red en cada mes.  | 39 |
| Tabla 9. Primera simulación variando el número de captadores Nc.   | 41 |
| Tabla 10. Segunda simulación variando el número de captadores Nc.  | 41 |
| Tabla 11. Simulación variando el volumen total entre el área de captación.                                 | 42 |
| Tabla 12. Simulación variando el número de captadores en serie Ns.   | 42 |
| Tabla 13. Dimensionado básico de la instalación.   | 43 |
| Tabla 14. Separación entre filas de captadores según el ciclo estacional.                                  | 46 |
| Tabla 15. Diámetros normalizados en función del caudal (8).  | 51 |
| Tabla 16. Pérdida de carga lineal por tramos.  | 52 |
| Tabla 17. Longitudes equivalentes de accesorios para tuberías de cobre (8).                                | 53 |
| Tabla 18. Pérdidas de carga total en tramos circuito primario.   | 54 |
| Tabla 19. Circuito más desfavorable de la instalación y desequilibrios.                                    | 55 |
| Tabla 20. Volumen en tuberías del circuito hidráulico.   | 57 |
| Tabla 21. Espesores mínimos de aislamiento que discurren por el interior de edificios (18).                | 60 |
| Tabla 22. Espesores mínimos de aislamiento que discurren por el exterior de edificios (18).                | 60 |
| Tabla 23. Aislamiento tuberías interior del edificio.  | 60 |
| Tabla 24. Aislamiento tuberías exterior del edificio.  | 61 |



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Sistema por termosifón directo (1).  | 4  |
| Figura 2. Sistema de circulación forzada con control diferencial (1).                                | 5  |
| Figura 3. Tipos de sistemas según la forma de acoplamiento (2).                                      | 6  |
| Figura 4. Tipos de sistemas de energía auxiliar (2).   | 7  |
| Figura 5. Sistemas de una instalación solar térmica (1).   | 7  |
| Figura 6. Captadores solares térmicos (1).   | 8  |
| Figura 7. Componentes de un captador solar plano (1).  | 8  |
| Figura 8. Pantalla “Localización” de CHEQ4 (13).   | 9  |
| Figura 9. Pantalla “Configuración” de CHEQ4 (13).  | 10 |
| Figura 10. Pantalla “Demanda” de CHEQ4 (13).   | 11 |
| Figura 11. Pantalla “Solar/Apoyo” de CHEQ4 (13).   | 12 |
| Figura 12. Pantalla “Otros parámetros” de CHEQ4 (13).  | 13 |
| Figura 13. Pantalla “Resultados” de CHEQ4 (13).  | 14 |
| Figura 14. Revisión de seguimiento de normativa (13).  | 14 |
| Figura 15. Certificado HE4 de CHEQ4 (13).  | 15 |
| Figura 16. Vista aérea del edificio.   | 16 |
| Figura 17. Vista aérea del terreno donde se ubica la residencia.                                     | 16 |
| Figura 18. Esquema de la volumetría del edificio.  | 17 |
| Figura 19. Esquema de principio de la instalación.   | 19 |
| Figura 20. Captador solar TERMICOL, S26 (20).  | 21 |
| Figura 21. Interacumulador solar LAPESA, MXV-4000-SSB (12).  | 21 |
| Figura 22. Características técnicas, conexiones y dimensiones del interacumulador seleccionado (12). | 22 |
| Figura 23. Pérdida de carga MXV-4000-SSB (12).   | 22 |
| Figura 24. Bomba Wilo, Yonos MAXO-Z 65/0,5-16 (21).  | 24 |
| Figura 25. Características del vaso Ibaiondo, 50 SMR-P (10).   | 24 |
| Figura 26. Mapa de zonas climáticas de España (17).  | 30 |
| Figura 27. Detalle del mapa anterior en la zona estudiada (17).                                      | 30 |
| Figura 28. Temperaturas medias y precipitaciones (14).   | 31 |
| Figura 29. Temperaturas máximas y días con heladas (14).   | 31 |
| Figura 30. Temperaturas mínimas absolutas anuales 1993-2023 (6).                                     | 32 |
| Figura 31. Comparación gráfica entre irradiación global sobre superficie horizontal e inclinada.     | 37 |
| Figura 32. Demanda de ACS en cada mes.   | 40 |
| Figura 33. Resultados de CHEQ4 de la solución final.   | 44 |
| Figura 34. Otros parámetros de la instalación  | 44 |
| Figura 35. Separación entre filas de captadores solares (11).  | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 36. Separación entre una fila de captadores y el pretil de la cubierta (11).              | 46 |
| Figura 37. Selección modelo Aerotermo (9).   | 47 |
| Figura 38. Información técnica del captador para la caída de presión (20).                       | 48 |
| Figura 39. Pérdida de carga del captador en función del caudal (20).                             | 49 |
| Figura 40. Pérdida de carga entre conexiones de entrada y salida del interacumulador solar (12). | 49 |
| Figura 41. Distribución de tuberías en cubierta.   | 50 |
| Figura 42. Curva característica H-Q de la bomba seleccionada (21).                               | 56 |
| Figura 43. Desglose del presupuesto total de la instalación por sistemas                         | 87 |





# **1. MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

## 1.1 Objeto del proyecto

El objeto principal de este proyecto es integrar una instalación de energía solar térmica de baja temperatura al sistema ya existente de producción de ACS en una residencia de ancianos con centro de día en Cádiz.

## 1.2 Instalación solar térmica

Una instalación solar térmica es un sistema cuya finalidad es captar la energía radiante del Sol para aprovecharla calentando agua para uso doméstico o industrial.

### 1.2.1 Tipología de instalaciones de energía solar para ACS

Las instalaciones solares térmicas se pueden clasificar en según los siguientes criterios: el sistema de circulación del fluido, el sistema de intercambio utilizado para transferir el calor, la forma de acoplamiento de los principales componentes, captador y acumulador y, por último, el sistema de energía auxiliar que complementa a la energía solar cuando esta no es suficiente.

- **Sistema de circulación:**

Se distingue entre instalaciones por termosifón y forzadas.

- **Sistemas por circulación natural o termosifón:** en los sistemas por termosifón la circulación del fluido en el circuito primario se realiza por convección natural. Esto se debe a la diferencia de densidad entre los fluidos de trabajo caliente y frío.

El uso de dichos sistemas es más conveniente en instalaciones individuales. Suelen ser sistemas prefabricados y su uso habitual engloba generalmente a instalaciones solares pequeñas, donde hay menos componentes.

Estos sistemas ofrecen una alternativa atractiva por su simplicidad, eficiencia y economía. Sin embargo, es importante considerar las limitaciones en el control de la temperatura y la necesidad de un diseño y montaje cuidadoso para garantizar su correcto funcionamiento.

A continuación, se explica en la Figura 1 el funcionamiento de un sistema por termosifón directo:

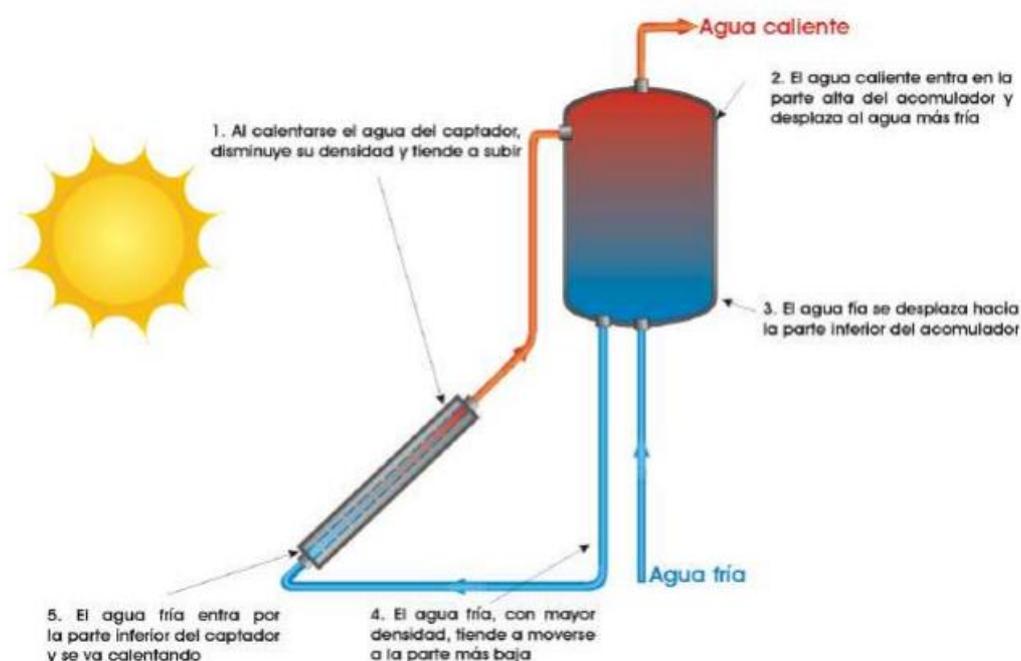


Figura 1. Sistema por termosifón directo (1).

- **Sistemas por circulación forzada:** a diferencia de los sistemas por termosifón, en los sistemas por circulación forzada la circulación del fluido se realiza por medio de una bomba, la cual, es la encargada de establecer un caudal y superar las pérdidas de carga originadas en el circuito.

La bomba de circulación se activa por medio de un control diferencial de temperaturas cuando exista un incremento de energía térmica superior al máximo soportado por los materiales y componentes que conforman el circuito. Esto se realiza mediante dos sondas comparativas, una a la salida de los captadores y otra en la parte inferior del acumulador.

Las instalaciones de circulación forzada ofrecen un mayor control, seguridad y estética, pero tienen un costo inicial más elevado y un consumo energético adicional.

En la Figura 2 se representa un sistema de circulación forzada con control diferencial:

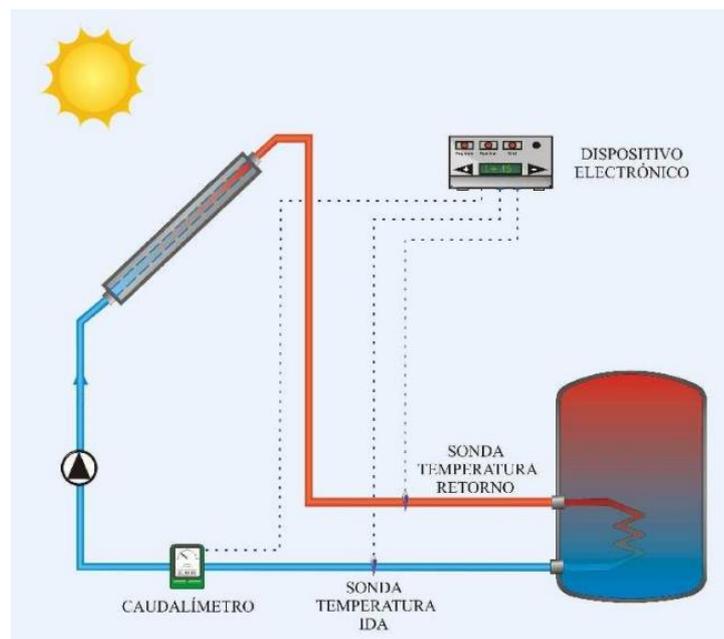


Figura 2. Sistema de circulación forzada con control diferencial (1).

- **Sistema de intercambio**

Según el sistema de intercambio que presente la instalación se denotan los siguientes tipos:

- **Sistemas directos:** en estos sistemas la propia agua de consumo es el fluido de trabajo que utilizan los captadores por lo que la transferencia de calor es directa.

- **Sistemas indirectos:** el fluido de trabajo utilizado en los captadores solares se encuentra en un circuito independiente del utilizado en consumo haciéndose uso de un intercambiador.

- **Forma de acoplamiento**

- **Sistemas compactos:** reúnen todos los componentes, como captador solar, acumulador y el resto de los accesorios en un único bloque listo para instalar, pudiéndolos distinguir físicamente. Su principal ventaja radica en la simplicidad y rapidez de instalación, ideales para terrazas horizontales. Sin embargo, la integración en tejados inclinados puede ser más compleja debido a la necesidad de un análisis arquitectónico o posibles incompatibilidades con la estructura del tejado.

- **Sistemas integrados:** se caracterizan por la fusión de los componentes de captación y acumulación en un único elemento, lo que imposibilita su distinción físicamente. Esta configuración ofrece una estética minimalista y una mayor facilidad de instalación, especialmente en espacios reducidos o con limitaciones de diseño.

- **Sistemas partidos:** a diferencia de los sistemas compactos e integrados, los sistemas partidos presentan una separación física entre el sistema de captación y el de acumulación. Esta configuración permite una mayor libertad de diseño, ya que los captadores solares pueden ubicarse en tejados o azoteas, mientras que los acumuladores se instalan en zonas menos visibles. Sin embargo, la instalación puede ser más compleja y requerir mayor espacio debido a la separación física de los componentes.

En la Figura 3 se muestran los tres tipos de sistemas según la forma de acoplamiento de los principales componentes de la instalación:

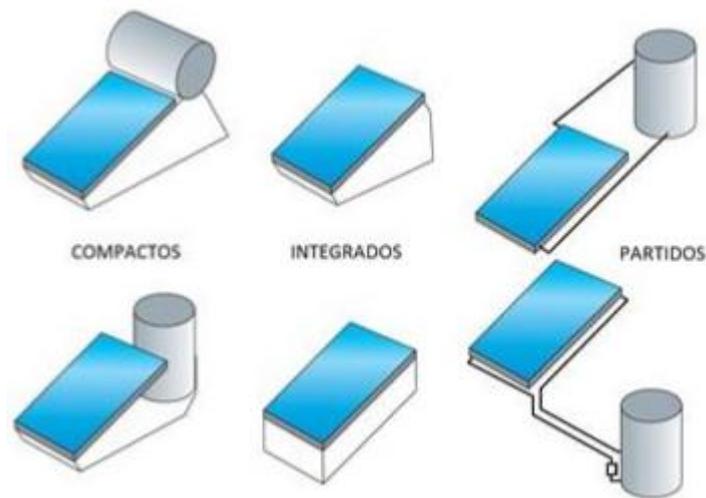


Figura 3. Tipos de sistemas según la forma de acoplamiento (2).

- **Sistema de energía auxiliar:**

Según la forma en la que se realiza el aporte de energía complementaria se pueden distinguir entre sistemas instantáneos (también se les conoce como en línea) o con acumulador auxiliar.

- **Sistemas instantáneos:** calientan el agua directamente, sin necesidad de un acumulador adicional. El sistema se activa automáticamente cuando la energía solar no es suficiente para alcanzar la temperatura deseada del agua. En ese momento, una fuente de calor auxiliar, como gas natural, electricidad o gasóleo, se enciende y calienta el agua directamente en el circuito primario. Ocupan menos espacio, requieren de una menor inversión inicial y tienen menos pérdidas.

- **Sistemas con acumulador auxiliar:** almacenan el agua caliente que proviene del acumulador solar en un acumulador adicional y la calientan con un sistema auxiliar (caldera eléctrica, gas, etc). Este sistema funciona de forma similar al instantáneo, pero en este caso, el agua caliente se almacena en un tanque adicional y se utiliza cuando se necesita, incluso si no hay sol. Como inconvenientes, requiere mayor espacio y una mayor inversión inicial. Además, tiene más pérdidas debido al almacenamiento.

- **Sistemas incorporado:** este sistema combina la energía solar térmica con una caldera de alta eficiencia en un solo equipo. La caldera funciona como sistema auxiliar, pero solo se activa cuando la energía solar no es suficiente. El sistema funciona de forma similar al sistema con acumulador auxiliar, pero en este caso, el sistema de energía auxiliar está integrado en el acumulador solar. Esto permite un diseño más compacto y estético, consiguiendo una alta eficiencia de la instalación si se utiliza adecuadamente. Sin embargo, tienen un costo elevado.

En la Figura 4 se representan los tres tipos de sistemas de energía auxiliar anteriormente expuestos, que sirven de apoyo a la energía solar y garantizan el suministro de agua caliente sanitaria (ACS) incluso cuando la radiación solar no es suficiente.

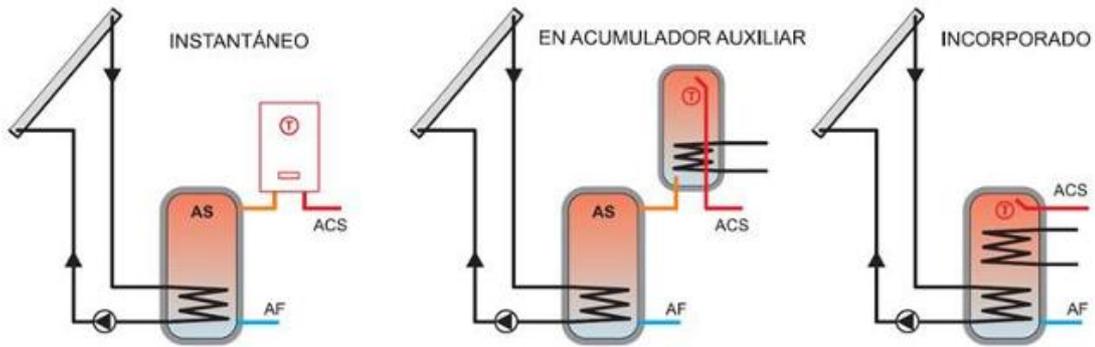


Figura 4. Tipos de sistemas de energía auxiliar (2).

### 1.2.2 Sistemas de energía solar para ACS

Una instalación como la mencionada anteriormente consta de los siguientes sistemas (Figura 5):

- **Sistema de captación:** transforma la radiación solar en energía útil calentando un fluido que circula por su interior.
- **Sistema de acumulación:** almacena la energía térmica producida para utilizarla cuando se necesite. Esto permite disponer de agua caliente incluso en días nublados.
- **Sistema de intercambio:** permite transferir el calor del fluido calentado en los captadores a otro fluido que lo utilizará para su fin específico.
- **Sistema de transporte o de circulación:** formado por tuberías y bombas, transporta la energía térmica a lo largo de la instalación
- **Sistema de apoyo o auxiliar:** aporta energía adicional cuando la radiación solar es insuficiente o la demanda de energía es alta.
- **Sistema de control:** monitoriza y regula el funcionamiento de toda la instalación garantizando su eficiencia y seguridad.

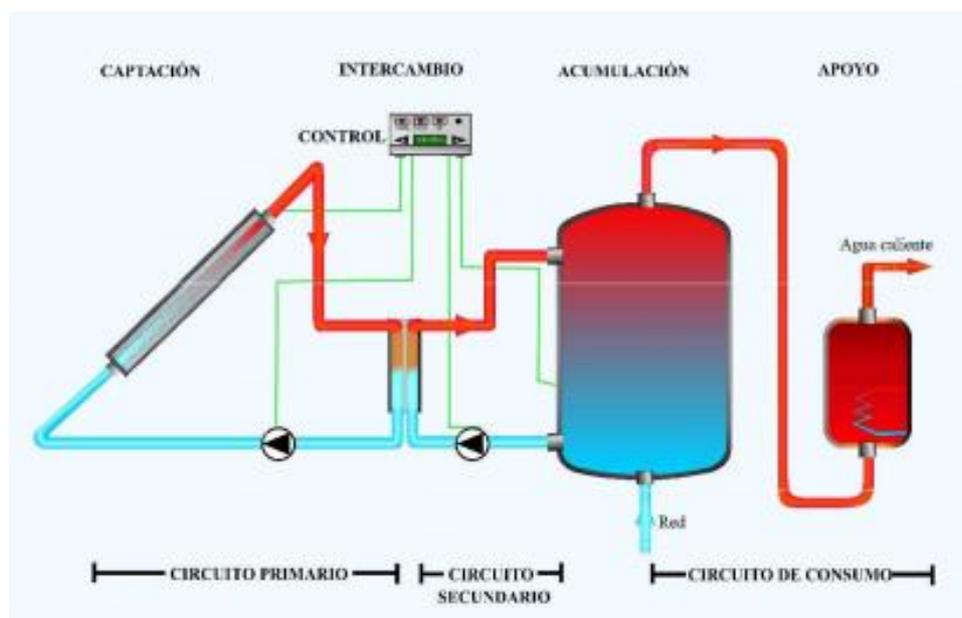


Figura 5. Sistemas de una instalación solar térmica (1).

### 1.2.3 El captador solar y sus componentes

El captador solar térmico es el componente principal de las instalaciones solares. Su diseño le permite absorber la mayor cantidad de radiación solar posible transfiriéndola a un fluido que circula por su interior. En la Figura 6 se observa una fila de captadores solares.



Figura 6. Captadores solares térmicos (1).

Los principales componentes del captador solar térmicos son los siguientes:

- **Cubierta:** fabricada en vidrio resistente, la cubierta permite que la luz del Sol penetre en el captador, actuando como una ventana transparente. A diferencia de las cubiertas plásticas, el vidrio ofrece mayor durabilidad y resistencia a la intemperie.
- **Absorbedor:** formado por una lámina metálica o varias aletas adheridas, generalmente de cobre, el absorbedor capta la energía del Sol y la transforma en calor. Su superficie oscura, a menudo con pintura negra y otros tratamientos, maximiza la absorción de la radiación solar. El diseño más común es el absorbedor de parrilla, compuesto por tuberías paralelas que se unen a los conductos de distribución, facilitando la transferencia del calor al fluido.
- **Aislamiento:** ubicado en los laterales y en el fondo de la carcasa, el aislamiento evita que el calor se escape del captador. Materiales como la lana mineral o la fibra de vidrio se emplean para crear una barrera térmica eficiente, permitiendo que el calor se conserve para su uso posterior.
- **Carcasa o caja:** fabricada en aluminio o acero galvanizado, la carcasa protege los componentes internos del captador de la intemperie y de posibles daños. Su marco resistente le da al captador la forma y la estructura necesaria para funcionar correctamente.

En la Figura 7 se muestran los componentes del captador solar plano citados anteriormente.

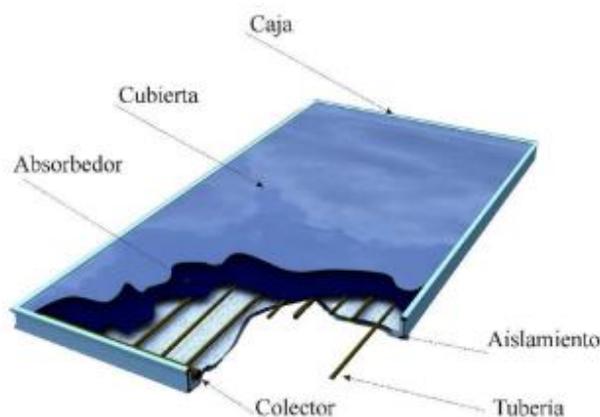


Figura 7. Componentes de un captador solar plano (1).

### 1.3 Método de cálculo

En este proyecto se abordará el estudio y aplicación del método CHEQ4 para el cálculo de la demanda de fracción solar en un sistema de energía solar térmica.

CHEQ4 es un programa informático desarrollado por Aiguasol en colaboración con el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) y ASIT (Asociación Solar de la Industria Térmica). Su objetivo es validar si una instalación solar térmica cumple con la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (ACS) exigida por la sección HE4 del Código Técnico de la Edificación (CTE). No es una herramienta de diseño, solo verifica el cumplimiento de la normativa.

Utilizar CHEQ4 es una experiencia ágil e intuitiva. Sus cinco pestañas principales te guían a través de la introducción de datos. Tiene una sexta pestaña donde se obtienen los resultados de la evaluación, permitiendo verificar el cumplimiento de la normativa.

Pasamos a analizar cada una de las pestañas que aparecen en el programa:

- **Localización**

En esta pestaña solo se necesita indicar la provincia, localidad y altura de la instalación, CHEQ4 se encarga de calcular los siguientes parámetros:

- Irradiación solar media mensual: permite conocer la cantidad de energía solar disponible en la zona.
- Temperatura media del agua de red: ayuda a determinar la eficiencia del sistema
- Temperatura ambiente media mensual: influye en el rendimiento del sistema solar térmico.
- Zona climática: indica la normativa específica que debe cumplir la instalación.
- Latitud: dato importante para el cálculo de la radiación solar.

En la Figura 8 se visualiza la pestaña de localización del software utilizado.



Figura 8. Pantalla “Localización” de CHEQ4 (13).

- **Configuración**

CHEQ4 se basa en la metodología MetaSol, especialmente diseñada para predecir el comportamiento de las configuraciones más comunes en España. Dicha metodología utiliza dos curvas por cada tipo de configuración para predecir las ganancias y pérdidas del sistema. De esta forma, CHEQ4 ofrece una herramienta precisa y versátil para el sistema solar térmico que se precise, brindando una gran confianza en los resultados. En la Figura 9 se visualiza la pestaña de configuración del software utilizado.

Las configuraciones de las que se puede hacer uso en CHEQ4 son las siguientes:

- 1) Consumo único
  - Instalación con sistema prefabricado.
  - Instalación con interacumulador.
  - Instalación con intercambiador independiente.
  - Instalación con intercambiador y piscina cubierta.
- 2) Consumo múltiple
  - Instalación con todo centralizado.
  - Instalación con apoyo distribuido.
  - Instalación con acumulación distribuida.
  - Instalación con intercambio distribuido.



Figura 9. Pantalla “Configuración” de CHEQ4 (13).

- **Demanda**

En esta pestaña se define el uso de la instalación solar térmica y CHEQ4 calcula automáticamente la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) siguiendo la normativa HE4.

Hay que especificar si la instalación está diseñada para un único consumo ya que, si es así, el programa calcula la demanda basándose en el número de personas y dormitorios, considerando un consumo de 22 litros por persona por día a 60°C. En cambio, si la instalación se diseña para consumo múltiple se

debe especificar el número de viviendas y dormitorios de cada una. Además, el programa te permite añadir demandas adicionales que no se ajusten a las opciones predeterminadas.

CHEQ4 también determina la contribución solar mínima exigida por el Código Técnico de la Edificación, considerando el sistema de apoyo que se selecciona posteriormente. En la Figura 10 se visualiza la pestaña de demanda del software utilizado.

Figura 10. Pantalla “Demanda” de CHEQ4 (13).

- **Solar/Apoyo**

En esta pestaña se define los componentes específicos del sistema solar térmico:

- Captadores solares

Primero, se elige el modelo exacto del captador que se usará. CHEQ4 solo incluye captadores homologados y actualizados del mercado. También se indica la empresa comercializadora a la que pertenece dicho modelo de captador.

Segundo, se configuran los parámetros del campo solar como son el número de captadores que va a tener la instalación, el número de captadores en serie, la orientación de los captadores o la inclinación de estos.

- Circuito primario y secundario (si existe)

CHEQ4 calcula por defecto el valor del caudal del circuito primario en función de la información proporcionada de los captadores solares. Se deben dar datos como el porcentaje de anticongelante en el fluido, longitud de los circuitos y espesor y tipo de aislante, siempre cumpliendo con lo establecido en la normativa.

- Sistema de apoyo (opcional)

Se debe elegir el tipo de sistema de apoyo que se usará entre los que aparece la caldera convencional, la caldera de condensación, la caldera de baja temperatura, la caldera de biomasa y la caldera eléctrica.

También habrá que seleccionar el tipo de combustible que utilizará la caldera. En la Figura 11 se visualiza la pestaña solar/apoyo del software utilizado.

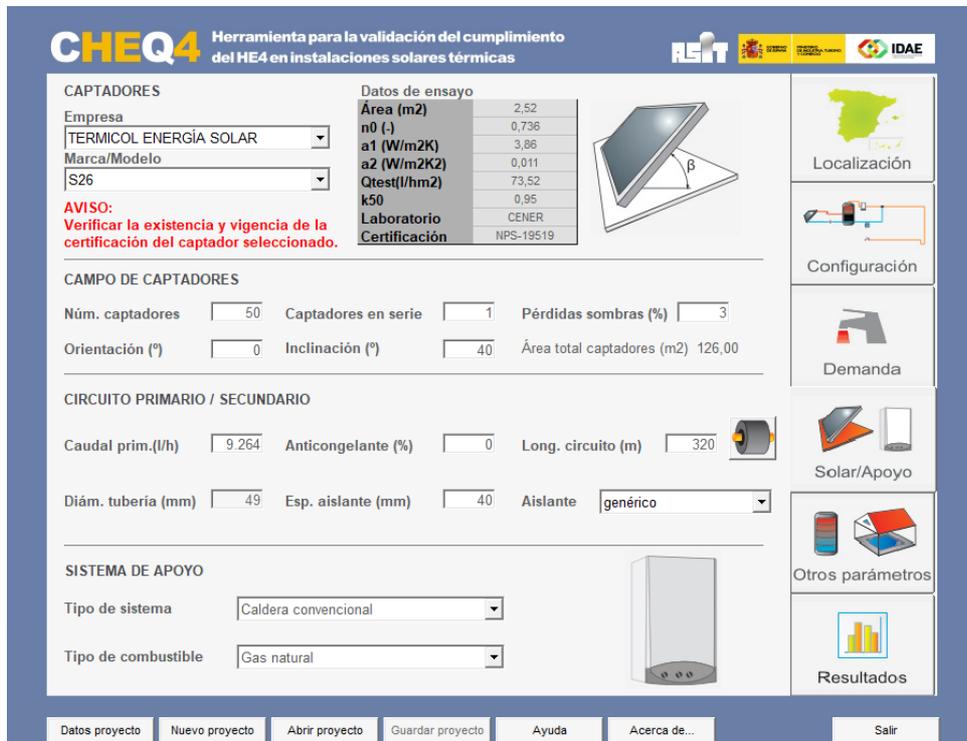


Figura 11. Pantalla “Solar/Apoyo” de CHEQ4 (13).

- **Otros parámetros**

En esta pestaña se completa la caracterización de la instalación solar térmica definiendo:

- Acumulación

Se debe indicar el volumen total del tanque en el caso de que la acumulación sea centralizada o el volumen de cada subestación y su tipo de aislante en el caso de que la acumulación sea distribuida.

- Distribución

Se describe las características del circuito que distribuye el agua caliente sanitaria, como puede ser el tipo de tubería, longitud total del circuito, temperatura del agua de impulsión, así como, espesor y tipo de aislante. Si existen subestaciones de distribución habría que especificar el tipo de subestación, la capacidad de almacenamiento y la potencia de la resistencia eléctrica (si existe).

- Piscina (opcional)

Si el sistema también calienta una piscina, habría que completar parámetros como la profundidad de la misma, el tiempo de apertura diario, la superficie de la lámina de agua, la humedad relativa del ambiente, la temperatura ambiente, la temperatura deseada del agua de la piscina, la renovación diaria del agua y el ratio de ocupación máximo de la piscina. En la Figura 12 se visualiza la pestaña de otros parámetros del software utilizado.

- **Resultados**

En esta pestaña se muestra una evaluación completa del rendimiento anual del proyecto.

En cuanto a la eficiencia solar se muestra la fracción solar (porcentaje de energía aportada por el sol), la demanda neta (demanda energética sin considerar pérdidas) y la demanda bruta (demanda energética real con pérdidas).

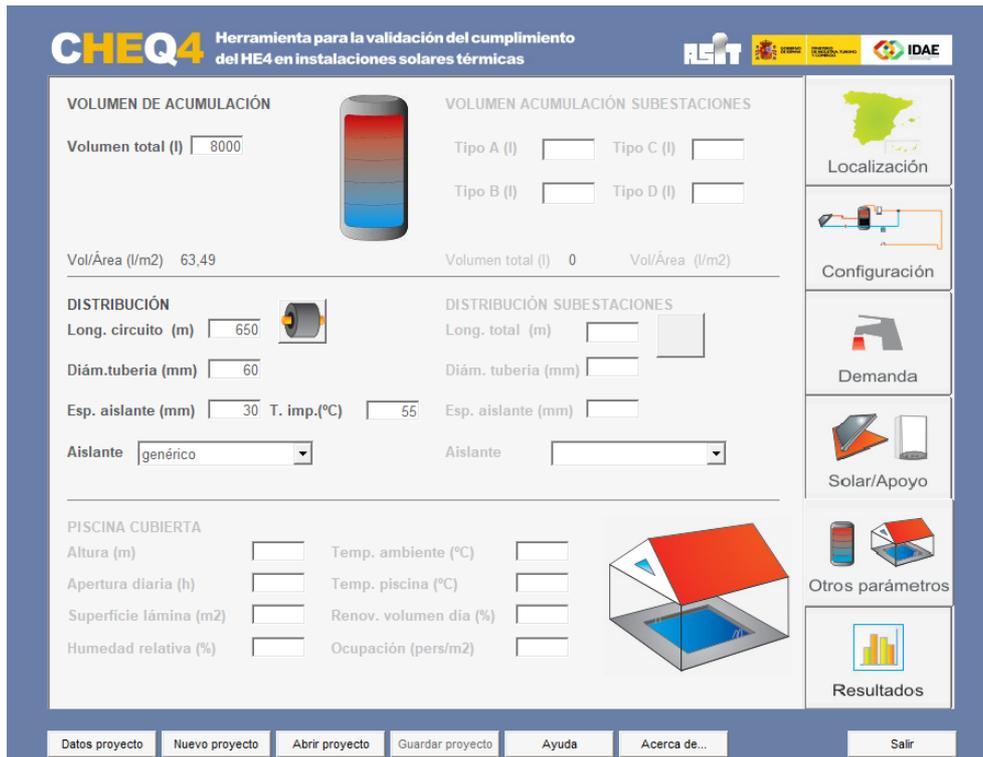


Figura 12. Pantalla “Otros parámetros” de CHEQ4 (13).

En relación con el aporte energético aparece la aportación solar al sistema (energía solar utilizada) y el consumo de energía primaria auxiliar (energía adicional necesaria).

Respecto al impacto ambiental aparece la reducción de emisiones de CO2 (beneficio ambiental del sistema).

Además de todo lo anterior, en la pestaña de resultados también se adjunta unos gráficos mensuales en los que se puede visualizar la evolución de la fracción solar, la demanda bruta, el aporte solar y el consumo auxiliar a lo largo del año. En la Figura 13 se visualiza la pestaña de resultados del software utilizado.

- **Revisión de seguimiento de normativa (HE4)**

Adicionalmente a las anteriores pantallas nos podemos encontrar con una ventana de avisos y recomendaciones.

CHEQ4 verifica el cumplimiento de los cálculos realizados respecto a la contribución solar, diseño y dimensionado que figuran en el HE4 del Código Técnico de la Edificación.

Los criterios de dimensionamiento para ACS de los que CHEQ4 se encarga de que se cumplan son los que se describen a continuación:

- Superficie de captadores

Para garantizar un funcionamiento óptimo, la relación entre el volumen de acumulación solar (V) y la superficie total de los captadores (A) debe cumplir con la siguiente condición:  $50 < V/A < 180$ .

- Pérdidas por orientación, inclinación y sombra:

Las pérdidas por desorientación, inclinación y sombra no deben superar los límites establecidos en la normativa HE4.

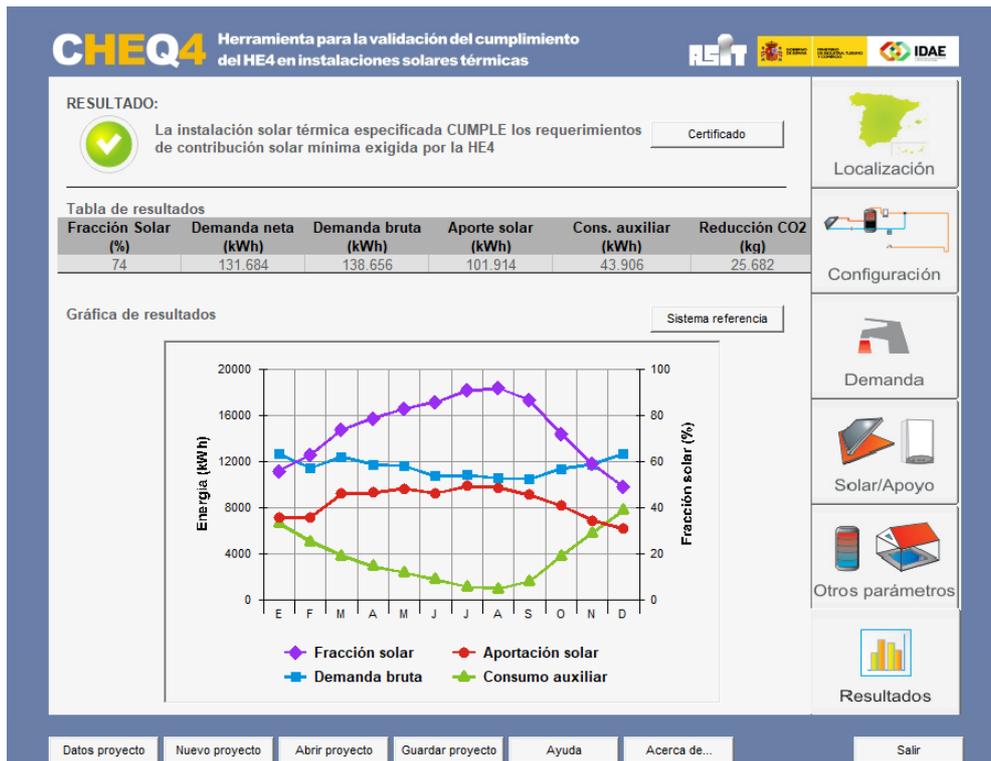


Figura 13. Pantalla “Resultados” de CHEQ4 (13).

- Exceso de aporte solar:

En caso de que la contribución solar real supere el 110% de la demanda energética en un mes, o el 100% en más de tres meses consecutivos, se deben tomar medidas de protección como las que se detallan en la Figura 14.

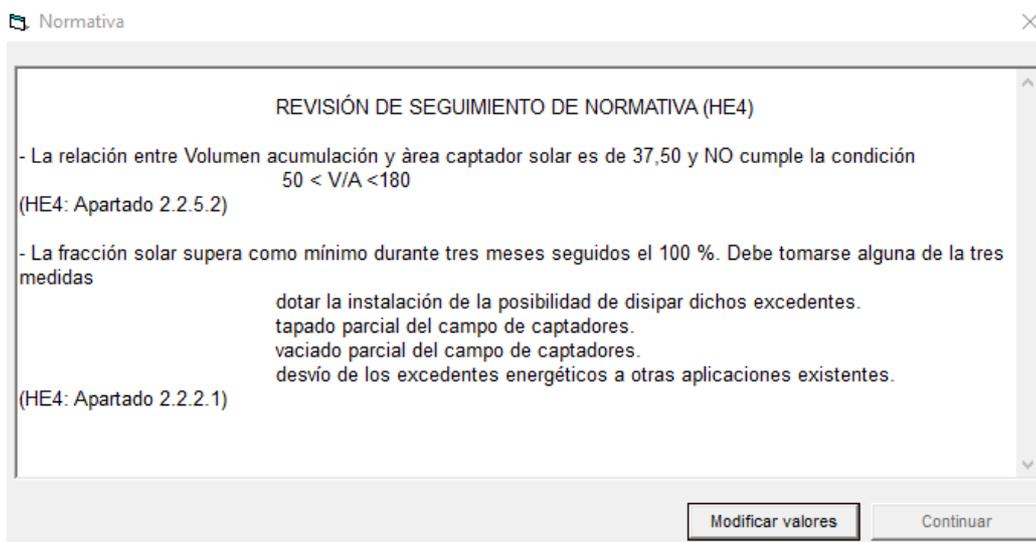


Figura 14. Revisión de seguimiento de normativa (13).

- **Certificado HE4**

Si la instalación cumple con la contribución solar mínima exigida por el HE4, CHEQ4 te ofrece un certificado con los datos del proyecto y resultados obtenidos. De esta manera, dicho certificado brinda una garantía de eficiencia energética, facilita la tramitación administrativa del proyecto y demuestra el cumplimiento de la normativa ante las autoridades pertinentes.

El certificado proporciona información del proyecto, como la ubicación, el tipo de instalación, las características del sistema solar térmico y el sistema de apoyo. También da información de los resultados del análisis, como la demanda de ACS, la contribución solar mínima exigida, la contribución solar aportada por la instalación y el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación, entre otros parámetros. En la Figura 15 se adjunta el certificado que se genera.

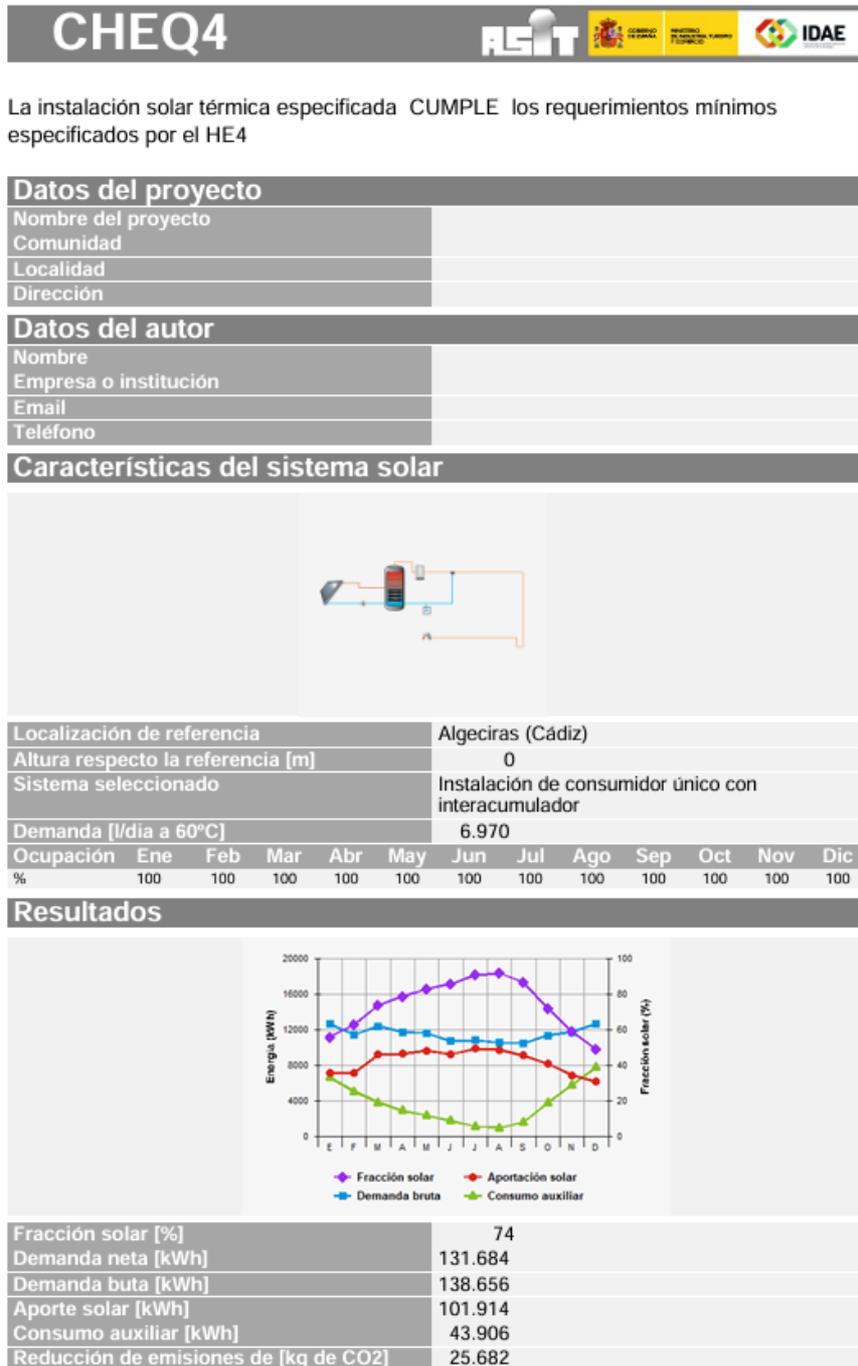


Figura 15. Certificado HE4 de CHEQ4 (13).

## 1.4 Descripción del edificio

El edificio es una residencia de ancianos y centro de día, se encuentra en la barriada del Rinconcillo de Algeciras, ocupando una parcela de 5415 m<sup>2</sup>. Cuenta con una capacidad para 170 personas.

La orientación ideal para los captadores solares según la localización en la que se encuentra el edificio es hacia el sur, ya que, de esta forma, los captadores reciben la mayor cantidad de radiación solar directa durante el día.

Como veremos un poco más adelante, el edificio se divide en tres partes bien diferenciadas: zona residencial, zona sanitaria y centro de día. La superficie disponible en cada parte para ubicar el campo de captadores solares es de 1735,2 m<sup>2</sup> en la zona residencial, 879,2 m<sup>2</sup> en la zona sanitaria y 785 m<sup>2</sup> en el centro de día. Podría parecer que ubicar los captadores solares sobre la zona residencial sería la mejor opción, pero en dicha zona hay cuatro ventanales que dificultan la correcta organización de los captadores, así como uniones y separaciones entre ellos. Otra opción sería instalarlos sobre la zona sanitaria, pero al estar a menor altura respecto a las otras dos, las posibilidades de pérdidas por sombras son muy altas, y con esto, la caída drástica del rendimiento de la instalación. Tras las dos puntualizaciones comentadas anteriormente, se determina que la ubicación idónea para el sistema de captadores solares es en la cubierta del centro de día. Esto se puede ver a simple vista en la Figura 16, donde se observa la cubierta del edificio al completo. Y en la Figura 17 se puede apreciar una vista aérea del terreno donde está ubicada la residencia de ancianos.



Figura 16. Vista aérea del edificio.



Figura 17. Vista aérea del terreno donde se ubica la residencia.

El edificio consta de cuatro plantas: planta baja, planta primera, planta segunda y planta sótano. También hay que destacar que se divide en tres zonas principales: zona residencial, zona sanitaria y centro de día. A continuación, pasamos a describir brevemente cada una de ellas.

- **Zona residencial**

La zona residencial se desarrolla en las cuatro plantas: planta baja, primera, segunda y sótano. En la planta baja se encuentran los apartamentos dobles para ancianos totalmente capacitados que desean tener las mismas comodidades que en su propia casa. La planta primera y segunda albergan habitaciones para personas válidas y no válidas, con diferentes opciones de alojamiento individual o doble. La planta sótano está destinada a aparcamiento, capilla, velatorio, lavandería y cuartos de instalaciones.

- **Zona sanitaria**

La zona sanitaria abarca dos plantas: planta baja y primera. En la planta baja se ubican la sala de cura, el médico de guardia, el almacén de medicamentos, la piscina de hidroterapia, la peluquería, la podología y la sala polivalente. La planta primera alberga la consulta de psicología, el almacén de alimentos, la enfermería, el taller de terapia ocupacional, la sala de masajes y una pequeña zona de estar mirador.

- **Centro de día**

El centro de día engloba las cuatro plantas. La planta baja cuenta con la administración, el salón de actos, la biblioteca, los baños y la cafetería. En la planta primera se encuentran la sala de estar, la sala de baile, el gimnasio, las salas de electroterapia y fisioterapia, y el comedor. La planta segunda alberga la sala de juegos, el servicio de orientación jurídica, los talleres de manualidades, pintura, escultura, fotografía y música, y el aula de informática. El sótano está destinado a aparcamiento e instalaciones.

El sistema convencional de producción de agua caliente sanitaria (ACS) se encuentra en la sala de máquinas, ubicada en el sótano de la zona residencial. Dicho sistema consta de una caldera de gas natural con una potencia de 125 kW. El sistema de almacenamiento está constituido por un acumulador de 5000 litros con un serpentín en el interior mediante el que se realiza la transferencia de calor.

En la Figura 18 se aprecia el esquema de volumetría de la residencia haciendo distinción de cada una de las partes en las que se divide el edificio.

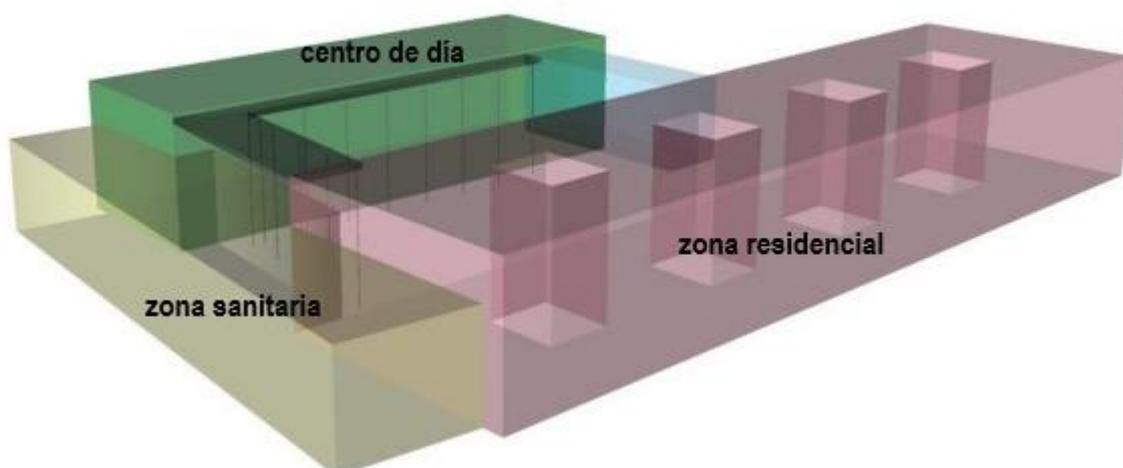


Figura 18. Esquema de la volumetría del edificio.

## 1.5 Descripción de la instalación solar

En la instalación solar térmica se distinguen dos circuitos principales (primario y secundario) que se encargan de obtener agua caliente sanitaria a la temperatura deseada para su posterior uso en los diferentes puntos de consumo del edificio.

En el circuito primario, el agua, como fluido caloportador, es impulsada por una bomba hacia los captadores solares planos, dispuestos en 10 filas de 5 captadores conectados en paralelo. Esto hace un total de 50 captadores distribuidos en la cubierta ocupando una superficie total de captación de 126 m<sup>2</sup> y configurados con retorno invertido para garantizar su equilibrado. Los captadores solares están orientados al sur, ya que es la orientación óptima y la inclinación de estos será de 40°.

Dentro de estos captadores, el agua absorbe la energía solar. Una vez se ha calentado, el agua regresa a través de las tuberías hacia los dos depósitos de almacenamiento. En el interior de estos depósitos, el agua cede su calor al agua del circuito secundario a través de un serpentín, produciéndose un intercambio de calor. Tras este intercambio, el agua del circuito primario retoma su camino hacia los captadores solares.

Para garantizar la seguridad del sistema, un vaso de expansión se encarga de absorber los cambios de volumen del agua durante su recorrido.

En el circuito secundario, el agua fría proveniente de la red ingresa a los dos depósitos de almacenamiento. Allí, se calienta al absorber el calor del agua del circuito primario. Esta agua caliente se dirige a un tercer depósito adicional, donde se asegura que alcance la temperatura deseada.

Si la temperatura no es suficiente, una caldera de gas natural, como apoyo adicional, aporta el calor necesario para garantizar el confort deseado.

La bomba y la caldera auxiliar del circuito secundario se activan cuando la temperatura del depósito desciende por debajo de 50 °C. Esta medida cumple con las normativas de seguridad establecidas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas En Edificios (RITE). Ambos componentes se desactivan cuando la temperatura alcanza los 60 °C.

El sistema dispone de válvulas de corte en puntos clave para controlar y mantener la instalación: entrada y salida de cada fila de captadores y de cada componente (bombas, acumuladores y sistema auxiliar). Se instalan purgadores manuales en cada fila de captadores para eliminar el posible aire del circuito. También se instalan sistemas de vaciado en cada depósito de la instalación y un sistema de llenado/vaciado en la aspiración de la bomba del circuito primario. Adicionalmente, también se instalan válvulas de seguridad para evitar sobrepresiones y válvulas de retención, para evitar el flujo inverso del fluido, así como, una válvula de equilibrado en cada fila de captadores que componen el circuito de captación, para mantener equilibrado el circuito hidráulico.

El sistema de control y regulación de la instalación solar utiliza un módulo de control diferencial, el cual compara la temperatura de salida del campo de captadores solares con la temperatura de la zona inferior del segundo interacumulador solar. Si esta diferencia de temperatura es inferior a 3 °C la bomba estará parada. En cambio, cuando la diferencia de temperatura sea superior a 7 °C la bomba entrará en funcionamiento.

Cuando la temperatura de salida de los captadores solares cae por debajo de los 5 °C, el sistema de control activa las bombas de los circuitos primario y secundario. Estas bombas siguen funcionando hasta que la temperatura de salida de los captadores supera los 10 °C, previniendo así el riesgo de congelación del agua en los captadores.

Por otro lado, si la temperatura de salida de los captadores excede los 90 °C, el sistema de control pone en marcha la bomba del circuito primario y ajusta la válvula de tres vías en el mismo circuito para desviar el agua hacia el aerotermo, momento en el cual entra en funcionamiento el ventilador del mismo. Una vez que se ha disminuido la temperatura que circula por el circuito primario en 5 °C, la instalación vuelve a su funcionamiento normal.

En la Figura 19 se muestra el esquema de principio completo de la instalación.

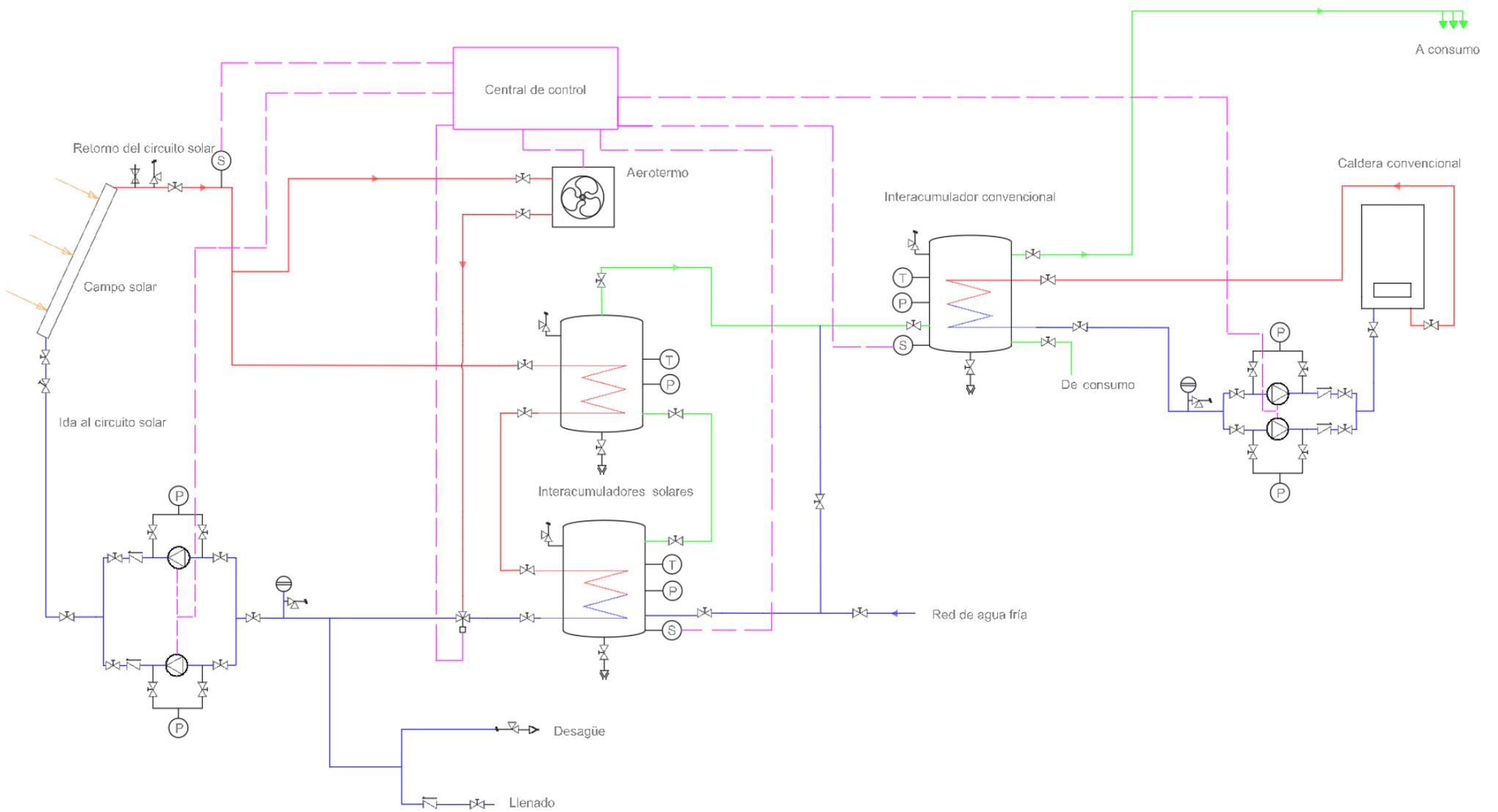


Figura 19. Esquema de principio de la instalación.

## 1.6 Características técnicas de los equipos

En esta sección se describen las características técnicas de los elementos esenciales del sistema: captadores solares, interacumulador, bomba de circulación y vaso de expansión.

### 1.6.1 Captadores solares

La instalación se ha equipado con captadores solares de la marca Termicol, más concretamente con el modelo S26, un modelo de alta eficiencia perteneciente a la gama de captadores de la familia silver.

Características técnicas del captador:

- Factor óptico: 0,736
- Coeficiente lineal de pérdidas  $k_1$ : 3,86 W/m<sup>2</sup> K
- Coeficiente cuadrático de pérdidas  $k_2$ : 0,011 W/m<sup>2</sup> K<sup>2</sup>
- K50: 0,95
- Dimensiones totales: 2047 x 1247 x 49 mm
- Superficie bruta/neta: 2,52 m<sup>2</sup> / 2,44 m<sup>2</sup>
- Disposición: vertical.
- Caudal de ensayo: 73,52 l/h m<sup>2</sup>
- Absorbedor: tipo parrilla monobanda, soldadura láser.
- Número de tubos: 11
- Aislamiento: tipo manta, material lana de vidrio, de 15 mm de espesor.
- Cubierta: vidrio solar templado 3,2 mm
- Peso en vacío: 34 kg
- Capacidad del fluido: 1,38 litros
- Presión máxima de trabajo: 8 bar
- Temperatura de estancamiento: 201 °C
- Conexión entre captadores: racor de compresión de 3 piezas.
- Pérdida de carga:  $\Delta H = 0,004 Q^2 + 0,970 Q$  (Pa)

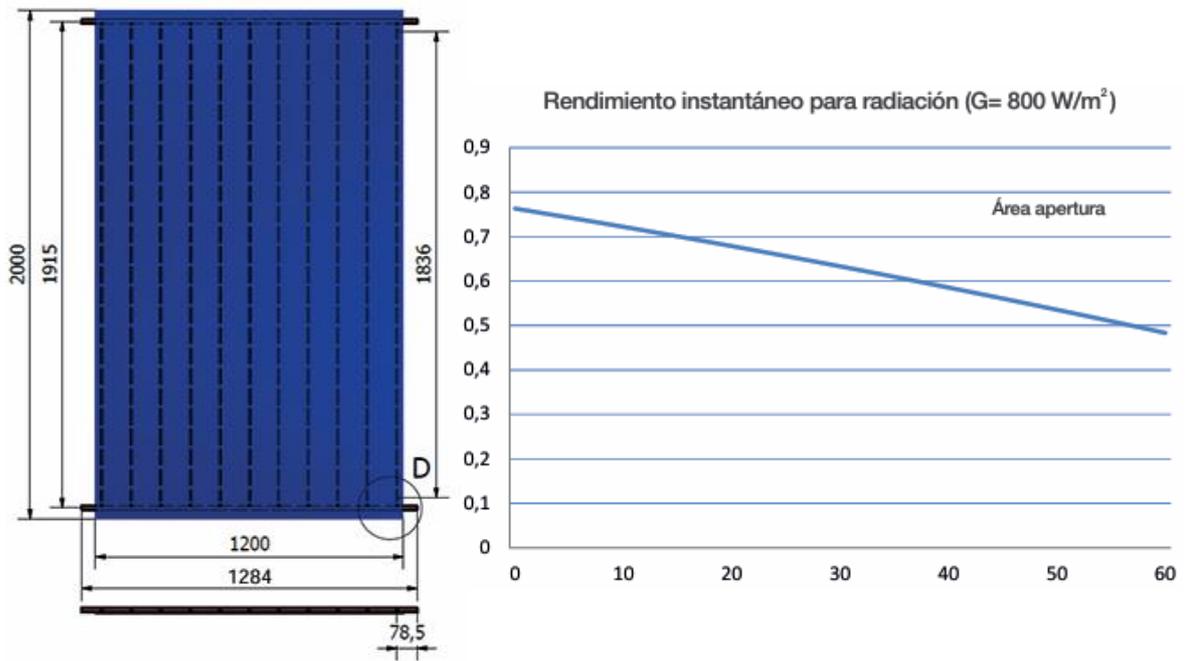
En la Figura 20 se detallan las dimensiones del captador seleccionado, así como los parámetros expuestos anteriormente y una representación del rendimiento instantáneo de este al variar el área de apertura.

### 1.6.2 Interacumulador solar

Se ha optado por la instalación de dos interacumuladores de Lapesa, modelo MXV-4000-SSB, conectados en serie, para satisfacer los requerimientos especificados anteriormente. Dicho modelo está fabricado en acero inoxidable AISI 316, un material altamente resistente a la corrosión y con una larga vida útil. Además, su diseño vertical y la boca de hombre lateral DN400 facilitan las tareas de instalación, inspección y limpieza.

En la Figura 21 se describen las partes del interacumulador solar que hemos seleccionado y en la Figura 22 se detallan datos más concretos del modelo elegido como son características técnicas, conexiones y dimensiones de este.

Adicionalmente a lo anterior, y puesto que nos servirá a la hora de calcular la pérdida de carga de la red de tuberías, se adjunta en la Figura 23 las pérdidas de carga entre conexiones de entrada y salida de circuito primario para diferentes caudales de circulación en el modelo de interacumulador escogido.



**CAPTADORES**

Empresa  
 TERMICOL ENERGÍA SOLAR  
 Marca/Modelo  
 S26

**AVISO:**  
 Verificar la existencia y vigencia de la certificación del captador seleccionado.

**Datos de ensayo**

|               |           |
|---------------|-----------|
| Área (m2)     | 2,52      |
| n0 (-)        | 0,736     |
| a1 (W/m2K)    | 3,86      |
| a2 (W/m2K2)   | 0,011     |
| Qtest(l/hm2)  | 73,52     |
| k50           | 0,95      |
| Laboratorio   | CENER     |
| Certificación | NPS-19519 |



Figura 20. Captador solar TERMICOL, S26 (20).

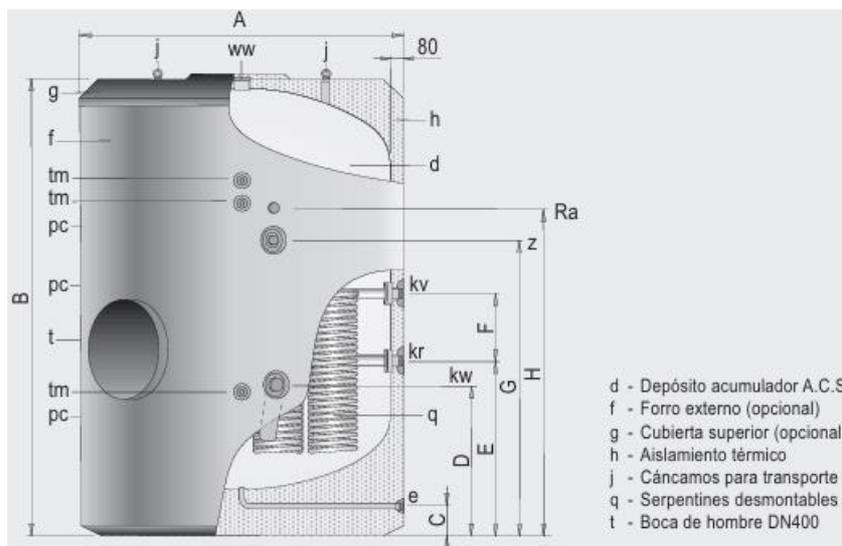


Figura 21. Interacumulador solar LAPESA, MXV-4000-SSB (12).

| Características técnicas /Conexiones /Dimensiones |                | MXV1500<br>SB/ SSB | MXV2000<br>SB/ SSB | MXV2500<br>SB/ SSB | MXV3000<br>SB/ SSB | MXV3500<br>SB/ SSB | MXV4000<br>SB/ SSB | MXV5000<br>SB/ SSB |
|---|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Capacidad de A.C.S                                | l              | 1500               | 2000               | 2500               | 3000               | 3500               | 4000               | 5000               |
| Temperatura máx. depósito de A.C.S                | °C             | 90                 | 90                 | 90                 | 90                 | 90                 | 90                 | 90                 |
| Presión máx. depósito de A.C.S. (*)               | bar            | 8                  | 8                  | 8                  | 8                  | 8                  | 8                  | 8                  |
| Temperatura máx. circuito de calentamiento (**)   | °C             | 120                | 120                | 120                | 120                | 120                | 120                | 120                |
| Presión máx. circuito de calentamiento            | bar            | 25                 | 25                 | 25                 | 25                 | 25                 | 25                 | 25                 |
| Número de serpentines -SB / -SSB                  | und            | 2 / 3              | 2 / 3              | 3 / 4              | 3 / 5              | 4 / 5              | 4 / 5              | 5 / 6              |
| Capacidad de serpentines -SB / -SSB               | l              | 17 / 25            | 19 / 29            | 28 / 35            | 29 / 48            | 38 / 48            | 38 / 48            | 48 / 56            |
| Superficie de intercambio -SB / -SSB              | m <sup>2</sup> | 2.8 / 4.2          | 3.4 / 5.0          | 4.8 / 6.1          | 5.0 / 8.4          | 6.7 / 8.4          | 6.7 / 8.4          | 8.4 / 10.0         |
| Peso en vacío aprox. -SB / -SSB                   | Kg             | 305 / 315          | 345 / 365          | 485 / 500          | 535 / 565          | 575 / 590          | 650 / 665          | 720 / 745          |
| Cota A: diámetro exterior                         | mm             | 1360               | 1360               | 1660               | 1660               | 1660               | 1910               | 1910               |
| Cota B: longitud total                            | mm             | 1830               | 2280               | 2015               | 2305               | 2580               | 2310               | 2710               |
| Cota C:   | mm             | 175                | 175                | 175                | 175                | 175                | 175                | 175                |
| Cota D:   | mm             | 680                | 680                | 800                | 800                | 815                | 880                | 880                |
| Cota E:   | mm             | 760                | 920                | 910                | 1015               | 1015               | 1055               | 1055               |
| Cota F:   | mm             | 400                | 400                | 400                | 400                | 400                | 400                | 400                |
| Cota G:   | mm             | 1095               | 1470               | 1225               | 1410               | 1545               | 1400               | 1580               |
| Cota H:   | mm             | 1285               | 1660               | 1415               | 1600               | 1735               | 1590               | 1770               |
| kw: entrada agua fría                             | "GAS/M         | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 3                  | 3                  | 3                  |
| e: desagüe  | "GAS/M         | 1                  | 1                  | 1                  | 1                  | 1                  | 1                  | 1                  |
| ww: salida agua caliente                          | "GAS/M         | 2                  | 2                  | 3                  | 3                  | 3                  | 3                  | 3                  |
| z: recirculación                                  | "GAS/M         | 1-1/2              | 1-1/2              | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  |
| kv: avance caldera                                | "GAS/M         | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  |
| kr: retorno caldera                               | "GAS/M         | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  |
| Ra: conexión resistencia de apoyo                 | "GAS/H         | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  | 2                  |
| tm: conexión sensores laterales                   | "GAS/H         | 1/2                | 1/2                | 1/2                | 1/2                | 1/2                | 1/2                | 1/2                |
| pc: conexión protección catódica                  | "GAS/H         | 3/4                | 3/4                | 3/4                | 3/4                | 3/4                | 3/4                | 3/4                |
| nº conexiones protección catódica                 | und.           | 2                  | 3                  | 3                  | 4                  | 4                  | 4                  | 5                  |

Figura 22. Características técnicas, conexiones y dimensiones del interacumulador seleccionado (12).

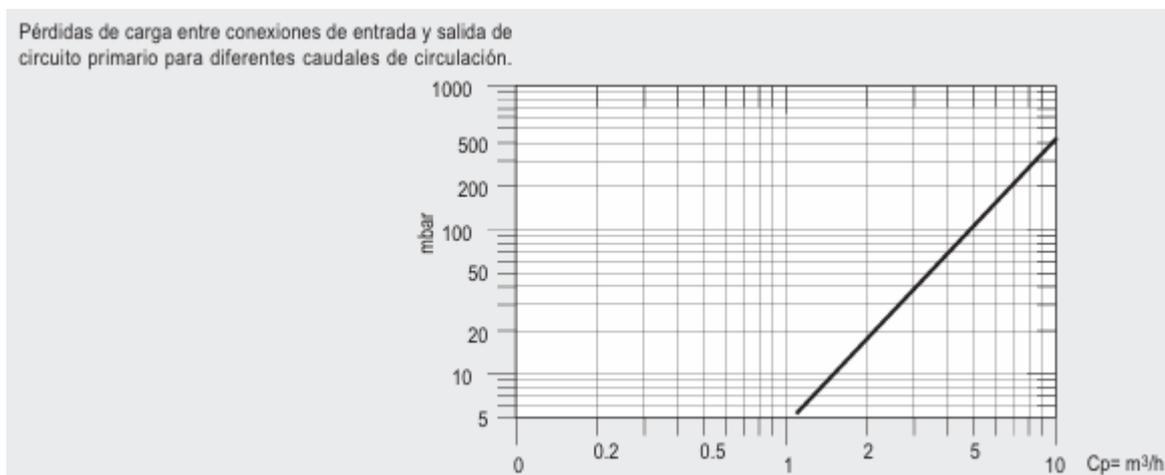


Figura 23. Pérdida de carga MXV-4000-SSB (12).

### 1.6.3 Bomba de circulación

El modelo de bomba seleccionado es del fabricante Wilo y es el Yonos MAXO-Z 65/0,5-16. En la designación Yonos MAXO hace referencia a la serie, la cual es una bomba de alta eficiencia (bomba roscada o embrizada) con regulación electrónica, la letra Z se corresponde con los modelos de bombas para sistemas de recirculación de ACS, 65 es el diámetro nominal de conexión (mm) y 0,5-16 es el margen de altura de impulsión (m). Debido a que el área de captación es de 126 m<sup>2</sup> y, por tanto, es mayor de 50 m<sup>2</sup>, se requiere la instalación de dos bombas, dejando una de ellas de reserva. En la Tabla 1 se adjunta toda la información relevante de la bomba escogida.

Tabla 1. Características de la bomba Wilo Yonos MAXO-Z 65/0,5-16 (21).

| <b>Datos hidráulicos</b>                      |                              |
|---|------------------------------|
| Presión máxima de trabajo                     | 10 bar                       |
| Líquido bombeado                              | Agua                         |
| Temperatura del fluido                        | 60 °C                        |
| Rango de temperaturas del fluido              | [0,80] °C                    |
| Temperatura ambiente máxima                   | 40 °C                        |
| <b>Datos del motor</b>                        |                              |
| Alimentación eléctrica                        | 1-230 V, 50/60 Hz            |
| Potencia nominal del motor                    | 1,22 kW                      |
| Intensidad nominal                            | 6,4 A                        |
| Velocidad mínima                              | 800 rpm                      |
| Velocidad máxima                              | 3400 rpm                     |
| <b>Materiales</b>                             |                              |
| Carcasa de la bomba                           | Acero inoxidable             |
| Rodete  | PPS-GF40                     |
| Eje   | Acero inoxidable             |
| Material del cojinete                         | Carbón, impregnado de resina |
| <b>Dimensiones de la instalación</b>          |                              |
| Conexión de la tubería del lado de aspiración | DN 65                        |
| Conexión de la tubería del lado de impulsión  | DN 65                        |
| Longitud entre roscas                         | 340 mm                       |

Tras describir los datos más relevantes de la bomba en la anterior tabla, en la Figura 24 se detalla con más detalle cada una de las dimensiones del modelo de bomba seleccionado para nuestra instalación.

#### 1.6.4 Vaso de expansión

El vaso de expansión seleccionado para nuestra instalación es el modelo 50 SMR-P del fabricante Ibaiondo. Este modelo es un vaso de expansión de membrana para sistemas cerrados de energía solar, el material del que está hecho es acero, cuenta con una capacidad de 50 litros y tiene una membrana recambiable, según EN 13831, especial para soportar picos de temperatura de hasta 130 °C durante una hora. La conexión de agua es en acero cincado (R 1'). En la Figura 25 se detallan las características principales del modelo de vaso seleccionado.

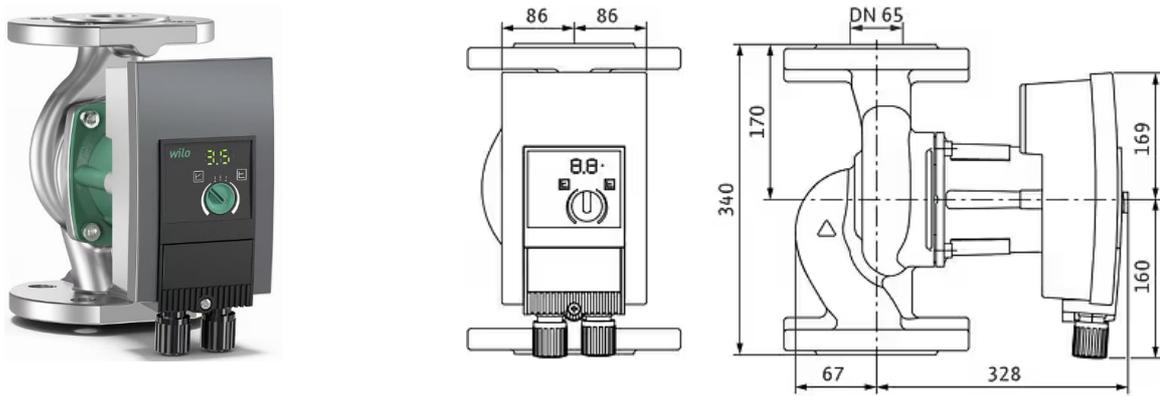


Figura 24. Bomba Wilo, Yonos MAXO-Z 65/0,5-16 (21).

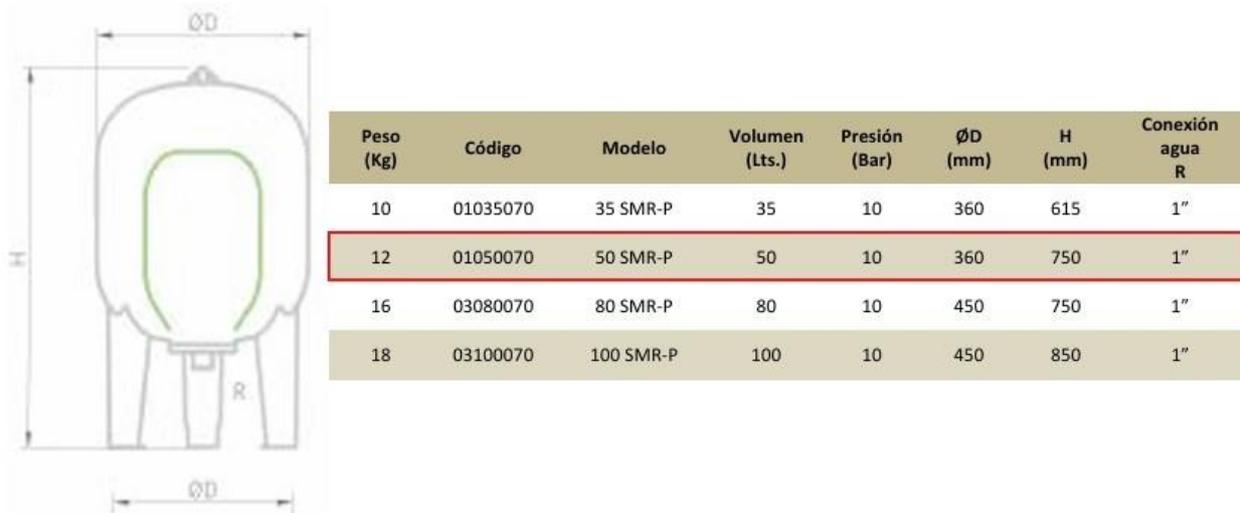


Figura 25. Características del vaso Ibaiondo, 50 SMR-P (10).

## 1.7 Normativa

La instalación solar térmica cumple con las siguientes normativas:

### a) Código Técnico de la Edificación (CTE)

- **Contribución solar**

- Objetivo: aportar un porcentaje mínimo de energía renovable para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) o climatización de piscina.
- Exigencia: la contribución solar mínima depende de la zona climática y del consumo de ACS. En mi caso, al ubicarse en Algeiras (zona V), la contribución mínima es del 70%.
- Cumplimiento: la instalación solar térmica alcanza un 74% de contribución solar, superando el requisito mínimo del 60% (esto se verifica en el apartado 2.4 de la memoria de cálculo).

- **Demanda energética**

- Objetivo: dimensionar la instalación solar térmica para cubrir la demanda energética de ACS o climatización de piscina de manera eficiente.

- Exigencia: el cálculo de la demanda energética debe realizarse siguiendo los criterios establecidos en el CTE HE4.
- Cumplimiento: el cálculo detallado de la demanda energética para la instalación se encuentra en el apartado 2.4 de la memoria de cálculo.

## **b) Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE)**

### **• Preparación de agua caliente para usos sanitarios – IT 1.1.4.3.1**

- Objetivo: garantizar la calidad higiénico- sanitaria del agua caliente para prevenir la legionelosis.
- Exigencias:
  - i. Cumplir con la legislación vigente sobre prevención y control de legionelosis.
  - ii. Producir agua caliente a una temperatura adecuada para su uso, considerando las pérdidas en la red de tuberías.
  - iii. Diseñar los sistemas y equipos para soportar tratamientos de choque térmico si son necesarios.
  - iv. Utilizar materiales resistentes a la acción del agua tratada químicamente.
  - v. No mezclar agua fría con condensado o vapor de calderas para producir ACS.

### **• Sistemas de distribución de agua – IT 2.3.3**

- Objetivo: garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de la red de distribución de agua caliente.
- Exigencias:
  - i. Equilibrar hidráulicamente el circuito para un flujo uniforme.
  - ii. Ubicar las tuberías de manera accesible para inspección y mantenimiento, especialmente en tramos principales.
  - iii. Aislar las tuberías para minimizar pérdidas energéticas.

### **• Control automático – IT 2.3.4**

- Objetivo: regular el funcionamiento de la instalación solar térmica de manera eficiente y segura.
- Exigencias:
  - i. Ajustar los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño especificados en el proyecto.
  - ii. Verificar el correcto funcionamiento de todos los componentes del sistema de control.

### **• Aislamiento térmico – IT 1.2.4.2.1**

- Objetivo: minimizar las pérdidas energéticas en las tuberías, accesorios y equipos de la instalación.
- Exigencias:
  - i. Aislar tuberías, accesorios y equipos de acuerdo con los espesores mínimos establecidos en la norma.
  - ii. Seleccionar materiales aislantes con propiedades adecuadas para la instalación.

### **• Medición – IT 1.3.4.4.5**

- Objetivo: monitorizar el funcionamiento de la instalación solar térmica y obtener datos para su control y optimización.

- Exigencias:
  - i. Instalar instrumentación para medir presión y temperatura en puntos clave del sistema.
  - ii. Ubicar los instrumentos de medida en lugares visibles y fácilmente accesibles.
  - iii. Facilitar la lectura y el mantenimiento de los instrumentos de medida.

## 1.8 Bibliografía

- (1) Agencia Andaluza de la Energía. Energía Solar Térmica a Baja Temperatura, 2011.
- (2) Apuntes de la asignatura “Energía Solar”, 2023. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Energética. Universidad de Sevilla.
- (3) Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT). Guía Técnica de Energía Solar Térmica, 2020.
- (4) Código Técnico de la Edificación (CTE, sección HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, 2022.
- (5) Conex Banninger, <https://www.conexbanninger.com/ES/home.php>.
- (6) Datos Clima, <https://datosclima.es/Aemethistorico/Tempestad.php>.
- (7) Duffie, J. A., Beckman, W. A., Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley, 2013.
- (8) Excel de pérdida de carga del profesor Juan Francisco Coronel Toro. Asignatura “Instalaciones Térmicas en la Edificación”, 2023. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Energética. Universidad de Sevilla.
- (9) Ferc floor, <https://www.fercofloor.com/>.
- (10) Ibaiondo, <https://www.ibaiondo.com/>.
- (11) Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura, 2009.
- (12) Lapesa, <https://lapesa.es/>.
- (13) Manual de usuario de la herramienta informática CHEQ4, <https://www.idae.es/cheq4>.
- (14) Meteoblue, <https://www.meteoblue.com/>.
- (15) Norma UNE 100155-2004: “Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión.”
- (16) Norma UNE 94002-2005: “Instalaciones térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica.”
- (17) Norma UNE 94003-2007: “Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas.”
- (18) Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE), 2021.
- (19) Salvador Escoda, <https://www.salvadorescoda.com/>.
- (20) Termicol, <https://termicol.es/>.
- (21) Wilo, <https://wilo.com/>.



## **2. MEMORIA DE CÁLCULO**

---

## 2.1 Introducción

En este trabajo se presenta el diseño y dimensionamiento de una instalación solar térmica de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en una residencia de ancianos con centro de día en Algeciras. El objetivo es cubrir la demanda de ACS de la residencia durante todo el año, utilizando energía renovable y reduciendo así el consumo de energía convencional y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para ello, se han realizado los cálculos necesarios para determinar la superficie de captación solar, el volumen del acumulador de ACS, el caudal de la bomba y las características del sistema de control. Los cálculos se han basado en la metodología descrita en la memoria descriptiva y en la normativa vigente.

## 2.2 Datos de partida

Para empezar el diseño de la instalación solar térmica, primero se recopilan datos esenciales como la ubicación del edificio, el clima de la zona y la demanda de agua caliente sanitaria (ACS).

La ubicación nos permite conocer la cantidad de radiación solar disponible, mientras que el clima nos informa sobre las temperaturas y la humedad del aire. Estos dos factores son cruciales para determinar el tamaño y la eficiencia de la instalación.

Por otro lado, la demanda de ACS se calcula en función del número de usuarios del edificio, sus hábitos de consumo y la temperatura deseada del agua. Este dato es fundamental para dimensionar correctamente el sistema de almacenamiento y la capacidad de los captadores solares.

### 2.2.1 Ubicación del edificio

El edificio se encuentra en la localidad de Algeciras. Se trata de una residencia de ancianos que cuenta con una ocupación de 170 personas. Dicha residencia está a 22 metros de altitud sobre el nivel del mar, con una latitud de 36° 7'.

### 2.2.2 Datos climatológicos

Como dato de partida debemos saber la zona climática en la que se encuentra nuestra residencia para así tener una referencia de la contribución solar mínima que deberá tener la instalación para aplicaciones de ACS. Al tratarse la zona en cuestión de Algeciras, deducimos de las figuras siguientes que dicho territorio se encuentra en la zona climática V. Esto queda recogido en la norma UNE 94003-2007.

En la Figura 26 se expone el mapa de España con las diferentes zonas climáticas de España y en la Figura 27 haciendo zoom nos permite ver más concretamente la zona a la que se corresponde la localización de nuestro edificio.

Al evaluar la viabilidad de una instalación solar térmica es fundamental considerar las características climáticas del lugar. Estos parámetros son la cantidad de radiación solar disponible, las temperaturas medias, mínimas y máximas, así como, la frecuencia de heladas.

Por consiguiente, analizamos en la Figura 28 las temperaturas medias en Algeciras durante los últimos 30 años. La línea roja continua indica la temperatura máxima promedio de cada mes, mientras que la línea azul continua representa la temperatura mínima promedio. Las líneas rojas y azules discontinuas, por otro lado, muestran las temperaturas extremas, es decir, la del día más caluroso y la noche más fría de cada mes. De esta manera, podemos observar la variación de la temperatura a lo largo del año y comparar las temperaturas medias con las más extremas. En esta misma figura se puede observar que en los meses más fríos nos encontramos con heladas, concretamente para el mes de enero y febrero tenemos 0,6 días con heladas, para el mes de marzo y diciembre 0,2 días y para noviembre 0,1 días. Por tanto, al haber heladas en este clima es necesario incorporar un sistema de protección de heladas.

También se adjunta el diagrama de la temperatura máxima en Algeciras (Figura 29), el cual nos permite visualizar la frecuencia con la que se alcanzan diferentes valores de temperatura a lo largo del año. En otras

palabras, nos indica cuántos días al mes la temperatura máxima supera un cierto umbral. Este estudio se ha realizado gracias a la herramienta Meteoblue, la cual proporciona mapas, gráficos, modelos climáticos y datos históricos del lugar que se especifique.

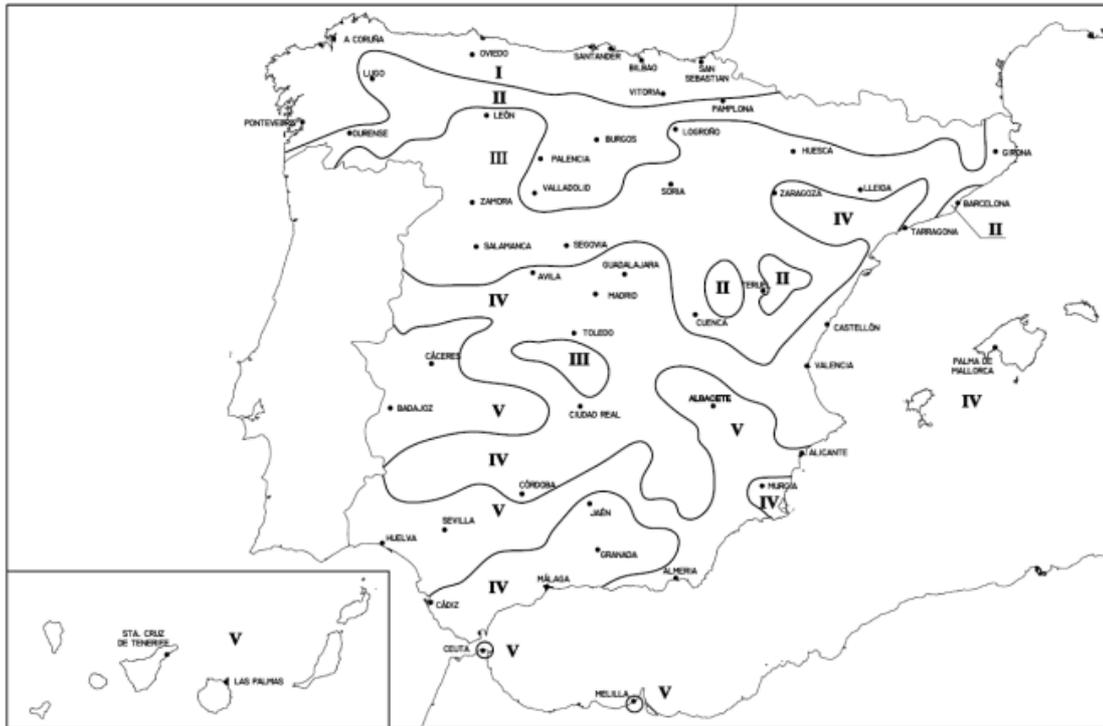


Figura 26. Mapa de zonas climáticas de España (17).

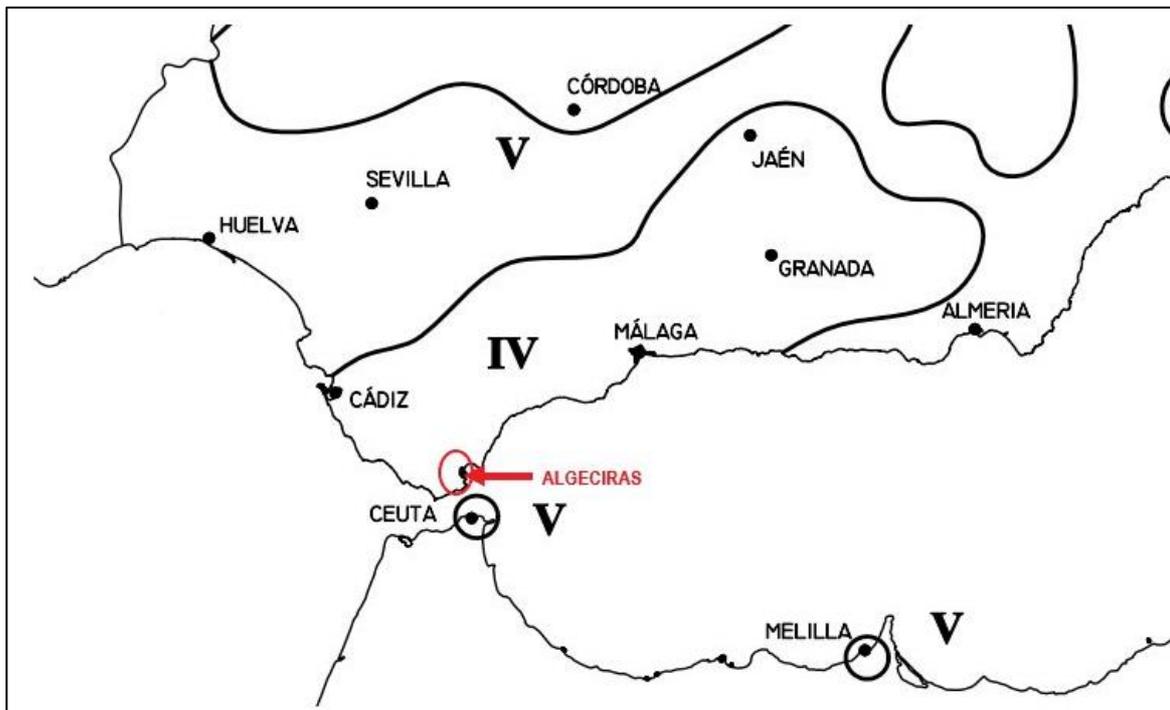


Figura 27. Detalle del mapa anterior en la zona estudiada (17).

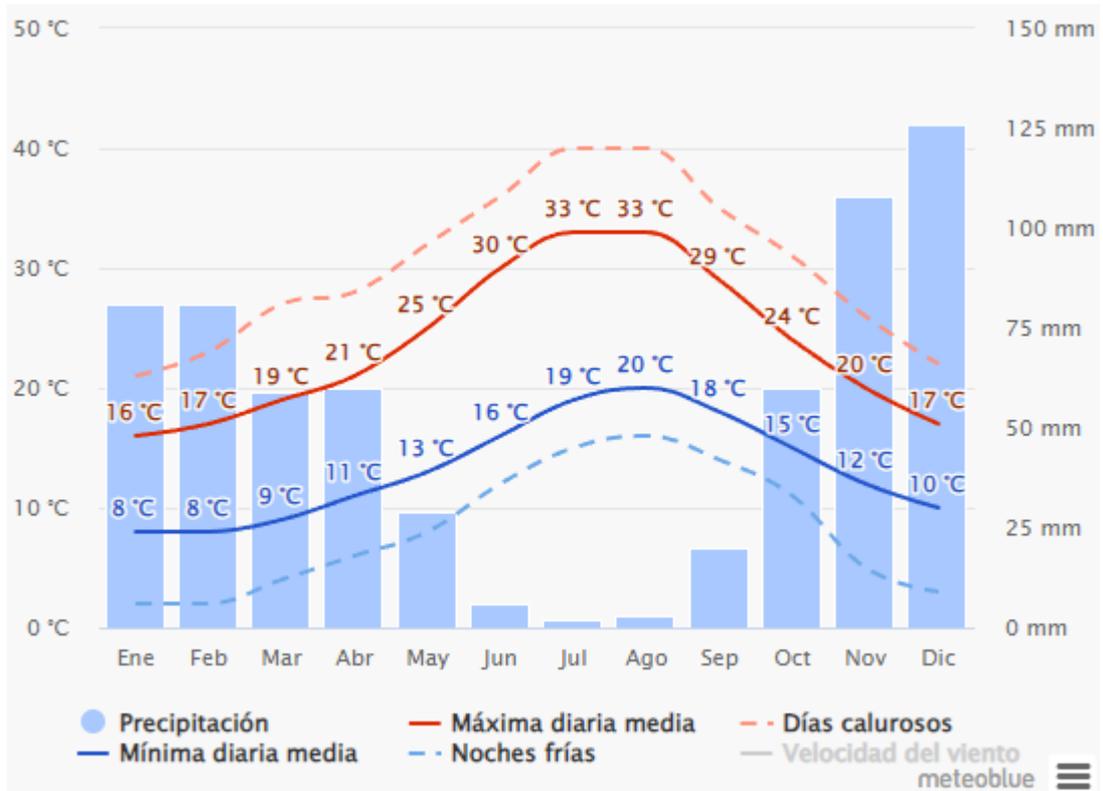


Figura 28. Temperaturas medias y precipitaciones (14).

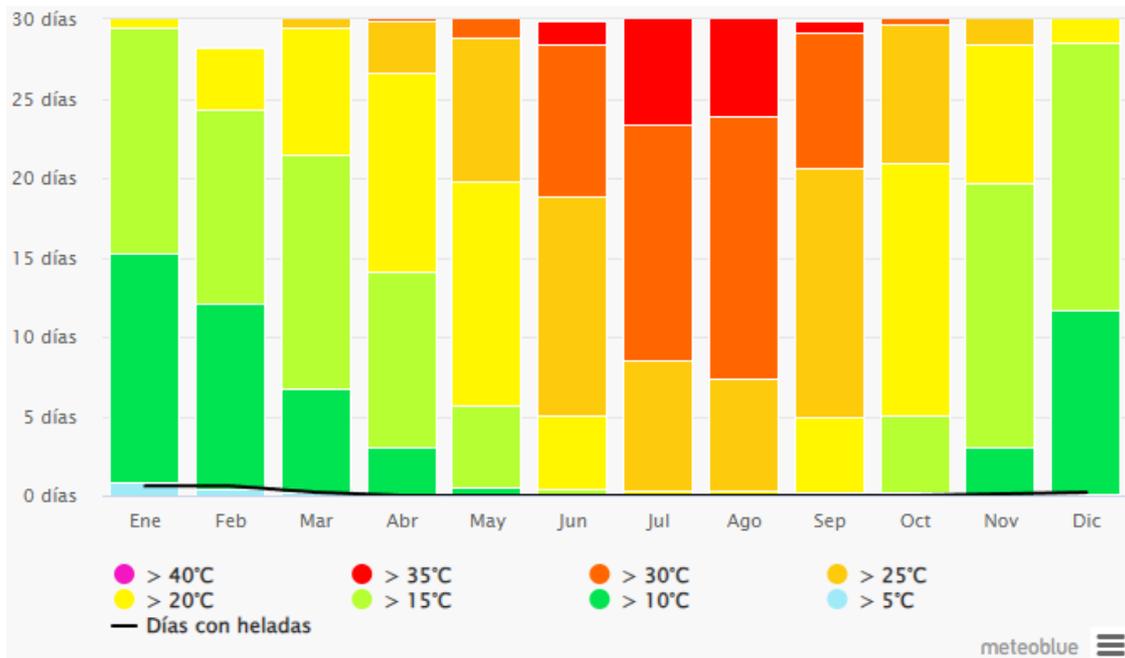


Figura 29. Temperaturas máximas y días con heladas (14).

Para tener una referencia de las temperaturas mínimas absolutas anuales, he realizado un gráfico (Figura 30) con los datos obtenidos en los últimos 30 años de la estación meteorológica de Tarifa, proporcionados por AEMET, debido a su proximidad con Algeciras y su similitud en cuanto a zona climática y temperaturas.

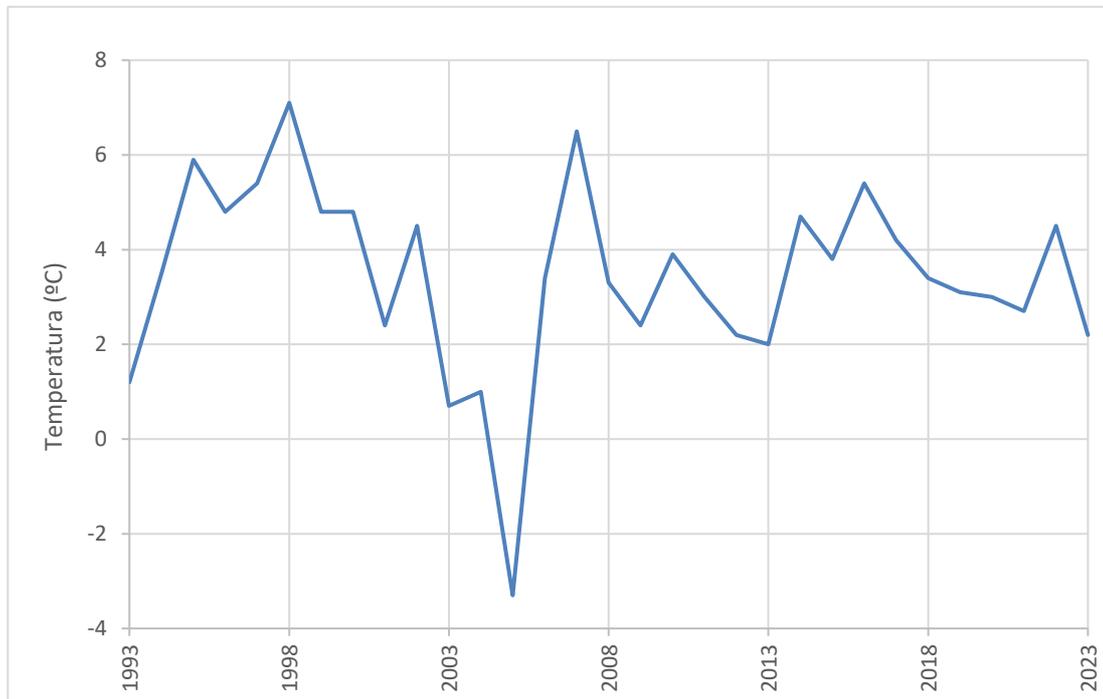


Figura 30. Temperaturas mínimas absolutas anuales 1993-2023 (6).

Se observa en el anterior gráfico que la temperatura mínima absoluta anual más baja registrada en el periodo comprendido entre 1993 y 2023 es de -3,3 °C. Dicha temperatura se registró el día 28 de enero de 2005.

También es necesario conocer los valores característicos de irradiación solar media, temperatura media del agua de red según la norma UNE 94002 y temperatura ambiente media según la norma UNE 94003 en Algeciras en cada uno de los meses del año. Dichos valores te los proporciona el propio programa CHEQ4 y son los que se muestran en la Tabla 2.

### 2.2.3 Radiación solar sobre superficie inclinada

La radiación solar que incide sobre un captador solar con una inclinación de 40° y orientado al sur se calcula utilizando el método de Klein y Theilacker. Este método descompone la radiación solar horizontal promedio mensual en componente directa y difusa, y luego las transforma a la superficie inclinada del captador. Para iniciar el proceso, se determina la declinación solar ( $\delta$ ), que es el ángulo entre el plano ecuatorial y la línea que une los centros del sol y la Tierra. La ecuación de Cooper se emplea para calcular este valor y es la que se muestra a continuación:

$$\delta = 23,43 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (n + 284)\right)$$

Siendo  $n$  el día del año para cada mes, siendo el hemisferio norte positivo y el hemisferio sur negativo ( $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ ).

Y el ángulo horario se calcula de la siguiente forma:

$$w_s = \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$$

Siendo  $\phi$  la latitud de la zona donde se ubica el edificio.

Tabla 2. Valores característicos de Algeciras, Cádiz.

| Meses      | Rad (MJ/m <sup>2</sup> ) | T.Red (°C) | T.Amb (°C) |
|------------|--------------------------|------------|------------|
| Enero      | 10,0                     | 11,9       | 12,6       |
| Febrero    | 13,4                     | 11,9       | 13,3       |
| Marzo      | 18,1                     | 12,9       | 14,5       |
| Abril      | 22,9                     | 13,9       | 16,0       |
| Mayo       | 26,2                     | 15,9       | 18,5       |
| Junio      | 28,4                     | 17,9       | 21,3       |
| Julio      | 28,7                     | 18,9       | 23,8       |
| Agosto     | 25,6                     | 19,9       | 24,3       |
| Septiembre | 20,9                     | 18,9       | 23,3       |
| Octubre    | 14,9                     | 16,9       | 19,9       |
| Noviembre  | 10,7                     | 13,9       | 15,9       |
| Diciembre  | 8,6                      | 11,9       | 13,1       |
| Promedio   | 19,0                     | 15,4       | 18,0       |

En el caso de un captador orientado hacia el sur, como es nuestro caso, el ángulo de salida coincide con el ángulo de la puesta de sol. En la Tabla 3 se muestran los resultados de declinación solar y ángulo horario para el día promedio recomendado para cada mes.

La radiación solar extraterrestre sobre una superficie horizontal se calcula de la siguiente forma:

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

Donde:

$G_{CS}$ : constante solar (1367 W/m<sup>2</sup>)

$n$ : día del año

$w_s$ : ángulo horario

$\delta$ : declinación solar

$\phi$ : latitud de la localidad

El índice de claridad medio queda definido como la relación entre la radiación global anual sobre superficie horizontal y la radiación anual extraterrestre sobre superficie horizontal:

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

Tras realizar estos cálculos se exponen los resultados obtenidos para la radiación global y extraterrestre sobre la superficie horizontal, así como, el índice de claridad en cada mes en la Tabla 4.

Tabla 3. Declinación solar y ángulo horario.

| <i>Mes</i>        | <i>Día del año</i> | <i>Declinación solar</i><br>$\delta$ (°) | <i>Ángulo horario</i><br>$w_s$ (°) |
|-------------------|--------------------|--|------------------------------------|
| <i>Enero</i>      | 17                 | -20,92                                   | 73,80                              |
| <i>Febrero</i>    | 47                 | -12,95                                   | 80,34                              |
| <i>Marzo</i>      | 75                 | -2,42                                    | 88,23                              |
| <i>Abril</i>      | 105                | 9,41                                     | 96,95                              |
| <i>Mayo</i>       | 135                | 18,79                                    | 104,38                             |
| <i>Junio</i>      | 162                | 23,09                                    | 108,12                             |
| <i>Julio</i>      | 198                | 21,18                                    | 106,43                             |
| <i>Agosto</i>     | 228                | 13,45                                    | 100,05                             |
| <i>Septiembre</i> | 258                | 2,22                                     | 91,62                              |
| <i>Octubre</i>    | 288                | -9,60                                    | 82,91                              |
| <i>Noviembre</i>  | 318                | -18,91                                   | 75,52                              |
| <i>Diciembre</i>  | 344                | -23,05                                   | 71,91                              |

Tabla 4. Radiación global y extraterrestre sobre superficie horizontal e índice de claridad.

| <i>Mes</i>        | <i>H (MJ/m<sup>2</sup>)</i> | <i>H<sub>0</sub> (MJ/m<sup>2</sup>)</i> | <i>K<sub>t</sub></i> |
|-------------------|-----------------------------|---|----------------------|
| <i>Enero</i>      | 10,0                        | 17,59                                   | 0,57                 |
| <i>Febrero</i>    | 13,4                        | 22,72                                   | 0,59                 |
| <i>Marzo</i>      | 18,1                        | 29,15                                   | 0,62                 |
| <i>Abril</i>      | 22,9                        | 35,60                                   | 0,64                 |
| <i>Mayo</i>       | 26,2                        | 39,93                                   | 0,66                 |
| <i>Junio</i>      | 28,4                        | 41,62                                   | 0,68                 |
| <i>Julio</i>      | 28,7                        | 40,70                                   | 0,71                 |
| <i>Agosto</i>     | 25,6                        | 37,20                                   | 0,69                 |
| <i>Septiembre</i> | 20,9                        | 31,42                                   | 0,67                 |
| <i>Octubre</i>    | 14,9                        | 24,56                                   | 0,61                 |
| <i>Noviembre</i>  | 10,7                        | 18,77                                   | 0,57                 |
| <i>Diciembre</i>  | 8,6                         | 16,16                                   | 0,53                 |

Respecto al cálculo de la relación entre la radiación difusa y la radiación global  $\left(\frac{H_d}{H}\right)$  se emplea las correlaciones desarrolladas por Erbs, que propone que la fracción de la componente difusa sobre la superficie horizontal tiene una dependencia estacional, la cual se expresa a continuación:

Para  $w_s \leq 81,4^\circ$  (invierno) y  $0,3 \leq k_t \leq 0,8$

$$\frac{H_d}{H} = 1,391 - 3,560 \cdot k_t + 4,189 \cdot k_t^2 - 2,137 \cdot k_t^3$$

Para  $w_s > 81,4^\circ$  (primavera a otoño) y  $0,3 \leq k_t \leq 0,8$

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

La radiación directa se puede determinar a partir de la radiación global y la radiación difusa, ya que la suma de estas dos componentes es igual a la radiación global. En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos.

$$H = H_D + H_d$$

Tabla 5. Radiación global horizontal, directa y difusa.

| <i>Mes</i>        | <i>H (MJ/m<sup>2</sup>)</i> | <i>H<sub>D</sub> (MJ/m<sup>2</sup>)</i> | <i>H<sub>d</sub> (MJ/m<sup>2</sup>)</i> |
|-------------------|-----------------------------|---|---|
| <i>Enero</i>      | 10,0                        | 6,72                                    | 3,28                                    |
| <i>Febrero</i>    | 13,4                        | 9,25                                    | 4,15                                    |
| <i>Marzo</i>      | 18,1                        | 12,31                                   | 5,79                                    |
| <i>Abril</i>      | 22,9                        | 16,02                                   | 6,88                                    |
| <i>Mayo</i>       | 26,2                        | 18,62                                   | 7,58                                    |
| <i>Junio</i>      | 28,4                        | 20,85                                   | 7,55                                    |
| <i>Julio</i>      | 28,7                        | 21,65                                   | 7,05                                    |
| <i>Agosto</i>     | 25,6                        | 18,92                                   | 6,68                                    |
| <i>Septiembre</i> | 20,9                        | 15,02                                   | 5,88                                    |
| <i>Octubre</i>    | 14,9                        | 9,95                                    | 4,95                                    |
| <i>Noviembre</i>  | 10,7                        | 7,20                                    | 3,50                                    |
| <i>Diciembre</i>  | 8,6                         | 5,50                                    | 3,10                                    |

Para conocer la radiación global sobre superficie inclinada ( $H_i$ ) debemos calcular primero la relación entre la radiación directa sobre la superficie inclinada y la horizontal:

$$R_D = \frac{\cos(\phi - s) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(w'_s) + \frac{\pi \cdot w'_s}{180} \cdot \sin(\phi - s) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(w_s) + \frac{\pi \cdot w_s}{180} \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\delta)}$$

Siendo:

$\phi$ : latitud

$s$ : inclinación del captador sobre la horizontal (40°)

$\delta$ : declinación solar

$w_s$ : ángulo solar

$w'_s$ : ángulo solar en una superficie inclinada

Para el cálculo de  $R_D$  necesitaremos calcular antes el ángulo solar en una superficie inclinada:

$$w'_s = \min(w_s; \arccos(-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi - s)))$$

Una vez determinada  $R_D$  podemos pasar a calcular la corrección de la radiación para una superficie inclinada ( $H_i$ ), la cual se define de la siguiente manera:

$$H_i = R_D \cdot H_D + \frac{1 + \cos(s)}{2} \cdot H_d + \frac{1 - \cos(s)}{2} \cdot \rho \cdot H$$

Sabiendo que:

$H_D$ : radiación directa sobre la superficie horizontal

$H_d$ : radiación difusa sobre la superficie horizontal

$H$ : radiación directa sobre la superficie horizontal

$\rho$ : coeficiente de albedo (lo consideramos despreciable)

En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos para  $R_D$  y  $H_i$ .

En la Figura 31 se realiza una comparación gráfica de los datos obtenidos, donde se representa la irradiación global sobre la superficie horizontal frente a la irradiación global sobre la superficie inclinada para cada mes del año. Como se puede observar en dicha gráfica la inclinación de los captadores solares en 40° tiene un impacto significativo en la cantidad de radiación recibida a lo largo del año. Si bien en verano se produce una ligera pérdida de radiación en comparación con una configuración horizontal, la ganancia durante el invierno es considerablemente mayor. Esto se debe a la alineación del ángulo de captadores con la trayectoria del sol en diferentes estaciones.

Tabla 6. Relación radiación directa y global en superficie horizontal y radiación en superficie inclinada.

| <i>Mes</i>        | <i>R<sub>D</sub></i> | <i>H<sub>i</sub> (MJ/m<sup>2</sup>)</i> |
|-------------------|----------------------|---|
| <i>Enero</i>      | 2,04                 | 17,78                                   |
| <i>Febrero</i>    | 1,66                 | 20,57                                   |
| <i>Marzo</i>      | 1,30                 | 23,26                                   |
| <i>Abril</i>      | 1,00                 | 24,84                                   |
| <i>Mayo</i>       | 0,81                 | 24,75                                   |
| <i>Junio</i>      | 0,72                 | 25,00                                   |
| <i>Julio</i>      | 0,76                 | 25,98                                   |
| <i>Agosto</i>     | 0,92                 | 26,22                                   |
| <i>Septiembre</i> | 1,18                 | 25,31                                   |
| <i>Octubre</i>    | 1,53                 | 21,35                                   |
| <i>Noviembre</i>  | 1,93                 | 18,25                                   |
| <i>Diciembre</i>  | 2,17                 | 15,69                                   |

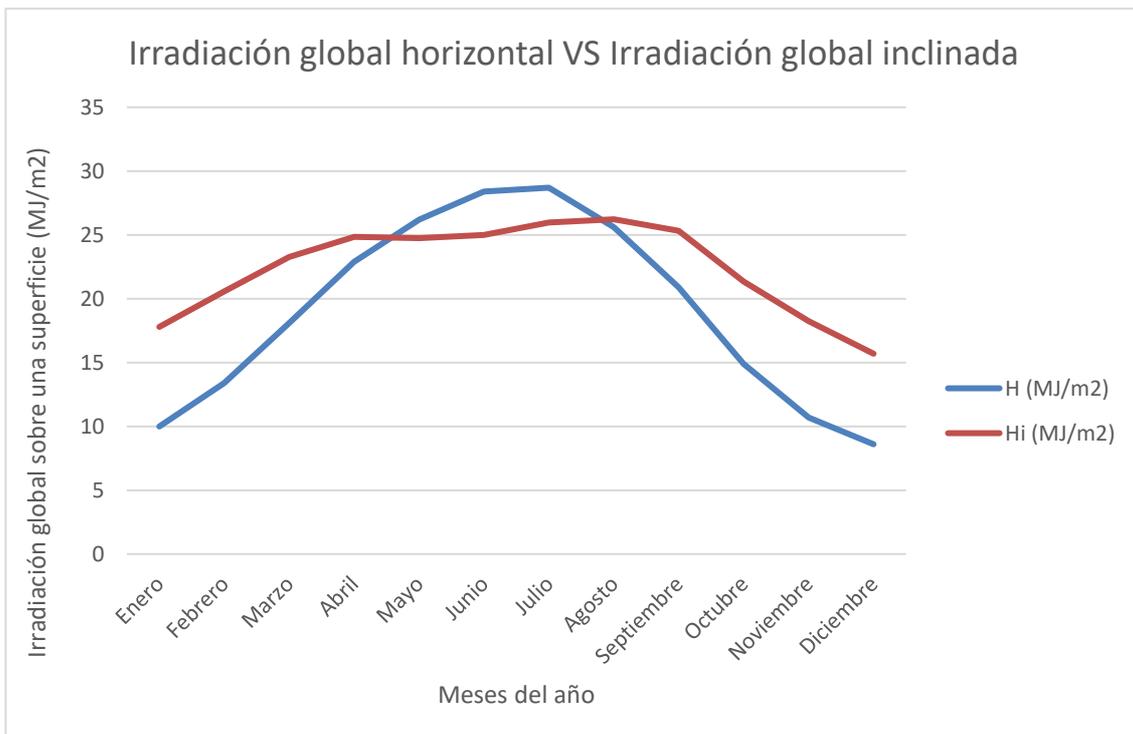


Figura 31. Comparación gráfica entre irradiación global sobre superficie horizontal e inclinada.

## 2.2.4 Datos de consumo

Para determinar la cantidad de agua caliente sanitaria (ACS) necesaria en una residencia de ancianos con 170 camas y una ocupación máxima de 170 personas, se siguen los pasos que describen a continuación:

- 1) Consumos unitarios: se consultan los valores de la tabla c- Anejo F del Documento Básico de Ahorro de Energía DB HE 2022 del CTE, que establece el consumo unitario de ACS por persona en función del tipo de uso del edificio. En este caso, se considera un edificio de uso distinto al residencial privado y al tratarse de una residencia se estima un consumo diario de ACS de 41 l/persona, tabulación que se mantendrá siempre de forma uniforme para todas las personas que ocupan la residencia de ancianos.

En la Tabla 7 se observa los valores del consumo de ACS en l/día\*persona.

Tabla 7. Valores del consumo de ACS en l/día\*persona (4).

**Tabla c-Anejo F Demanda orientativa de ACS para usos distintos del residencial privado**

| <b>Criterio de demanda</b>    | <b>Litros/día-persona</b> |
|-------------------------------|---------------------------|
| Hospitales y clínicas         | 55                        |
| Ambulatorio y centro de salud | 41                        |
| Hotel *****                   | 69                        |
| Hotel ****                    | 55                        |
| Hotel ***                     | 41                        |
| Hotel/hostal **               | 34                        |
| Camping                       | 21                        |
| Hostal/pensión *              | 28                        |
| <b>Residencia</b>             | <b>41</b>                 |
| 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                         |

- 2) Temperatura de referencia: la demanda total se calcula a una temperatura de referencia de 60 °C.
- 3) Cálculo de la demanda total diaria: se multiplica el consumo unitario por el número de personas que pueden ocupar la residencia.

$$M_{ac} = 41 \frac{l}{\text{día} * \text{persona}} * 170 \text{ personas} = 6970 \text{ l/día}$$

## 2.3 Cálculo de la demanda

Para el cálculo de la demanda de energía térmica de cada mes nos apoyaremos en la siguiente expresión:

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

Donde:

$L_{ACS}$ : demanda de ACS a la temperatura de referencia (J/mes).

$M_{ac}$ : consumo unitario de ACS por día (l/día).

$\rho$ : densidad del agua (se toma el valor de 1 kg/l).

$C_p$ : calor específico del agua (toma el valor constante de 4190 J/kg K).

$T_{ac}$ : temperatura de referencia del agua caliente (60 °C).

$T_{af}$ : temperatura del agua de red (°C).

$N$ : número de días del mes que corresponda (días/mes).

Se adjunta en la Tabla 8 los valores mensuales y promedios obtenidos mediante la expresión anterior para el cálculo de la demanda de ACS.

Tabla 8. Demanda de ACS y temperatura de red en cada mes.

| Mes        | $T_{af}$ (°C) | $L_{ACS}$ (MJ/mes) |
|------------|---------------|--------------------|
| Enero      | 11,9          | 164939,52          |
| Febrero    | 11,9          | 148977,63          |
| Marzo      | 12,9          | 161510,42          |
| Abril      | 13,9          | 152981,93          |
| Mayo       | 15,9          | 151223,13          |
| Junio      | 17,9          | 139708,01          |
| Julio      | 18,9          | 140935,85          |
| Agosto     | 19,9          | 137506,75          |
| Septiembre | 18,9          | 136389,53          |
| Octubre    | 16,9          | 147794,04          |
| Noviembre  | 13,9          | 152981,93          |
| Diciembre  | 11,9          | 164939,52          |
| Promedio   | 15,9          | 148004,21          |

## 2.4 Dimensionado básico

Para que una instalación solar térmica funcione correctamente y cumpla con las exigencias del Código Técnico de la Edificación (CTE) es fundamental realizar un dimensionamiento adecuado. Este proceso implica calcular tres aspectos clave:

- 1) Superficie de captación
  - 2) Volumen de acumulación
  - 3) Agrupación de captadores
- Metodología de cálculo:

Para realizar el dimensionamiento de la instalación solar térmica se han llevado a cabo una serie de simulaciones con el programa informático CHEQ4. Este software permite evaluar el comportamiento de la instalación en diferentes condiciones climáticas y de demanda.

- Simulaciones:

- Simulación 1: se fija la relación Vol/Área (volumen de acumulación por metro cuadrado de superficie de captación) en  $75 \text{ l/m}^2$  y el número de captadores en serie (Ns) en 1. El objetivo es determinar el número total de captadores (Nc) necesario para alcanzar la contribución solar mínima exigida por el CTE.

- Simulación 2: se mantiene el valor de Ns en 1 y se fija el número de captadores en el valor obtenido en la simulación anterior. Se calcula el volumen de acumulación necesario para cubrir la demanda de ACS del hogar.

- Simulación 3: se establece la agrupación de los captadores, es decir, el número de captadores que se conectarán en serie. Se busca optimizar el rendimiento de la instalación y minimizar las pérdidas de energía.

En la Figura 32 se representa la demanda de ACS en unidades de MJ/mes para cada mes del año.

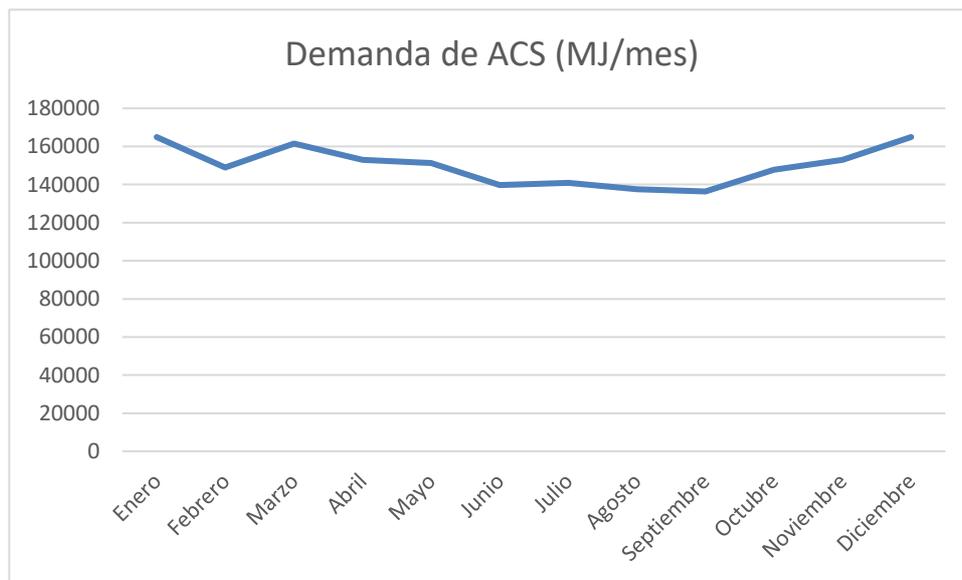


Figura 32. Demanda de ACS en cada mes.

### 2.4.1 Sistema de captación

Se ha realizado una serie de estimaciones iniciales mediante el software CHEQ4 para determinar el número necesario de captadores solares. También se han estimado las pérdidas por sombra (3%) y se han definido los espesores de aislamiento para las tuberías, los cuales se expondrán más adelante. A modo de sistema de apoyo se ha instalado una caldera de gas natural para abastecer al edificio en cuestión cuando la instalación solar térmica no produzca lo suficiente. El circuito primario tendrá una longitud de 320 m y el circuito de distribución de 650 m. La temperatura de impulsión de agua caliente es de  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  y se hace uso de un aislante genérico.

En la Tabla 9 se muestra la variación del número de captadores de 20 en 20 manteniendo fijado una relación volumen-área de  $75 \text{ l/m}^2$  y un número de captadores en serie de 1. Siendo la contribución solar mínima necesaria del 70% vemos como para 20 y 40 captadores no se llega a ese valor, por lo que quedan descartadas. Para un

número de captadores de 60 si superará esa contribución solar mínima. A diferencia de la anterior opción, nos encontramos que con 80 captadores se genera un aviso de que la fracción solar supera como mínimo durante tres meses seguidos el 100% esto únicamente es una advertencia que sirve para indicar que hay que tomar medidas de protección contra temperaturas excesivas, tal como se establece en el HE4 del CTE.

Tabla 9. Primera simulación variando el número de captadores Nc.

| Número captadores<br>Nc | Área total captadores<br>A (m <sup>2</sup> ) | Volumen total<br>V (l) | Contribución solar<br>f (%) |
|-------------------------|--|------------------------|-----------------------------|
| 20                      | 50,4   | 3780                   | 33                          |
| 40                      | 100,8  | 7560                   | 64                          |
| 60                      | 151,2  | 11340                  | 85                          |
| 80                      | 201,6  | 15120                  | 93                          |

En la Tabla 10 se parte de 45 captadores e incrementando el número de captadores de 5 en 5 pasamos a comprobar su cumplimiento con la fracción mínima solar. Se observa cómo en principio cumplen todas las opciones, ya que todas llegan a la contribución solar mínima establecida para nuestra instalación. No obstante, descartamos la opción de 65 captadores puesto que nos salta el mismo aviso que con 80 captadores.

Tabla 10. Segunda simulación variando el número de captadores Nc.

| Número captadores<br>Nc | Área total captadores<br>A (m <sup>2</sup> ) | Volumen total<br>V (l) | Contribución solar<br>f (%) |
|-------------------------|--|------------------------|-----------------------------|
| 45                      | 113,4  | 8505                   | 70                          |
| 50                      | 126  | 9450                   | 76                          |
| 55                      | 138,6  | 10395                  | 81                          |
| 60                      | 151,2  | 11340                  | 85                          |
| 65                      | 163,8  | 12285                  | 88                          |

Tras analizar los resultados obtenidos se escoge la opción de 50 captadores solares, ya que así, se obtiene una contribución solar del 76%, por lo que se supera la contribución solar mínima exigida.

Se descarta la opción de 45 captadores por no tener margen en la contribución solar ya que es justo del 70%, esto puede traer problemas puesto que, si la contribución solar se limita al mínimo exigido, es posible que el sistema no sea capaz de satisfacer la demanda de ACS durante todo el año, especialmente en los meses con menor radiación solar. Esto podría implicar la necesidad de utilizar un sistema de apoyo con combustible fósil con mayor frecuencia, lo que aumentaría los costes energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 2.4.2 Volumen de acumulación

Se realizan nuevamente una serie de simulaciones en CHEQ4, pero esta vez manteniendo fijo el valor del

número de captadores que hemos calculado anteriormente y también nuevamente se fijará el número de captadores en serie en 1, variando únicamente la relación entre el volumen total y el área total de captadores. En la Tabla 11 se observa cómo se varía la relación volumen/área entre 50 y 100, incrementándose dicho parámetro de 10 en 10. Para una relación volumen/área de 50 l/m<sup>2</sup> se incumple la normativa HE4 del CTE, puesto que dicha relación está fuera del rango comprendido entre 50 y 180 l/m<sup>2</sup>. También se aprecia cómo para un valor similar como es 51 l/m<sup>2</sup> se cumple con la condición y tras analizar las demás variaciones de dicho parámetro se llega a la conclusión de que la contribución solar varía muy levemente con la relación volumen/área.

Tabla 11. Simulación variando el volumen total entre el área de captación.

| <b>Volumen total / Área total captadores</b><br><b>Vol/Área (l/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Volumen total</b><br><b>V(l)</b> | <b>Contribución solar</b><br><b>f (%)</b> |
|---|-------------------------------------|---|
| <b>50</b>   | 6300                                | No cumple                                 |
| <b>51</b>   | 6426                                | 72  |
| <b>60</b>   | 7560                                | 73  |
| <b>70</b>   | 8820                                | 75  |
| <b>80</b>   | 10080                               | 77  |
| <b>90</b>   | 11340                               | 78  |
| <b>100</b>  | 12600                               | 80  |

A modo de conclusión, se termina eligiendo un volumen de acumulación de 7560 l, para el cual se tiene un área de captación de 126 m<sup>2</sup> y una relación volumen/área de 60 l/m<sup>2</sup>. Se establece que, para facilitar la existencia de un volumen de acumulación adecuado en el mercado, se seleccione un volumen de 8000 l, puesto que este valor es más comercial.

### 2.4.3 Número de captadores en serie

Como última simulación, se hace una variación del número de captadores en serie, manteniendo fijados el número de captadores solares y el volumen de acumulación. En la Tabla 12 se muestra al completo la variación de dicho parámetro. Para un número de captadores en serie superior a 1 se obtiene una contribución solar que está por debajo de la mínima exigida, por lo que se concluye con un número de captadores en serie de 1.

Tabla 12. Simulación variando el número de captadores en serie Ns.

| <b>Número captadores en serie</b><br><b>Ns</b> | <b>Contribución solar</b><br><b>f (%)</b> |
|--|---|
| <b>1</b>                                       | 74  |
| <b>2</b>                                       | 69  |
| <b>3</b>                                       | 63  |
| <b>4</b>                                       | 57  |

A continuación, se muestra un breve resumen de los detalles del sistema, las características de los captadores y el rendimiento del sistema:

- Número de captadores solares: 50.
- Inclinación: 40°.
- Orientación: 0°.
- Agrupación de captadores: en paralelo.
- Marca y modelo del captador solar: Termicol, S26.
- Parámetros de la curva de rendimiento:
  - $n_0 = 0,736$ .
  - $a_1 = 3,86 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - $a_2 = 0,011 \text{ W/m}^2\text{K}^2$ .
- Caudal de ensayo:  $Q_{\text{test}} = 73,52 \text{ l/hm}^2$
- $K_{50} = 0,95$ .
- Volumen de acumulación = 8000 l.
- Volumen/Área =  $63,49 \text{ l/m}^2$ .
- Contribución solar = 74 %.

Los parámetros seleccionados para el dimensionado básico son los que se exponen en la Tabla 13. El dimensionado del sistema cumple con los requisitos del Código Técnico de la Edificación y será utilizado en el proyecto final. Adicionalmente, se muestran en las Figuras 33 y 34, las pantallas finales correspondientes al software CHEQ4 para la solución elegida.

Tabla 13. Dimensionado básico de la instalación.

| Número captadores<br>$N_c$ | Área total captadores<br>$A \text{ (m}^2\text{)}$ | Volumen total<br>$V \text{ (l)}$ | Número captadores en serie<br>$N_s$ | Contribución solar<br>$f \text{ (%)}$ |
|----------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 50                         | 126   | 8000                             | 1                                   | 74                                    |

## 2.5 Disposición de captadores

Los captadores solares se organizarán en una configuración compuesta por 10 filas conectadas en paralelo y cada fila conformada a su vez por 5 captadores conectados también en paralelo. Dichos captadores se instalarán estratégicamente en la cubierta del centro de día, aprovechando esta zona como la más idónea para su óptimo funcionamiento. Si bien la zona residencial podría parecer una ubicación inicial atractiva, la presencia de ventanales en la cubierta sobre la sala de máquinas limita el espacio disponible, impidiendo la correcta agrupación de la instalación.

La orientación ideal para los captadores solares depende de diversos factores, incluyendo la época del año en que se busca maximizar la producción de energía, el tipo de energía solar, el sistema solar utilizado y las características específicas de la ubicación. En el caso de Algeciras, se seleccionará una orientación de 0°, ya que esta recibe la mayor cantidad de radiación solar durante todo el año, convirtiéndola en la opción más favorable para optimizar la generación de energía solar.

La inclinación óptima para los captadores solares en esta zona geográfica, considerando su latitud, se encuentra entre 22° y 46°. Tomando en cuenta un 3% de pérdidas por sombras, se establecerá una inclinación de 40° para maximizar la captación de energía solar.

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

RSIT IDAE

**VOLUMEN DE ACUMULACIÓN**  
 Volumen total (l)

Vol/Área (l/m2) 63,49

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

**VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES**  
 Tipo A (l)  Tipo C (l)   
 Tipo B (l)  Tipo D (l)

Volumen total (l) 0 Vol/Área (l/m2)

**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

Datos proyecto Nuevo proyecto Abrir proyecto Guardar proyecto Ayuda Acerca de... Salir

Figura 34. Otros parámetros de la instalación

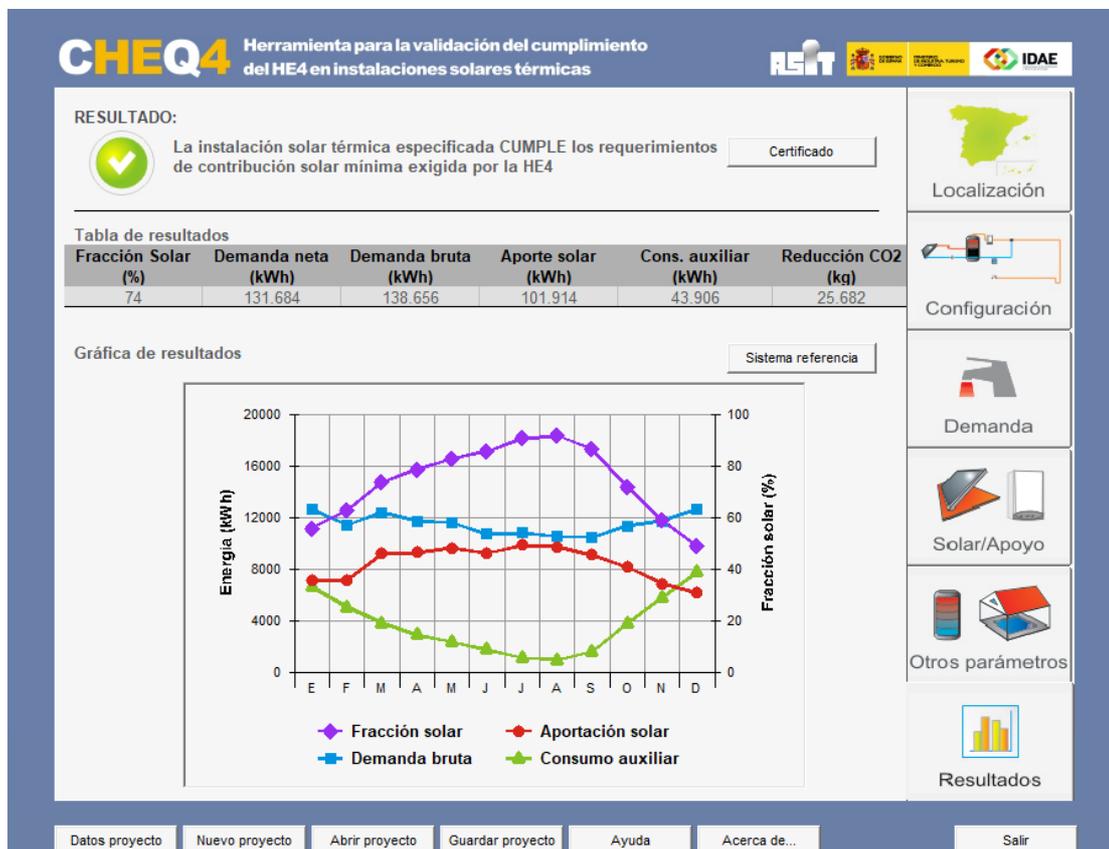


Figura 33. Resultados de CHEQ4 de la solución final.

Para aprovechar al máximo la energía del sol, es crucial minimizar las sombras que unas filas de captadores proyectan sobre otras. La clave está en calcular la distancia ideal entre ellas, considerando factores como la altura de la fila de captadores, la ubicación geográfica, la época del año y la hora del día. Dicha distancia que buscamos calcular es  $d_1$ , la cual se representa en la Figura 35.

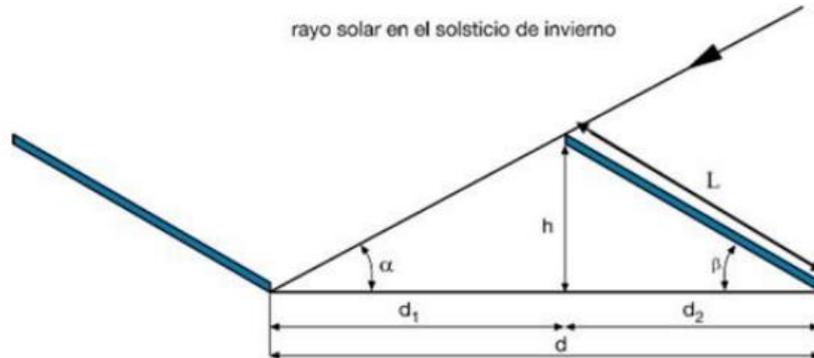


Figura 35. Separación entre filas de captadores solares (11).

La distancia  $d_1$  se calcula mediante la siguiente expresión:

$$d_1 = \frac{h}{\tan \alpha} = \frac{h}{\tan(90 - \theta_z)}$$

Donde:

$h$ : altura de la fila de captadores

$\alpha$ : altura solar

$\theta_z$ : ángulo cenital solar

La altura de la fila de captadores ( $h$ ) resulta de multiplicar la longitud del captador solar ( $L$ ) y el seno de la inclinación ( $\beta$ ):

$$h = L \cdot \sin \beta \quad (1)$$

De igual forma, la distancia horizontal que abarca una fila de captadores ( $d_2$ ) se puede calcular multiplicando nuevamente la longitud del captador solar pero esta vez por el coseno de la inclinación:

$$d_2 = L \cdot \cos \beta \quad (2)$$

Sabiendo que la longitud del captador solar es 2,047 m (información facilitada del catálogo de este) y que la inclinación es de 40 °, obtenemos de las ecuaciones (1) y (2) que la altura de la fila de captadores es 1,32 m y que la longitud ocupada por una fila de captadores es de 1,57 m.

El ángulo cenital solar ( $\theta_z$ ) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos w_s$$

Donde:

$\delta$ : declinación solar

$\varphi$ : latitud

$w_s$ : ángulo horario

De esta manera, se calcula la separación entre filas de captadores solares para cada ciclo estacional (equinoccio de primavera, solsticio de verano, equinoccio de otoño y solsticio de invierno) como se expone en la Tabla 14. Dichas distancias se han calculado a las 12:00 hora solar en cada ciclo estacional.

Cabe destacar que el solsticio de invierno es el momento del año más desfavorable para la instalación de captadores solares debido a la menor altura del sol y, por tanto, menor radiación solar. Otro motivo de ello es la duración del día, puesto que en el solsticio de invierno los días son más cortos, lo que significa que los captadores solares reciben menos horas de luz solar durante el día. Por ello se decide establecer una separación entre filas de captadores solares de 1,98 m.

Tabla 14. Separación entre filas de captadores según el ciclo estacional.

| Día            | n   | Declin solar |        | Ang horario |      | Ang cenital |       |       | Alt solar | d1 (m) |
|----------------|-----|--------------|--------|-------------|------|-------------|-------|-------|-----------|--------|
|                |     | °            | rad    | °           | rad  | cos         | rad   | °     | °         |        |
| Equin primav   | 79  | -0,807       | -0,014 | 0           | 0,00 | 0,799       | 0,645 | 36,93 | 53,07     | 0,99   |
| Solst verano   | 171 | 23,445       | 0,409  | 0           | 0,00 | 0,976       | 0,221 | 12,68 | 77,32     | 0,3    |
| Equin otoño    | 265 | -0,605       | -0,011 | 0           | 0,00 | 0,802       | 0,641 | 36,73 | 53,27     | 0,98   |
| Solst invierno | 324 | -20,241      | -0,353 | 0           | 0,00 | 0,554       | 0,984 | 56,36 | 33,64     | 1,98   |

La separación de la primera fila de captadores del pretil de la cubierta (Figura 36) se calcula utilizando el mismo procedimiento que para la separación entre filas de captadores. Sin embargo, en este caso, en lugar de utilizar la altura de la fila de captadores, se emplea la altura del pretil, la cual es 1,2 m. Realizando el cálculo para el solsticio de invierno, debido a lo expuesto anteriormente, se obtiene que la separación de la primera fila de captadores del pretil de la cubierta es de 1,80 m.

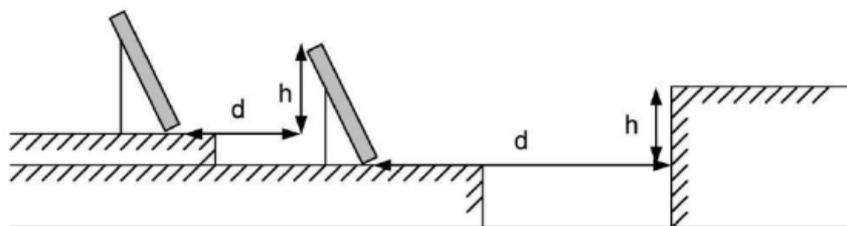


Figura 36. Separación entre una fila de captadores y el pretil de la cubierta (11).

## 2.6 Dimensionado del interacumulador solar

En esta sección, se verifica si el serpentín dentro del acumulador solar tiene un tamaño adecuado para transferir suficiente calor.

Previamente, se calculó con el software CHEQ4 que la residencia de ancianos necesitaba un volumen de acumulación solar de 8000 litros. Por lo tanto, se seleccionan dos interacumuladores del modelo MXV-4000-SSB de Lapesa, de esta manera, se tiene la capacidad necesaria. Este modelo debería ser suficiente para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de la residencia de ancianos, incluso durante el invierno, cuando el consumo es mayor.

Para comprobar si el modelo elegido es adecuado para las necesidades del edificio en cuestión, analizaremos varios parámetros:

- Superficie de intercambio

Se recomienda que la superficie del serpentín interior del acumulador solar (S) sea al menos el 15% del área total de los captadores solares (A).

$$S \geq 0,15 \cdot A$$

En base a la expresión anterior y sabiendo que el área de captación de nuestra instalación es 126 m<sup>2</sup>, nos queda que la superficie útil de intercambio debe ser mayor o igual a 18,9 m<sup>2</sup>. Al seleccionar dos interacumuladores, aumentamos la superficie de intercambio, ya que cada serpentín tiene una superficie de intercambio de 8,4 m<sup>2</sup>, por lo que se tiene una superficie total de intercambio de 16,8 m<sup>2</sup>, lo que supone un 13,3% del área total de captación, valor del mismo orden de magnitud que el expuesto anteriormente. Si se hubiera seleccionado un único interacumulador de mayor capacidad se habría obtenido un área de intercambio menor y esto penalizaría el rendimiento del sistema.

- Relación entre el volumen de acumulación y el consumo diario de nuestra instalación

Es aconsejable que dicha relación se encuentre entre 0,8 y 1,2.

$$\frac{V_{ACUM}}{D_{ACS\ TOTAL}} = \frac{8000}{6970} = 1,15$$

- Relación entre el volumen de acumulación y el área de captación

Es recomendable que esta relación esté dentro del rango comprendido entre 50 y 180 l/m<sup>2</sup>.

$$50 < \frac{V_{ACUM}}{A_{CAPT}} < 180$$

En nuestro caso se cumple, ya que se obtiene 63,49 l/m<sup>2</sup>.

## 2.7 Dimensionado aerotermo

Como medida de protección contra altas temperaturas y con el objetivo de reducir la temperatura del fluido que circula por el circuito primario en 5 °C se instala un aerotermo.

El dimensionamiento de este accesorio se realiza en función del caudal de agua que circula por el circuito primario, que en este caso es 9,26 m<sup>3</sup>/h. En base a nuestro caudal escogemos el modelo AMS-1681 del fabricante Ferco floor. Este modelo está pensado para un caudal de 11,5 m<sup>3</sup>/h y tiene una potencia de disipación de 159 kW. Esta unidad está pensada para una temperatura de entrada del aire de 35 °C y una temperatura de entrada del fluido hasta 105 °C. Para este modelo, la pérdida de carga del agua en el aerotermo es de 2,9 m.c.a, lo que equivale a 28,44 kPa. En la Figura 37, se muestran las principales características del equipo seleccionado.

| Código   | Potencia (kW) | Cosumo (W) | Qagua (m <sup>3</sup> /h) | Peso (kg) | Niv. Son dB (A) | Dimensiones |      |     |      |     | Conexiones GAS |
|----------|---------------|------------|---------------------------|-----------|-----------------|-------------|------|-----|------|-----|----------------|
|          |               |            |                           |           |                 | A           | B    | C   | E    | F   |                |
| AMS-831  | 79.9          | 1150x1     | 5.8                       | 91        | 45              | 1265        | 1070 | 907 | 1004 | 575 | 1 ½"           |
| AMS-1002 | 101           | 1150x1     | 7.3                       | 98        | 45              | 1265        | 1070 | 884 | 1004 | 575 | 2"             |
| AMS-1151 | 116           | 1150x1     | 8.4                       | 105       | 45              | 1265        | 1070 | 884 | 1004 | 575 | 2"             |
| AMS-1681 | 159           | 1150x2     | 11.5                      | 157       | 53              | 2305        | 1070 | 881 | 2045 | 655 | 2 ½"           |
| AMS-2171 | 201           | 1150x2     | 14.5                      | 171       | 53              | 2305        | 1070 | 881 | 2045 | 655 | 2 ½"           |
| AMS-2402 | 226           | 1150x2     | 16.4                      | 185       | 53              | 2305        | 1070 | 881 | 2045 | 655 | 2 ½"           |

Figura 37. Selección modelo Aerotermo (9).

## 2.8 Dimensionado red de tuberías

En este apartado se realiza el dimensionamiento y análisis del circuito hidráulico de la instalación solar térmica. Se determinará el diámetro adecuado de las tuberías y se calculará la pérdida de carga en cada tramo. A partir de este análisis, se evaluará el posible desequilibrio entre los circuitos en paralelo y se identificará la pérdida de

carga más desfavorable.

Los captadores solares se han agrupado en conjuntos de 5 unidades por fila. Esta disposición facilita el dimensionado y la instalación de las tuberías.

Se utilizará agua como fluido caloportador, ya que las condiciones climáticas de la zona no justifican el uso de una mezcla anticongelante. Para evitar la congelación del agua en los captadores, el sistema de control activará la bomba cuando la temperatura en los captadores descienda por debajo de 5 °C.

### a) Caudal del circuito primario

El diseño del circuito primario en una instalación solar térmica requiere un enfoque integral que considere múltiples factores interrelacionados. Para ello, se calcula el caudal de diseño para cada tramo de tubería y batería de captadores, buscando un equilibrio entre la recomendación del fabricante, la maximización del aporte energético y la minimización de las pérdidas de carga.

El caudal del circuito primario se calcula como:

$$Q_{\text{prim}} = Q_{\text{ens}} \cdot A_{\text{TOTAL CAPT}} = Q_{\text{ens}} \cdot \frac{N_{\text{captadores}}}{N_{\text{serie}}} \cdot A_{\text{captador}}$$

Siendo:

$Q_{\text{prim}}$  : caudal total del fluido caloportador que circula por el circuito primario (l/h)

$Q_{\text{ens}}$  : caudal volumétrico específico del ensayo (l/h m<sup>2</sup>)

$A_{\text{TOTAL CAPT}}$  : área total de captación solar (m<sup>2</sup>)

$N_{\text{captadores}}$  : número de captadores que conforma el campo de captación

$N_{\text{serie}}$  : número de captadores en serie (siendo 1 en nuestro caso)

$A_{\text{captador}}$  : área de un captador (m<sup>2</sup>)

Sustituyendo los datos obtenidos de nuestra instalación en la expresión anterior nos queda que:

$$Q_{\text{prim}} = 73,52 \left( \frac{\text{l}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \right) \cdot 50 (\text{captadores}) \cdot 2,52 \left( \frac{\text{m}^2}{\text{captador}} \right) = 9.263,52 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

### b) Pérdidas de carga en los captadores solares

Para el cálculo de la pérdida de carga en cada captador el fabricante TERMICOL adjunta en la ficha técnica la caída de presión para distintos caudales (Figura 38), así como, la ecuación de esta.

| Caída de presión      |                                  |     |     |     |     |
|-----------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Caudal (l/h)          | 48                               | 84  | 120 | 150 | 186 |
| Caída de presión (Pa) | 57                               | 112 | 179 | 244 | 332 |
| Ecuación (Pa)         | $\Delta H = 0,004 Q^2 + 0,970 Q$ |     |     |     |     |

Figura 38. Información técnica del captador para la caída de presión (20).

Previamente al cálculo de la pérdida de carga de cada captador se debe conocer el caudal que pasa por cada captador y se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{\text{captador}} = Q_{\text{ens}} \cdot A_{\text{captador}} = 73,52 \left( \frac{\text{l}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \right) \cdot 2,52 \left( \frac{\text{m}^2}{\text{captador}} \right) = 185,27 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Una vez que se conoce el caudal que circula por cada captador se representan los puntos facilitados por el fabricante para la caída de presión, que se corresponden con la ecuación también proporcionada (Figura 37).

En la Figura 39, analizando la gráfica para el caudal calculado que pasa por cada captador se obtiene la pérdida de carga para cada uno de los captadores:

$$\Delta p_{\text{captador}} = \Delta p \left( Q = 185,27 \frac{\text{l}}{\text{h}} \right) = 330 \text{ Pa} = \mathbf{0,33 \text{ kPa}}$$

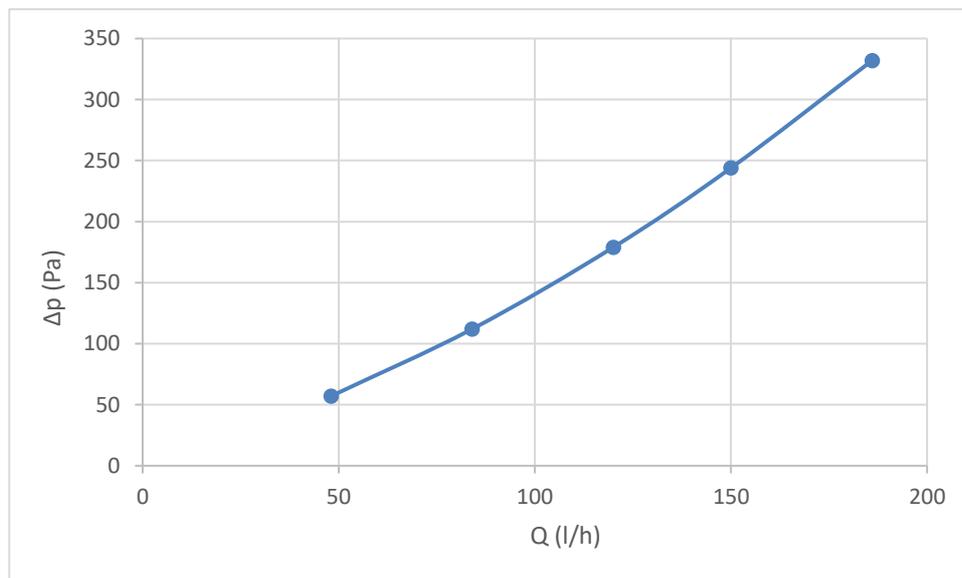


Figura 39. Pérdida de carga del captador en función del caudal (20).

### c) Pérdidas de carga en el interacumulador

El fabricante LAPESA proporciona para cada modelo de interacumulador un diagrama de las pérdidas de carga entre conexiones de entrada y salida de circuito primario para diferentes caudales de circulación (Figura 40).

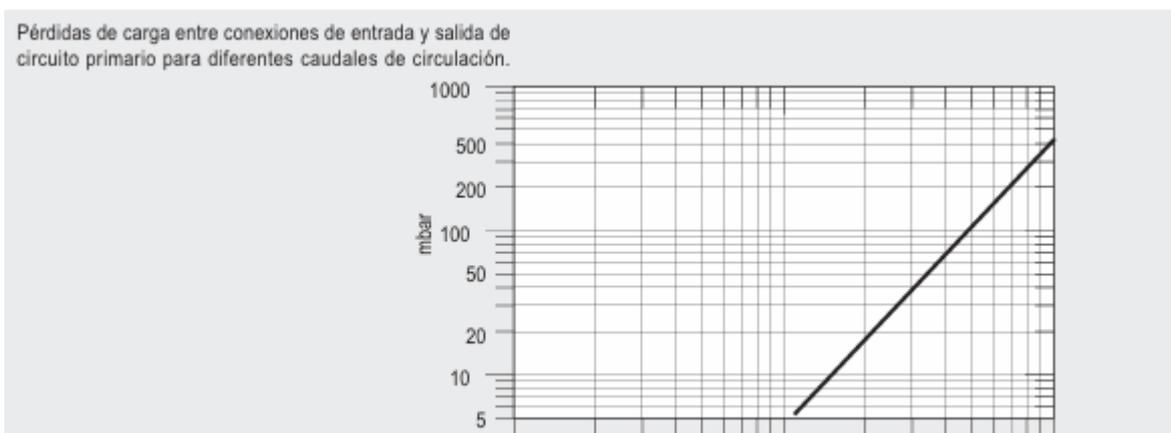


Figura 40. Pérdida de carga entre conexiones de entrada y salida del interacumulador solar (12).

Observando el diagrama de nuestro modelo MXV-4000-SSB (Figura 38) obtenemos la siguiente pérdida de carga para cada interacumulador:

$$\Delta p_{\text{interacumulador}} = \Delta p \left( Q = 9,26 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 430 \text{ mbar} = \mathbf{43 \text{ kPa}}$$

Por tanto, la pérdida de carga total en los dos interacumuladores en serie será la suma de ambos quedando:

$$\Delta p_{\text{total interacumuladores}} = \mathbf{86 \text{ kPa}}$$

#### d) Cálculo de la red de tuberías

Para un correcto dimensionamiento de la red de tuberías en la instalación, es fundamental atender a las siguientes recomendaciones del pliego de condiciones técnicas del IDAE:

- La velocidad máxima del fluido en locales habitados debe ser inferior a 2 m/s mientras que en zonas exteriores se permite una velocidad máxima de hasta 3 m/s. En este caso, dado que las tuberías se ubican principalmente en la cubierta de la residencia, se tomará como referencia el límite de 3 m/s.
- Las pérdidas de carga por metro lineal de tubería no deben superar los 40 mm.c.a/m cuando se transporte agua.
- Se debe emplear tuberías con diámetros normalizados.

La red de tuberías se divide en secciones o tramos, considerando el caudal del fluido que circula por cada uno y la dirección en la que lo hace. El caudal en cada tramo se calcula a partir del caudal total en un captador y la configuración específica de la red de tuberías. Para ello se representa en la Figura 41 la distribución de tramos de la red de tuberías que conforman el circuito primario.

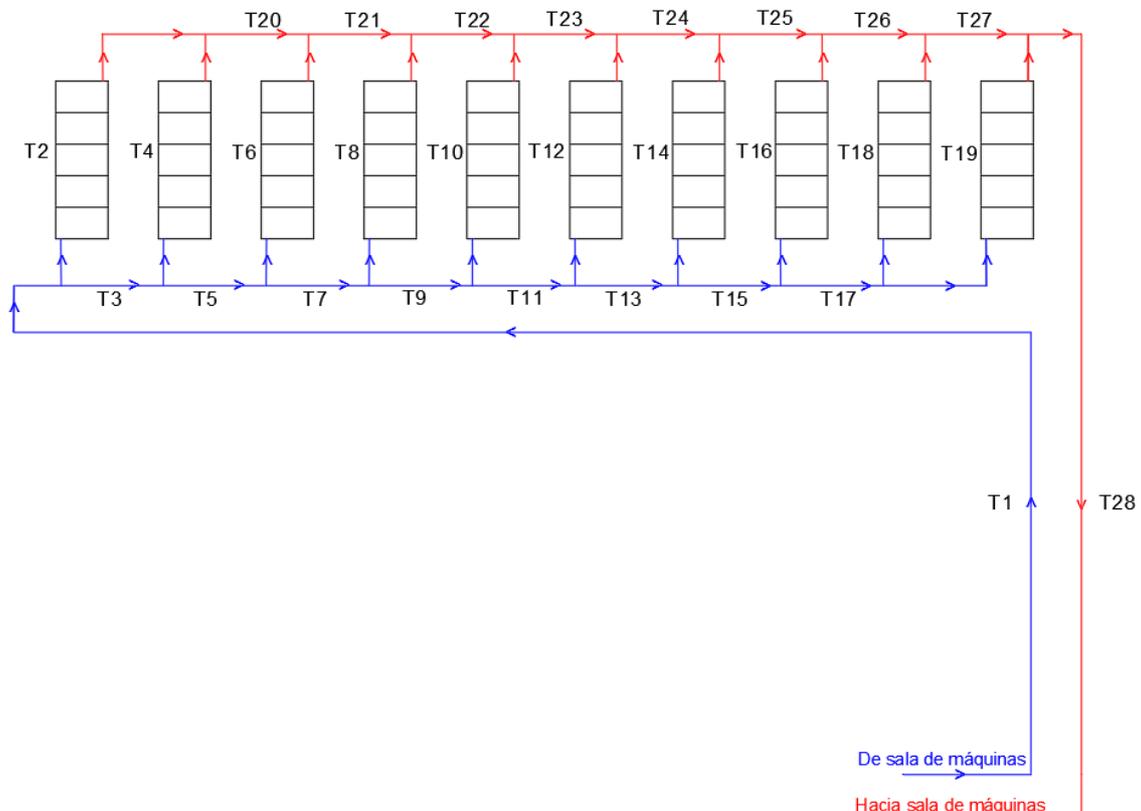


Figura 41. Distribución de tuberías en cubierta.

Para determinar la pérdida de carga en las tuberías del circuito primario se ha empleado una hoja de cálculo de Excel desarrollada por el profesor D. Juan Francisco Coronel Toro. El proceso comienza definiendo el material de las tuberías, en nuestro caso cobre, y la temperatura del fluido que circula por ellas, seleccionamos una temperatura de 60 °C.

El diámetro de cada tramo se define en función del caudal que circula por él, considerando las restricciones técnicas de velocidad y pérdida de carga recomendadas. La Tabla 15 proporciona una guía que relaciona el diámetro con el caudal que cumple simultáneamente ambas restricciones. El caudal de diseño para cada diámetro se selecciona como el valor mínimo entre las dos opciones posibles.

El punto de partida para dimensionar la red de tuberías es el caudal del fluido en cada tramo. Utilizando la Tabla 15 y el caudal de diseño correspondiente, se termina el diámetro adecuado para cada tramo de la red.

Tabla 15. Diámetros normalizados en función del caudal (8).

| D (") | D(mm)  | V 400Pa (l/h) | V 1.2m/s (l/h) | Caudal Lim   |
|-------|--------|---------------|----------------|--------------|
| 1/4   | 6,35   | 42            | 137            | <b>42</b>    |
| 3/8   | 9,53   | 128           | 308            | <b>128</b>   |
| 1/2   | 12,70  | 281           | 547            | <b>281</b>   |
| 3/4   | 19,05  | 840           | 1231           | <b>840</b>   |
| 1     | 25,40  | 1820          | 2189           | <b>1820</b>  |
| 1-1/4 | 31,75  | 3311          | 3420           | <b>3311</b>  |
| 1-1/2 | 38,10  | 5391          | 4925           | <b>4925</b>  |
| 2     | 50,80  | 11612         | 8756           | <b>8756</b>  |
| 2-1/2 | 63,50  | 21021         | 13681          | <b>13681</b> |
| 3     | 76,20  | 34105         | 19701          | <b>19701</b> |
| 3-1/2 | 88,90  | 51313         | 26815          | <b>26815</b> |
| 4     | 101,60 | 73066         | 35024          | <b>35024</b> |
| 5     | 127,00 | 131765        | 54724          | <b>54724</b> |

Conocidos el caudal y el diámetro de cada tramo en la red de tuberías, la velocidad del fluido se puede calcular de manera sencilla mediante la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{A_{\text{paso}}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

Siendo:

v: velocidad de circulación del fluido (m/s)

Q: caudal de circulación del fluido por el interior de la tubería (m<sup>3</sup>/s)

A<sub>paso</sub>: área transversal de la tubería (m<sup>2</sup>)

D: diámetro interior de la tubería (m)

En la Tabla 16 se detallan las pérdidas de carga lineales en cada tramo de tubería, una vez calculada la longitud de cada tramo, así como, el caudal que circula por cada uno y la velocidad de circulación del fluido.

La pérdida de carga no solo se debe a la fricción en las tuberías rectas, sino también a la resistencia adicional que introducen los accesorios presentes en el sistema. Para calcular esta pérdida de carga, se emplea un método que involucra la longitud equivalente de cada accesorio.

La longitud equivalente de un accesorio es la longitud de tubería recta que, al incluirla en el cálculo de la pérdida de carga, produce la misma pérdida de carga que el accesorio en cuestión. Esta longitud depende del tipo de accesorio y del diámetro de la tubería como se puede ver en la Tabla 17, la cual es fundamental para determinar la longitud equivalente de cada accesorio presente en el sistema.

Tabla 16. Pérdida de carga lineal por tramos.

| <b>Tramo</b> | <b>Longitud (m)</b> | <b>Caudal (l/h)</b> | <b>D (mm)</b> | <b>v (m/s)</b> | <b><math>\Delta p</math> lineal (Pa/m)</b> |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------|----------------|--|
| <b>T1</b>    | 118,54              | 9263,5              | 63,5          | 0,81           | 90,8                                       |
| <b>T2</b>    | 13,97               | 926,35              | 25,4          | 0,51           | 120,4                                      |
| <b>T3</b>    | 4,03                | 8337,15             | 50,8          | 1,14           | 219,7                                      |
| <b>T4</b>    | 9,94                | 926,35              | 25,4          | 0,51           | 120,4                                      |
| <b>T5</b>    | 4,03                | 7410,8              | 50,8          | 1,02           | 177,7                                      |
| <b>T6</b>    | 9,94                | 926,35              | 25,4          | 0,51           | 120,4                                      |
| <b>T7</b>    | 4,03                | 6484,45             | 50,8          | 0,89           | 139,8                                      |
| <b>T8</b>    | 9,94                | 926,35              | 25,4          | 0,51           | 120,4                                      |
| <b>T9</b>    | 4,03                | 5558,1              | 50,8          | 0,76           | 106,0                                      |
| <b>T10</b>   | 9,94                | 926,35              | 25,4          | 0,51           | 120,4                                      |
| <b>T11</b>   | 4,03                | 4631,75             | 38,1          | 1,13           | 304,3                                      |
| <b>T12</b>   | 9,94                | 926,35              | 25,4          | 0,51           | 120,4                                      |
| <b>T13</b>   | 4,03                | 3705,4              | 38,1          | 0,9            | 203,9                                      |
| <b>T14</b>   | 9,94                | 926,35              | 25,4          | 0,51           | 120,4                                      |
| <b>T15</b>   | 4,03                | 2779,05             | 31,75         | 0,98           | 292,2                                      |
| <b>T16</b>   | 9,94                | 926,35              | 25,4          | 0,51           | 120,4                                      |
| <b>T17</b>   | 4,03                | 1852,7              | 31,75         | 0,65           | 141,7                                      |
| <b>T18</b>   | 9,94                | 926,35              | 25,4          | 0,51           | 120,4                                      |
| <b>T19</b>   | 13,97               | 926,35              | 25,4          | 0,51           | 120,4                                      |
| <b>T20</b>   | 4,03                | 1852,7              | 31,75         | 0,65           | 141,7                                      |
| <b>T21</b>   | 4,03                | 2779,05             | 31,75         | 0,98           | 292,2                                      |
| <b>T22</b>   | 4,03                | 3705,4              | 38,1          | 0,9            | 203,9                                      |
| <b>T23</b>   | 4,03                | 4631,75             | 38,1          | 1,13           | 304,3                                      |
| <b>T24</b>   | 4,03                | 5558,1              | 50,8          | 0,76           | 106,0                                      |
| <b>T25</b>   | 4,03                | 6484,45             | 50,8          | 0,89           | 139,8                                      |
| <b>T26</b>   | 4,03                | 7410,8              | 50,8          | 1,02           | 177,7                                      |
| <b>T27</b>   | 4,03                | 8337,15             | 50,8          | 1,14           | 219,7                                      |
| <b>T28</b>   | 84,4                | 9263,5              | 63,5          | 0,81           | 90,8                                       |
| <b>T29</b>   | 11,75               | 9263,5              | 63,5          | 0,81           | 90,8                                       |

Tabla 17. Longitudes equivalentes de accesorios para tuberías de cobre (8).

| Diámetro nominal (") | Codo 90° | Curva 90° | Curva 45° | Codo doble 180° | Curva doble 180° | 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                |

En la Tabla 18 se muestra la longitud de los accesorios en cada tramo de tubería, así como, la pérdida de carga por cada tubería (dependiendo ésta de la longitud de la misma, la longitud de los accesorios y la pérdida de carga lineal en cada tramo) y la pérdida de carga que introduce cada equipo (captadores solares e interacumuladores) en los respectivos tramos a los que afectan. Cabe destacar que los interacumuladores solares se incluyen en el tramo T28. También en la Tabla 18 se calcula la pérdida de carga total en cada tramo para el circuito primario y secundario, respectivamente, según la siguiente ecuación:

$$\Delta p_{\text{total}} = \Delta p_{\text{tubería}} + \Delta p_{\text{equipo}} = (L_{\text{tubería}} + L_{\text{accesorios}}) * \Delta p_{\text{lineal}} + \Delta p_{\text{equipo}}$$

En la Tabla 19 se muestran los posibles caminos más desfavorables de la instalación, obteniendo en los lazos 3 y 8 la mayor pérdida de carga del circuito (144,03 kPa). El mayor desequilibrio es del 0,7 %, por lo que concluimos diciendo que el sistema está equilibrado hidráulicamente, puesto que no hay ningún lazo con un desequilibrio superior al 10%.

## 2.9 Dimensionado bomba de circulación

El Código Técnico de la Edificación (CTE), en su documento HE4 sobre instalaciones solares térmicas, establece algunas directrices importantes para el correcto funcionamiento de las bombas de circulación en estos sistemas. A continuación, se detallan estas recomendaciones de manera clara y concisa:

- Caída de presión controlada:
  - Es fundamental mantener una caída de presión aceptablemente baja en todo el circuito de captadores. Esto garantiza un flujo adecuado del fluido y evita la sobrecarga de la bomba.
- Ubicación estratégica de las bombas:
  - Siempre que sea posible, se recomienda instalar las bombas en línea en las zonas más frías del circuito. Esto reduce el riesgo de cavitación, un fenómeno que puede dañar la bomba y afectar el rendimiento del sistema.
  - Es crucial que el eje de rotación de la bomba se mantenga en posición horizontal durante la instalación.
- Redundancia en instalaciones de gran tamaño:
  - Para instalaciones con una superficie superior a 50 m<sup>2</sup>, se exige la instalación de dos bombas idénticas en paralelo, tanto en el circuito primario como en el secundario.
  - Una de estas bombas funcionará como reserva, asegurando el funcionamiento continuo del sistema en caso de fallo de la bomba principal.
  - El funcionamiento alternativo de las bombas debe estar previamente previsto, pudiendo ser manual o automático.

Tabla 18. Pérdidas de carga total en tramos circuito primario.

| Tramo | Accesorios   | L tub (m) | L acces (m) | $\Delta p$ tub (kPa) | $\Delta p$ equipo (kPa) | $\Delta p$ total (kPa) |
|-------|--|-----------|-------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| T1    | 2 T der, 6 válv esfér, 1 válv reten, 8 codos (90°) | 118,54    | 181,47      | 27,25                | 0                       | 27,25                  |
| T2    | 1 T alin, 1 T der, 2 válv esféricas, 2 codos (90°) | 13,97     | 24,18       | 4,59                 | 0,33                    | 4,92                   |
| T3    | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,49        | 1                    | 0                       | 1                      |
| T4    | 2 T derivadas, 2 válvulas esféricas, 1 codo (90°)  | 9,94      | 24,46       | 4,14                 | 0,33                    | 4,47                   |
| T5    | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,49        | 0,80                 | 0                       | 0,80                   |
| T6    | 2 T derivadas, 2 válvulas esféricas, 1 codo (90°)  | 9,94      | 24,46       | 4,14                 | 0,33                    | 4,47                   |
| T7    | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,49        | 0,63                 | 0                       | 0,63                   |
| T8    | 2 T derivadas, 2 válv esféricas, 1 codo (90°)      | 9,94      | 24,46       | 4,14                 | 0,33                    | 4,47                   |
| T9    | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,49        | 0,48                 | 0                       | 0,48                   |
| T10   | 2 T der, 2 válv esféricas, 1 codo (90°)            | 9,94      | 24,46       | 4,14                 | 0,33                    | 4,47                   |
| T11   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,37        | 1,34                 | 0                       | 1,34                   |
| T12   | 2 T derivadas, 2 válvulas esféricas, 1 codo (90°)  | 9,94      | 24,46       | 4,14                 | 0,33                    | 4,47                   |
| T13   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,37        | 0,90                 | 0                       | 0,90                   |
| T14   | 2 T derivadas, 2 válvulas esféricas, 1 codo (90°)  | 9,94      | 24,46       | 4,14                 | 0,33                    | 4,47                   |
| T15   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,31        | 1,27                 | 0                       | 1,27                   |
| T16   | 2 T derivadas, 2 válvulas esféricas, 1 codo (90°)  | 9,94      | 24,46       | 4,14                 | 0,33                    | 4,47                   |
| T17   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,31        | 0,61                 | 0                       | 0,61                   |
| T18   | 2 T derivadas, 2 válvulas esféricas, 1 codo (90°)  | 9,94      | 24,46       | 4,14                 | 0,33                    | 4,47                   |
| T19   | 1 T alin, 1 T der, 2 válv esféricas, 2 codos (90°) | 13,97     | 24,18       | 4,59                 | 0,33                    | 4,92                   |
| T20   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,31        | 0,61                 | 0                       | 0,61                   |
| T21   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,31        | 1,27                 | 0                       | 1,27                   |
| T22   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,37        | 0,90                 | 0                       | 0,90                   |
| T23   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,37        | 1,34                 | 0                       | 1,34                   |
| T24   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,49        | 0,48                 | 0                       | 0,48                   |
| T25   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,49        | 0,63                 | 0                       | 0,63                   |
| T26   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,49        | 0,80                 | 0                       | 0,80                   |
| T27   | 1 T alineada                                       | 4,03      | 0,49        | 0,99                 | 0                       | 0,99                   |
| T28   | 1 T alineada, 4 válvulas esféricas, 6 codos (90°)  | 84,4      | 114,99      | 18,11                | 86                      | 104,11                 |
| T29   | 4 válvulas esféricas, 4 codos (90°)                | 11,75     | 112,2       | 11,26                | 0                       | 11,26                  |

Tabla 19. Circuito más desfavorable de la instalación y desequilibrios.

| Lazos | Tramos atravesados                                      | $\Delta p$ circuito (kPa) | Desequilibrio (%) |
|-------|---|---------------------------|-------------------|
| 1     | T1, T2, T20, T21, T22, T23, T24, T25, T26, T27, T28     | 143,30                    | 0,5               |
| 2     | T1, T3, T4, T20, T21, T22, T23, T24, T25, T26, T27, T28 | 143,85                    | 0,1               |
| 3     | T1, T3, T5, T6, T21, T22, T23, T24, T25, T26, T27, T28  | 144,03                    | 0,0               |
| 4     | T1, T3, T5, T7, T8, T22, T23, T24, T25, T26, T27, T28   | 143,40                    | 0,4               |
| 5     | T1, T3, T5, T7, T9, T10, T23, T24, T25, T26, T27, T28   | 142,98                    | 0,7               |
| 6     | T1, T3, T5, T7, T9, T11, T12, T24, T25, T26, T27, T28   | 142,98                    | 0,7               |
| 7     | T1, T3, T5, T7, T9, T11, T13, T14, T25, T26, T27, T28   | 143,40                    | 0,4               |
| 8     | T1, T3, T5, T7, T9, T11, T13, T15, T16, T26, T27, T28   | 144,03                    | 0,0               |
| 9     | T1, T3, T5, T7, T9, T11, T13, T15, T17, T18, T27, T28   | 143,85                    | 0,1               |
| 10    | T1, T3, T5, T7, T9, T11, T13, T15, T17, T19, T28        | 143,30                    | 0,5               |

Como el área de captación es 126 m<sup>2</sup> y es superior a 50 m<sup>2</sup>, se deberá disponer de dos bombas.

A continuación, pasamos a calcular la pérdida de carga que debe vencer la bomba, la cual es la pérdida de carga del circuito más desfavorable más un margen de seguridad del 5%, tal y como se detalla en la siguiente ecuación:

$$H_{\text{manométrica}} = \Delta p_{\text{circuito\_MÁX}} \cdot (1 + 5\%_{\text{seguridad}})$$

$$H_{\text{manométrica}} = 144,03 \cdot (1 + 0,05) = 151,23 \text{ kPa} = 15,123 \text{ m. c. a}$$

Para el modelo de bomba seleccionado, Yonos MAXO-Z 65/0,5-16 de la marca Wilo, observamos que, para el caudal del circuito primario de nuestra instalación (9,26 m<sup>3</sup>/h), según la curva característica de dicho modelo, se consigue una altura de impulsión ligeramente superior a la que estamos buscando, lo cual hace que sea válido, puesto que se consigue superar la pérdida de carga máxima del circuito que hemos calculado previamente. Esto se puede apreciar en la Figura 42, donde se representa la curva característica de la bomba seleccionada en la que se representa la altura de impulsión y el caudal de esta. Adicionalmente a lo anterior, cabe destacar que dicho modelo de bomba es monofásico y tiene un consumo eléctrico mínimo de 40 W y máximo de 1450 W.



Figura 42. Curva característica H-Q de la bomba seleccionada (21).

## 2.10 Dimensionado vaso de expansión

Para determinar la capacidad adecuada del vaso de expansión en una instalación solar térmica, nos basaremos en la norma UNE 100155-2004. Esta norma proporciona una metodología clara y precisa para realizar este cálculo de manera rigurosa, la cual se describe a continuación:

### 1) Volumen total del circuito

$$V_{TOTAL} = V_{tuberías} + V_{captadores} + V_{interacumuladores}^{serpentin} + V_{seguridad}$$

#### - Volumen en tuberías

$$V_{tuberías} = \sum_{i=1}^{28} \pi \cdot \frac{D_i^2}{4} \cdot L_{i\text{tubería}}$$

La fórmula mencionada anteriormente nos indica que el volumen de fluido en una tubería varía en función de su longitud. Esto implica que, para determinar el volumen total del fluido en una instalación con tuberías de diferentes longitudes, es necesario realizar un cálculo segmentado y luego sumar los volúmenes individuales de cada tramo. En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 20. Volumen en tuberías del circuito hidráulico.

| <b>Tramo</b> | <b>Longitud tubería</b> | <b>Diámetro tubería</b> | <b>Volumen tubería</b> |
|--------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| <b>T1</b>    | 118,54                  | 63,5                    | 375,41                 |
| <b>T2</b>    | 13,97                   | 25,4                    | 7,08                   |
| <b>T3</b>    | 4,03                    | 50,8                    | 8,17                   |
| <b>T4</b>    | 9,94                    | 25,4                    | 5,04                   |
| <b>T5</b>    | 4,03                    | 50,8                    | 8,17                   |
| <b>T6</b>    | 9,94                    | 25,4                    | 5,04                   |
| <b>T7</b>    | 4,03                    | 50,8                    | 8,17                   |
| <b>T8</b>    | 9,94                    | 25,4                    | 5,04                   |
| <b>T9</b>    | 4,03                    | 50,8                    | 8,17                   |
| <b>T10</b>   | 9,94                    | 25,4                    | 5,04                   |
| <b>T11</b>   | 4,03                    | 38,1                    | 4,59                   |
| <b>T12</b>   | 9,94                    | 25,4                    | 5,04                   |
| <b>T13</b>   | 4,03                    | 38,1                    | 4,59                   |
| <b>T14</b>   | 9,94                    | 25,4                    | 5,04                   |
| <b>T15</b>   | 4,03                    | 31,75                   | 3,19                   |
| <b>T16</b>   | 9,94                    | 25,4                    | 5,04                   |
| <b>T17</b>   | 4,03                    | 31,75                   | 3,19                   |
| <b>T18</b>   | 9,94                    | 25,4                    | 5,04                   |
| <b>T19</b>   | 13,97                   | 25,4                    | 7,08                   |
| <b>T20</b>   | 4,03                    | 31,75                   | 3,19                   |
| <b>T21</b>   | 4,03                    | 31,75                   | 3,19                   |
| <b>T22</b>   | 4,03                    | 38,1                    | 4,59                   |
| <b>T23</b>   | 4,03                    | 38,1                    | 4,59                   |
| <b>T24</b>   | 4,03                    | 50,8                    | 8,17                   |
| <b>T25</b>   | 4,03                    | 50,8                    | 8,17                   |
| <b>T26</b>   | 4,03                    | 50,8                    | 8,17                   |
| <b>T27</b>   | 4,03                    | 50,8                    | 8,17                   |
| <b>T28</b>   | 84,4                    | 63,5                    | 267,29                 |
|              |                         | <b>TOTAL</b>            | <b>793,63</b>          |

$$V_{\text{tuberías}} = 793,63 \text{ litros}$$

- Volumen en captadores

Para calcular el volumen total de fluido presente en el campo solar, nos basaremos en la información proporcionada por el fabricante de los captadores solares. En la hoja técnica suministrada por el fabricante, se especifica la capacidad de fluido que cada captador puede albergar en su interior. De esta manera nos queda que el volumen en los captadores se calcula de la siguiente forma:

$$V_{\text{captadores}} = 1,38 \frac{\text{litros}}{\text{captador}} \cdot 50 \text{ captadores} = \mathbf{69 \text{ litros}}$$

- Volumen serpentín del interacumulador

Sabiendo que la instalación cuenta con dos interacumuladores y que la capacidad del serpentín es un dato que viene en la ficha técnica proporcionada por el fabricante, nos queda lo siguiente:

$$V_{\text{interacumuladores}}^{\text{serpentín}} = 48 \frac{\text{litros}}{\text{interacum}} \cdot 2 \text{ interacum} = \mathbf{96 \text{ litros}}$$

- Volumen de seguridad

Se establece un volumen de seguridad del 10% de la suma del volumen de tuberías, captadores e interacumuladores:

$$V_{\text{seguridad}} = (V_{\text{tuberías}} + V_{\text{captadores}} + V_{\text{interacumuladores}}^{\text{serpentín}}) \cdot 0,1 = \mathbf{95,83 \text{ litros}}$$

Tras sumar todos los volúmenes calculados anteriormente nos queda que el volumen total vale lo siguiente:

$$V_{\text{TOTAL}} = \mathbf{1054,49 \text{ litros}}$$

## 2) Cálculo del coeficiente de expansión

El coeficiente de expansión térmica indica cómo aumenta el volumen del fluido al elevarse la temperatura y se calcula de la siguiente forma:

$$C_e = (-1,75 + 0,064 \cdot T + 0,0036 \cdot T^2) \cdot 10^{-3} = \mathbf{0,026}$$

La temperatura máxima (T) que se utiliza en la fórmula es la temperatura de estancamiento proporcionada por el fabricante de los captadores. Sin embargo, como esta temperatura es excesiva y no se alcanza en condiciones normales de funcionamiento, se opta por una temperatura de 80°C, para evitar problemas de generación de vapor o daños en los componentes.

## 3) Cálculo del coeficiente de presión

El coeficiente de presión relaciona la presión mínima y la presión máxima de funcionamiento del vaso de expansión.

- Presión mínima de funcionamiento

Es la presión que existe en el vaso de expansión cuando la instalación está parada. Debe ser mayor que la presión atmosférica para evitar la entrada de aire y superior a la presión de saturación del vapor de agua para garantizar la seguridad del sistema. Dicha presión se calcula de la siguiente forma:

$$P_m = \rho gh + p_{\text{atm}} + p_{\text{seg}} = 10^3 \cdot 9,8 \cdot 16,28 + 10^5 + 0,5 \cdot 10^5 = 309.544 \text{ Pa}$$

Donde:

$\rho$ : densidad del agua ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$ : valor de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$h$ : altura de la columna de agua entre el vaso de expansión y el punto más alto de la red de tuberías (m)

Para el cálculo de la altura geométrica ( $h$ ) hay que tener en cuenta que la altura desde el suelo de la sala de máquinas a la cubierta es 14,96 metros y la altura desde la cubierta hasta la tubería de salida del captador es 1,32 metros. De esta forma se obtiene una altura geométrica total de 16,28 metros.

#### - Presión máxima de funcionamiento

Es la presión máxima que alcanza el vaso de expansión durante el funcionamiento normal de la instalación. Se determina en función de la presión máxima que soportan los captadores solares, indicada por el fabricante y de la presión a la que se abre la válvula de seguridad para liberar el exceso de fluido, evitando daños en los componentes (presión de tarado). Dicha presión es la mínima resultante de las ecuaciones (1) y (2).

$$P_M = 0,9 \cdot P_{VS} \quad (1)$$

$$P_M = P_{VS} - 0,5 \quad (2)$$

Sabiendo que:  $P_{VS} = 8 \text{ bar}$  ;  $P_M = 7,2 \text{ bar}$  ;  $P_m = 3,1 \text{ bar}$

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} = 1,756$$

#### 4) Volumen final del vaso de expansión

Tras realizar los cálculos anteriores podemos determinar el volumen mínimo que requiere el vaso de expansión mediante la siguiente ecuación:

$$V_{\text{expansión}}^{\text{vaso}} = V_{\text{TOTAL}} \cdot C_e \cdot C_p = 1054,49 \cdot 0,026 \cdot 1,756 = \mathbf{48,14 \text{ litros}}$$

Antes de seleccionar el vaso de expansión del fabricante elegido hay que tener en cuenta las características técnicas del vaso y las recomendaciones de la Guía Técnica de IDAE:

- El diámetro del ramal de conexión entre el vaso y el circuito primario deber ser lo suficientemente grande para minimizar la pérdida de carga y permitir el paso adecuado del fluido caloportador.
- Si la superficie de captación es menos a  $150 \text{ m}^2$ , el diámetro del ramal no debe ser inferior a 1''.

En base al volumen mínimo requerido que hemos calculado y las recomendaciones de IDEA, se selecciona el modelo 50 SMR-P del fabricante Ibaiondo. Este modelo tiene una capacidad de 50 litros y cuenta con una conexión R de 1'', por lo que cumple con todos los requisitos expuestos anteriormente.

## 2.11 Dimensionado sistema de control

Se ha seleccionado como sistema de control el modelo LTDC-V3 del fabricante Termicol, el cual tiene las siguientes características:

- 6 entradas para sensores PT1000 de temperatura.
- 2 entradas VFS/RPS Directsensor para medir caudal.
- 3 salidas relé 230 VAC (on/off).

- 2 salidas PWM (control velocidad bombas alta eficiencia).
- 42 variantes hidráulicas.

## 2.12 Cálculos de espesores de aislamiento

El grosor del aislamiento para las tuberías depende de tres factores: la temperatura máxima del fluido que circula por ellas, el diámetro interior de las tuberías y si están ubicadas en el interior o exterior del edificio. Las tuberías que se encuentran al aire libre necesitan una protección adicional para garantizar su durabilidad frente a las inclemencias del tiempo. Esta protección puede ser mediante pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas.

En las Tablas 21 y 22, extraídas del RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) se establece el espesor mínimo de aislamiento para un material con una conductividad de 0,04 W/m\*K.

En este caso, la temperatura de trabajo oscila entre 40 y 80 °C, por lo que usaremos los espesores de aislamiento para cada tramo que se detallan en la Tabla 23 y en la Tabla 24, que corresponden a una temperatura entre 60 y 100 °C.

Tabla 21. Espesores mínimos de aislamiento que discurren por el interior de edificios (18).

| 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          |

Tabla 22. Espesores mínimos de aislamiento que discurren por el exterior de edificios (18).

| 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 23. Aislamiento tuberías interior del edificio.

| Tramo | Diámetro (") | Diámetro (mm) | Aislamiento (mm) |
|-------|--------------|---------------|------------------|
| T1    | 2,5          | 63,5          | 30               |
| T28   | 2,5          | 63,5          | 30               |
| T29   | 2,5          | 63,5          | 30               |

Tabla 24. Aislamiento tuberías exterior del edificio.

| <b>Tramo</b> | <b>Diámetro (")</b> | <b>Diámetro (mm)</b> | <b>Aislamiento (mm)</b> |
|--------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| <b>T1</b>    | 2,5                 | 63,5                 | 40                      |
| <b>T2</b>    | 1                   | 25,4                 | 35                      |
| <b>T3</b>    | 2                   | 50,8                 | 40                      |
| <b>T4</b>    | 1                   | 25,4                 | 35                      |
| <b>T5</b>    | 2                   | 50,8                 | 40                      |
| <b>T6</b>    | 1                   | 25,4                 | 35                      |
| <b>T7</b>    | 2                   | 50,8                 | 40                      |
| <b>T8</b>    | 1                   | 25,4                 | 35                      |
| <b>T9</b>    | 2                   | 50,8                 | 40                      |
| <b>T10</b>   | 1                   | 25,4                 | 35                      |
| <b>T11</b>   | 1,5                 | 38,1                 | 40                      |
| <b>T12</b>   | 1                   | 25,4                 | 35                      |
| <b>T13</b>   | 1,5                 | 38,1                 | 40                      |
| <b>T14</b>   | 1                   | 25,4                 | 35                      |
| <b>T15</b>   | 1,25                | 31,75                | 35                      |
| <b>T16</b>   | 1                   | 25,4                 | 35                      |
| <b>T17</b>   | 1,25                | 31,75                | 35                      |
| <b>T18</b>   | 1                   | 25,4                 | 35                      |
| <b>T19</b>   | 1                   | 25,4                 | 35                      |
| <b>T20</b>   | 1,25                | 31,75                | 35                      |
| <b>T21</b>   | 1,25                | 31,75                | 35                      |
| <b>T22</b>   | 1,5                 | 38,1                 | 40                      |
| <b>T23</b>   | 1,5                 | 38,1                 | 40                      |
| <b>T24</b>   | 2                   | 50,8                 | 40                      |
| <b>T25</b>   | 2                   | 50,8                 | 40                      |
| <b>T26</b>   | 2                   | 50,8                 | 40                      |
| <b>T27</b>   | 2                   | 50,8                 | 40                      |
| <b>T28</b>   | 2,5                 | 63,5                 | 40                      |

## 2.13 Selección de accesorios

En este apartado se describen los componentes adicionales que se integrarán en la instalación solar de la residencia, los cuales complementan el funcionamiento de los captadores y garantizan la seguridad y eficiencia del sistema:

### Válvulas:

- De corte: permiten controlar el flujo de agua en diferentes puntos de la instalación.
  - A la entrada y salida de cada grupo de captadores. (20 unidades)
  - En la entrada y salida del grupo de bombeo primario. (6 unidades)
  - En el sistema de llenado y vaciado. (1 unidad)
  - En las entradas y salidas de cada interacumulador solar. (10 unidades)
  - A la entrada y salida del aerotermo. (2 unidades)
- De seguridad: su función principal es proteger los componentes del sistema ante posibles daños por sobrepresión.
  - Instaladas a la salida de cada grupo de captadores. (10 unidades)
  - Ubicadas junto al vaso de expansión del circuito primario. (1 unidad)
  - Integradas en cada interacumulador solar. (2 unidades)
  - En el sistema de llenado y vaciado. (1 unidad)
- De retención: impiden el retroceso del agua en la instalación.
  - En la impulsión de la bomba. (2 unidades)
  - En el sistema de llenado y vaciado de la instalación. (1 unidad)
- De tres vías: desvía hacia el aerotermo el agua del campo de captadores en caso de sobrecalentamiento en los mismos.
  - Se coloca en la desviación al aerotermo en el circuito primario. (1 unidad)
- De equilibrado: para garantizar el equilibrado del circuito hidráulico.
  - Una por cada batería de captadores. (10 unidades)

### Otros accesorios:

- Purgadores de aire automáticos: eliminan el aire presente en el sistema.
  - Uno por cada batería de captadores. (10 unidades)
- Termómetros: permiten monitorizar la temperatura en diferentes puntos.
  - Uno en cada interacumulador solar. (2 unidades)
- Manómetros: indican la presión del agua en distintos puntos.
  - Uno para cada bomba. (2 unidades)
  - Uno en cada interacumulador solar. (2 unidades)



## **3. PLIEGO DE CONDICIONES**

---

## 3.1 Objeto

Este documento establece las pautas generales para un proyecto de instalación de energía solar térmica destinada a la producción de agua caliente sanitaria. Abarca la selección de equipos y materiales, el proceso de montaje de los equipos, las pruebas a realizar para asegurar su correcto funcionamiento y las pautas para su mantenimiento periódico.

## 3.2 Normativa aplicable

Para que la instalación funcione de manera óptima y segura es fundamental que se cumplan con las norma y reglamentos vigentes.

A continuación, expongo la normativa básica y adicional que se debe considerar para asegurar la calidad y seguridad de la instalación solar térmica:

- **Normativa básica**

- Materiales y tareas: deben cumplir con las especificaciones del Pliego de Especificaciones Técnicas para instalaciones de Energía Solar Térmica a baja Temperatura.
- Eficiencia energética: la instalación debe ajustarse al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE).
- Seguridad eléctrica: se debe seguir el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones Complementarias MI.BT.
- Estructuras: la instalación debe cumplir con el Código Técnico de la Edificación – Acciones en la Edificación (CTE-DB-AE).
- Ruido: la instalación debe respetar el Código Técnico de la Edificación – Protección frente al ruido (CTE-DB-HR)
- Incendios: la instalación debe cumplir con el Código Técnico de la Edificación – Seguridad en caso de incendio (CTE-DB-SI).
- Componentes de los captadores solares: se debe seguir la Norma UNE–EN 12975-1:2006.

- **Normativa adicional**

- Normas UNE: se consideran las normas de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- Normas NTE: se consideran las normas del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- Normas de las compañías eléctricas: se deben seguir las normas de las empresas que suministran energía eléctrica.
- Normativa internacional: en caso de que no haya normativa española se pueden usar normas de organismos internacionales como CER o ISO.

- **Actualizaciones y otras normas**

- Se debe usar la versión más reciente de todas las normas mencionadas.
- Se deben respetar otras normas o reglamentos mencionados en el proyecto.

## 3.3 Condiciones de materiales y equipos

### 3.3.1 Tuberías

Las tuberías que forman los diferentes circuitos cerrados de una instalación solar térmica pueden ser de diversos materiales, siempre que sean compatibles con el fluido que circula por ellas y resistan las condiciones de trabajo.

- **Materiales**

- Cobre: tubos estirados en frío, unidos por accesorios a presión o soldadura capilar (norma UNE EN 1057). Soldadura fuerte si la temperatura supera los 125°C.
- Acero negro: con protección catódica según norma UNE 100050.
- Acero inoxidable: compatible con agua caliente sanitaria.
- Material plástico: autorizado por la normativa, resistente a la presión y temperatura del circuito.

- **Protección**

- Elementos metálicos no galvanizados: dos capas de pintura antioxidante.
- Primera capa fuera de obra, segunda capa con el tubo instalado.

- **Consideraciones adicionales**

- El circuito solar debe ser lo más corto posible.
- Diámetro de tubería: 15-18 mm para casas unifamiliares.
- Velocidad de circulación del fluido: < 2 m/s en locales habitados, < 3 m/s en exteriores.
- Consultar normativa vigente para la instalación de tuberías en sistemas solares térmicos.
- Elegir el material adecuado para cada circuito teniendo en cuenta la compatibilidad con el fluido y las condiciones de trabajo.
- Proteger adecuadamente los elementos metálicos contra la oxidación.

### 3.3.2 Accesorios

#### a) Compensadores de dilatación

En los circuitos de agua caliente existen unas piezas vitales que se instalan estratégicamente con la función de absorber la expansión térmica, protegiendo la integridad del sistema y, con ello, garantizando la seguridad y el buen funcionamiento de la instalación.

Su ubicación precisa se define en el plano, pero la experiencia del instalador también juega un papel importante, puesto que, guiados por las recomendaciones del Reglamento e Instrucciones Técnicas, estos expertos seleccionan los puntos ideales para su colocación, siempre entre dos puntos fijos capaces de soportar esfuerzos de dilatación y presión que se generan.

Los extremos del compensador están hechos de acero al carbono, preparados para soldarse a la tubería con presión milimétrica. Para diámetros nominales de hasta 2 pulgadas se utiliza un chaflán de 37° 30' y un talón de 1,6 mm. En tuberías de mayor diámetro las conexiones se realizan mediante bridas de acero al carbono, siguiendo las normas DIN 2502 o 2503, dependiendo de la presión del sistema.

Las bridas se sueldan a los cuellos del compensador con técnicas específicas para la soldadura de acero al carbono de espesores medios. De esta manera, se crea una unión robusta e inquebrantable, capaz de resistir las fuerzas y temperaturas que se generan en el circuito.

#### b) Juntas

Las juntas son los sellos que mantienen unidos los diferentes tramos de tubería en la instalación solar térmica. Son piezas fundamentales para garantizar la estanqueidad del sistema y evitar fugas que puedan afectar su eficiencia y seguridad.

En la instalación solar térmica el uso de amianto está totalmente prohibido por su potencial riesgo para la salud. En su lugar, se utilizan juntas fabricadas con materiales modernos y seguros, como el caucho, el EPDM o el PTFE.

Las juntas que se emplean en la instalación solar térmica deben cumplir con dos requisitos fundamentales:

- Presión nominal mínima: la presión nominal mínima de las juntas debe ser de PN-10, lo que significa que son capaces de soportar una presión de 10 kg/cm<sup>2</sup>. Esta presión es suficiente para la mayoría de las instalaciones solares térmicas.
- Resistencia a la temperatura: las juntas deben ser capaces de soportar temperaturas de hasta 200°C, que es la temperatura máxima que puede alcanzar el agua en el circuito solar.

La elección de la junta adecuada dependerá de varios factores, como el tipo de material de las tuberías, la presión del circuito y la temperatura del agua.

### **c) Lubricante de roscas**

En el ensamblaje de las tuberías de la instalación solar térmica, las roscas juegan un papel fundamental. Para facilitar su montaje y desmontaje, evitando el gripado y la corrosión, se utiliza el lubricante de roscas.

Este lubricante, de uso general, debe cumplir dos características esenciales:

- No endurecedor: es fundamental que el lubricante no se endurezca con el tiempo, ya que esto dificultaría el desmontaje de las roscas en el futuro.
- No venenoso: para proteger la salud de las personas y el medio ambiente, el lubricante debe estar libre de sustancias tóxicas.

### **d) Acoplamientos dieléctricos o latiguillos**

En la instalación solar térmica, donde diferentes materiales se unen para transportar el calor, existen puntos críticos que requieren una atención especial. Es aquí donde entran en juego los acoplamientos dieléctricos y los latiguillos. Su función principal es evitar la corrosión galvánica que se produce cuando dos metales diferentes entran en contacto directo en presencia de un electrolito, como el agua. Se instalan en las uniones entre tuberías de cobre y acero o fundición, tanto en la conducción de impulsión como en el retorno. De esta manera, se crea una barrera eléctrica que protege los componentes metálicos y alarga la vida útil de la instalación.

### **e) Derivaciones**

La tubería principal se ramifica para distribuir el agua caliente a diferentes puntos del sistema. Estas ramificaciones se conocen como derivaciones. Todas las aberturas realizadas en las tuberías para las derivaciones se deben hacer con precisión para garantizar un flujo del agua eficiente y evitar fugas.

### **f) Codos en bombas**

En las bombas que impulsan el agua caliente en la instalación solar térmica existen dos puntos críticos: la succión y la descarga. En estos puntos, el flujo del agua cambia de dirección, lo que puede generar turbulencias y pérdidas de presión. Para minimizar estas turbulencias y optimizar el flujo, se instalan codos de radio largo en la succión y descarga de las bombas.

### **g) Sombreretes**

Se instalarán sombreretes, también conocidos como protectores de tuberías en las tuberías que atraviesan la cubierta para conseguir una protección especial, evitando daños por la lluvia, el viento y otros elementos. Estos elementos se seleccionarán de acuerdo con las directrices de la Dirección Facultativa.

### **h) Guías**

Las tuberías deben ser guiadas y soportadas de forma segura para evitar daños y garantizar su correcto funcionamiento. Para ello, se utilizan guías, que son rieles metálicos que se fijan a la estructura de la instalación. Las guías se instalan en zonas donde las tuberías necesitan ser guiadas y soportadas, como liras (estructuras que

soportan los captadores solares) o juntas de expansión (elementos que permiten la dilatación y contracción de las tuberías por cambios de temperatura).

#### **i) Termómetros**

Los termómetros controlan la temperatura en puntos estratégicos, asegurando un funcionamiento eficiente y confiable. Se utilizarán termómetros de mercurio en vidrio, los cuales son clásicos y precisos, con divisiones de ½ grado para una lectura detallada.

#### **j) Manómetros**

Los manómetros vigilan constantemente la presión del sistema, asegurando su correcto funcionamiento y previniendo posibles fallos. Se utilizarán los manómetros con válvula de aguja de aislamiento en acero inoxidable ya que dicha válvula permite aislar el manómetro del circuito para su mantenimiento o reparación sin afectar al resto del sistema. Los manómetros estarán inmersos en glicerina para protegerlos de vibraciones y golpes. También tendrá unos rangos de medición adecuados y una precisión de al menos el 1%, ofreciendo así, una medición fiable de la presión, permitiendo un control preciso del sistema. Para una monitorización completa, se instalan puntos de toma de presión en puntos clave.

#### **k) Válvulas de seguridad**

Se instalarán las válvulas de seguridad indicadas o necesarias para cada caso, garantizando un funcionamiento seguro y correcto. La presión de apertura de las válvulas se ajustará a las condiciones específicas del sistema, evitando fugas innecesarias y protegiendo contra sobrepresiones. Las válvulas de seguridad de alivio son de paso angular y carga por soporte, lo que las hace más resistentes y confiables. Aptas para temperaturas de 0 a 120°C y presiones de hasta 25 kg/cm<sup>2</sup>. Los materiales con los que se fabricarán las válvulas serán materiales resistentes a la corrosión y al desgaste, como bronce, latón, acero cadmiado y PTFE, para garantizar una larga vida útil.

#### **l) Purgadores de aire**

Para asegurar un flujo armonioso, libre de aire y silencioso, se implementan diversas estrategias:

- Pendiente ascendente: instalar la tubería con una inclinación hacia la dirección del flujo, facilitando el movimiento del fluido y evitando la formación de cámaras de aire, que pueden afectar a la eficiencia del sistema y generar ruidos molestos.
- Derivaciones estratégicas: se diseñan para minimizar las retenciones de aire y permitir su libre paso.
- Purgadores de aire: se instalarán purgadores manuales o automáticos en puntos estratégicos, especialmente en los puntos más elevados y en los retornos (ascensos y cosos ascendentes). De esta manera, estos dispositivos eliminan el aire atrapado en la tubería.
- Si se detectan anomalías por presencia de aire en la instalación, se instalarán nuevos empalmes, purgadores o válvulas sin costo adicional.

#### **m) Vaciados**

Los vaciados, purgadores, válvulas de seguridad y reboses se dirigirán al sumidero o desagüe más cercano, evitando la acumulación de agua en lugares no deseados. Se implementarán medidas para evitar que una descarga accidental cause daños o desperfectos a la propiedad o a las personas.

Se instalarán válvulas de vaciado, necesarias para vaciar completamente todas las tuberías y equipos, facilitando el mantenimiento y la reparación.

### 3.3.3 Válvulas

#### a) Características generales

Cada válvula tendrá grabado el diámetro nominal, la presión nominal y, si aplica, la presión de ajuste.

La elección de la válvula dependerá de su función y las condiciones de funcionamiento (presión y temperatura).

- Criterios de selección:
  - Aislamiento: válvulas de esfera.
  - Equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
  - Vaciado: válvulas de esfera o de macho.
  - Llenado: válvulas de esfera.
  - Purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
  - Seguridad: válvulas de resorte.
  - Retención: válvulas de disco, de clapeta o de muelle (disco partido).

La válvula de seguridad debe derivar la potencia máxima del captador o grupo de captadores, incluso en forma de vapor. La presión máxima de trabajo del captador o del sistema no debe ser superada.

Los purgadores automáticos deben resistir las presiones y temperaturas máximas del circuito. Se recomienda que los del circuito primario resistan temperaturas de al menos 150°C.

#### b) Materiales

- Válvulas de esfera
  - Cuerpo: fundición de hierro o acero.
  - Esfera y eje: acero duro cromado o acero inoxidable.
  - Asientos, estopadas y juntas de teflón.
  - Diámetros hasta 1 ½ : latón estampado con esfera de latón duro cromado.
- Válvulas de asiento
  - Cuerpo: bronce (hasta 2") o fundición de hierro o acero.
  - Tapa: mismo material que el cuerpo.
  - Obturador: pistón o asiento plano con cono de regulación de acero inoxidable y aro de teflón. No solidario al husillo.
  - Asiento: integral en bronce o acero inoxidable según el cuerpo de la válvula.
  - Prensaestopas: mismo material que cuerpo y tapa.
- Válvulas de seguridad de resorte
  - Cuerpo: hierro fundido o acero al carbono con escape conducido.
  - Obturador y vástago: acero inoxidable.
  - Prensaestopas: latón.
  - Resorte: acero especial para muelle.
- Válvulas de retención de clapeta
  - Cuerpo y tapa: bronce o latón.
  - Asiento y clapeta: bronce.

- Conexiones: rosca hembra.
- Válvulas de retención de muelle
- Cuerpo y tapa: bronce o latón.
- Asiento y clapeta: bronce.
- Conexiones: rosca hembra.
- Resorte: acero especial para muelle.
- Purgadores automáticos de aire
- Cuerpo y tapa: fundición de hierro o latón.
- Mecanismo: acero inoxidable.
- Flotador y asiento: acero inoxidable o plástico.
- Obturador: goma sintética.

### 3.3.4 Aislamiento

El material aislante debe cumplir con la norma UNE 100171. Si está situado a la intemperie, necesita protección contra los agentes atmosféricos para evitar su deterioro.

Se podrán utilizar como opciones de protección del aislante las que se describen a continuación:

- Cubierta o revestimiento de escayola protegido con: pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio.
- Si el aislamiento es de espuma elastómera: pinturas plásticas impermeables (resistentes al sol).
- Para acumuladores e intercambiadores de calor a la intemperie: forros de telas plásticas.

### 3.3.5 Vaso de expansión

Los vasos de expansión deben tener las siguientes características:

- Siempre cerrados.
- Placa de identificación con: fabricante, marca y modelo.
- Temperatura máxima de funcionamiento superior a 100°C en circuitos primarios.
- Presurizado con nitrógeno puro en caso de fugas (no usar aire).
- Cuerpo exterior de acero, timbrado y con acceso a la membrana interior.
- Interior con tratamiento anticorrosivo y exterior con doble tratamiento antioxidante.
- Depósito dividido en dos cámaras herméticas por la membrana de dilatación.
- Membrana de caucho butílico o polipropileno, con elasticidad recuperable a temperaturas inferiores a 60°C.
- Cámara de expansión de gas rellena con nitrógeno y otro gas inerte.
- Acometida para reposición de gas y manómetro.
- Acometida del agua con manómetro, termómetro, válvula de alimentación, purga de agua y- seguridad.
- Sifón con botellón de recogida de aire y purgador manual y automático.

Las funciones principales que deben cumplir los vasos de expansión son las siguientes:

- Absorber las variaciones de volumen del fluido en el circuito.
- Proteger el circuito contra sobrepresiones.
- Asegurar la vida útil del sistema.

### 3.3.6 Bombas

Las bombas deben cumplir con las siguientes características y especificaciones técnicas:

- Placa de identificación: toda bomba debe tener una placa visible que indique el fabricante, la marca, el modelo y las características eléctricas, como voltaje, frecuencia y potencia.
- Materiales: el cuerpo de la bomba debe ser de fundición o bronce, resistente a la presión y la corrosión. El rodete, eje, tubo de estanqueidad y cojinetes también deben ser de materiales de alta calidad, como acero inoxidable y carbono, para garantizar la durabilidad y confiabilidad de la bomba.
- Componentes: la bomba debe contar con conexiones para cebado, venteo, drenaje y manómetros en impulsión y descarga, permitiendo un control preciso del flujo y la presión del circuito.
- Cierre mecánico: es fundamental que la bomba tenga un cierre mecánico de alta calidad para evitar fugas del fluido caloportador y proteger el motor.
- Acoplamiento: el acoplamiento entre la bomba y el motor debe ser flexible y resistente, con un protector y espaciador para facilitar el mantenimiento.
- Motor eléctrico: el tipo de motor eléctrico dependerá de las necesidades específicas de la instalación, con opciones de 2 o 4 polos, diferentes velocidades y niveles de potencia.
- Presión de aspiración: la bomba debe tener una presión de aspiración adecuada para garantizar el correcto flujo del fluido, incluso a altas temperaturas.
- Caudal, altura manométrica y presión sonora: estos parámetros deben ajustarse a las especificaciones del proyecto y a las necesidades del circuito.
- Compatibilidad de materiales: en los circuitos de agua caliente sanitaria, los materiales de la bomba deben ser resistentes a la corrosión. En el circuito primario, los materiales deben ser compatibles con las mezclas anticongelantes y el fluido de trabajo utilizado.

### 3.3.7 Captadores solares

#### a) Generalidades

Los captadores solares deben llevar una etiqueta visible y duradera que incluya la siguiente información:

- Nombre del fabricante: identifica la empresa responsable de la producción del captador.
- Tipo: indica el modelo específico del captador.
- Número de serie: permite un seguimiento individualizado de cada unidad.
- Año de fabricación: informa sobre la fecha de producción del captador.
- Superficie total del captador: expresa el área útil de captación de energía solar.
- Dimensiones del captador: indica las medidas del captador (largo, ancho y alto).
- Presión máxima de trabajo: establece el límite de presión que el captador puede soportar sin sufrir daños.
- Temperatura de estancamiento a 1000 W/m<sup>2</sup> y 30 °C: indica la temperatura que alcanza el captador en condiciones extremas de radiación solar y sin circulación de fluido.
- Volumen del fluido de transferencia de calor: especifica la cantidad de fluido necesario para el correcto funcionamiento del captador.

- Peso del captador vacío: informa sobre el peso del captador sin fluido ni otros componentes.
- Lugar de fabricación: indica el país o región donde se produjo el captador.

También hay una serie de características técnicas recomendadas para los captadores solares:

- Material de la cubierta transparente: se recomienda vidrio templado de al menos 3 mm de espesor con una transmisividad superior o igual al 80%. Esto garantiza la resistencia y la entrada de la mayor cantidad posible de radiación solar.
- Distancia entre el absorbedor y la cubierta transparente: debe oscilar entre 2 y 4 cm. Esta separación permite una buena circulación del fluido y reduce las pérdidas de calor.
- Absorbedor: se recomienda que el absorbedor esté fabricado con materiales metálicos, ya que estos tienen una alta capacidad de absorción de energía solar.

La instalación de captadores solares en la cubierta de un edificio debe realizarse siguiendo un procedimiento acreditado por el fabricante. Esto garantiza que la instalación se realice de forma correcta y que se cumplan las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento y durabilidad del sistema.

Los datos para la caracterización térmica, hidráulica y mecánica de los captadores solares deben obtenerse de los resultados de ensayos realizados conforme a la norma UNE 12975. Esta norma establece los métodos y procedimientos para la realización de dichos ensayos.

#### **b) Modelo de captador**

Se recomienda que todos los captadores que integren la instalación sean del mismo tipo y modelo. Esto facilita la instalación, el mantenimiento y el control del sistema. En caso de que no sea posible utilizar el mismo modelo para todos los captadores, se deberá implementar un sistema de regulación de caudal por baterías que permita que los nuevos captadores tengan un caudal similar al de los existentes.

#### **c) Estructura soporte y sujeción del captador**

La estructura soporte de los captadores solares debe cumplir con los requisitos establecidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE) para la Seguridad Estructural (CTE-SE). Esto garantiza la resistencia y estabilidad de la estructura frente a las cargas externas como el viento y la nieve.

Todos los materiales de la estructura soporte deben protegerse contra la acción de los agentes ambientales, en particular contra la radiación solar y la corrosión. Se recomienda utilizar galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas de zinc o tratamientos anticorrosivos equivalentes para proteger el acero. Los taladros en la estructura deben realizarse antes del galvanizado o la aplicación de cualquier otro tratamiento protector.

La tornillería y las piezas auxiliares de la estructura soporte deben estar galvanizadas o cincadas, o bien ser de acero inoxidable. Esto garantiza su resistencia a la corrosión y prolonga su vida útil.

### **3.3.8 Sistema eléctrico y de control**

La instalación eléctrica de la instalación solar debe cumplir con el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC). Estos documentos establecen las normas y requisitos de seguridad que deben cumplirse en las instalaciones eléctricas de baja tensión para garantizar la protección de las personas y bienes.

Para cumplir con la normativa, la instalación solar debe contar con un cuadro eléctrico específico que separe la red eléctrica general de la instalación solar. Este cuadro eléctrico debe incluir los dispositivos de protección necesarios, como interruptores diferenciales y fusibles, para garantizar la seguridad del sistema.

- **Sistema de control**

El sistema de control de la instalación solar es el encargado de monitorizar y gestionar el funcionamiento del sistema. Se compone de un controlador digital programable (CDP) que recibe información de diversos sensores y toma decisiones para optimizar el rendimiento del sistema.

El CDP incorpora un sistema de adquisición de datos que recopila información en tiempo real sobre el funcionamiento de la instalación. Esta información incluye:

- Caudales de los fluidos que circulan por el sistema.
- Temperaturas en los captadores solares, en el acumulador y en otros puntos clave del sistema.
- Potencia y energía inyectadas en la red eléctrica.
- Número de horas de funcionamiento de las bombas.

Los datos recopilados por el CDP pueden ser almacenados y visualizados en una interfaz de usuario local o remota. Esto permite a los usuarios monitorizar el rendimiento del sistema y detectar posibles fallos.

El CDP también incorpora un módem que permite la telegestión del sistema a distancia. Esto significa que los usuarios pueden controlar y gestionar el sistema desde cualquier lugar con acceso a internet.

- **Funciones de regulación y control**

El sistema de control de la instalación solar tiene como objetivo optimizar el rendimiento del sistema y garantizar su funcionamiento seguro. Para ello, realiza las siguientes funciones:

- Activar la bomba de circulación: la bomba de circulación se activa cuando la temperatura del agua en la salida de los captadores solares es superior a la temperatura del agua en la parte baja del acumulador. Esto permite que el agua caliente circule por el sistema y caliente el agua almacenada en el acumulador.
- Ubicación precisa de las sondas de temperatura: las sondas de temperatura deben instalarse en puntos estratégicos del sistema para detectar las temperaturas reales del agua y del aire. Es importante evitar la instalación de tuberías separadas de la salida de los captadores y las zonas de estancamiento, ya que esto podría afectar la precisión de las mediciones.
- Control preciso de las bombas: la precisión de los sistemas de control y la regulación de los puntos de consigna es fundamental para evitar que las bombas funcionen innecesariamente o que no funcionen cuando es necesario. Las bombas no deben estar en marcha con diferencias de temperaturas menores de 3 °C ni paradas con diferencias de temperatura superiores a 7°C.
- Diferencia de temperatura entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial: la diferencia de temperatura entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial no debe ser inferior a 3 °C. Esto garantiza que el sistema no funcione de forma errática y que el agua se caliente de manera eficiente.
- Señalizaciones luminosas: el sistema de control debe incluir señalizaciones luminosas que indiquen el estado de alimentación del sistema y el funcionamiento de las bombas. Estas señalizaciones permiten a los usuarios verificar rápidamente el estado del sistema.

### 3.3.9 Aparatos de medida

Los sistemas de medición de temperatura, caudal y energía son esenciales para el correcto funcionamiento y evaluación del rendimiento de una instalación solar térmica. Estos instrumentos proporcionan información valiosa sobre el estado de la instalación y permiten optimizar su funcionamiento.

#### a) Medición de temperatura

Se pueden utilizar diversos tipos de sensores para medir la temperatura, como sondas, termopares, termómetros de resistencia y termistores. La elección del sensor adecuado dependerá de la precisión requerida y del rango de temperaturas a medir.

Las sondas de temperatura deben instalarse en puntos estratégicos del sistema para obtener mediciones precisas. Se recomienda que las sondas sean de inmersión y estén en contacto directo con el fluido cuya temperatura se desea medir. En caso de no poder instalarlas en el fluido, se deben colocar a una distancia máxima de 5 cm.

Para medir la diferencia de temperatura entre dos puntos, se pueden utilizar termopilas, termómetros de resistencia conectados en un circuito en puente o termopares emparejados.

## b) Medición de caudal

Los contadores de caudal de agua más comunes son los de tipo volumétrico, que miden el volumen de agua que pasa por ellos en un determinado período de tiempo. Los contadores de tipo electromagnético o ultrasónico también son opciones válidas.

Los contadores de caudal deben cumplir con ciertos requisitos, como:

- Resistencia a la acción del agua.
- Alta resolución de lectura.
- Precintado y protección contra manipulaciones.
- Suministro de datos específicos por parte del fabricante:
  - Calibre del contador.
  - Temperatura máxima del fluido.
  - Caudales en servicio continuo, máximo (durante algunos minutos) y 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.
- Exactitud de medición igual o superior a  $\pm 3$  %.

El tipo de contador de caudal adecuado dependerá del caudal del sistema y de la precisión requerida.

## c) Medición de energía térmica

Los contadores de energía térmica combinan un contador de agua con dos sondas de temperatura y un microprocesador electrónico.

El microprocesador puede alimentarse por la red eléctrica o mediante pilas con una duración mínima de 3 años.

El microprocesador calcula la energía térmica a partir de la multiplicación del caudal de agua por el peso específico del mismo por la diferencia de temperatura. Este mismo aparato integra en el tiempo la energía térmica calculada, proporcionando un registro del consumo total de energía.

### 3.3.10 Acumuladores

El tanque debe garantizar un almacenamiento seguro y eficiente de la energía térmica generada por los captadores solares.

Las características técnicas que debe cumplir el tanque de almacenamiento (acumulador) para un sistema solar térmico son las siguientes:

- Volumen cúbico real: se debe indicar el volumen real del tanque en metros cúbicos ( $m^3$ ).
- Dimensiones principales: se deben especificar las dimensiones principales del tanque, como altura, diámetro o ancho, en metros (m).
- Presión máxima de trabajo: se debe indicar la presión máxima a la que puede operar el tanque en bares (bar).
- Ubicación y diámetro de las bocas de conexión: se debe indicar la ubicación y el diámetro de las bocas de

conexión para entrada y salida de agua, venteo, etc., en milímetros (mm).

- Ubicación y especificación de los puntos de sujeción o apoyos: se debe indicar la ubicación y especificaciones de los puntos de sujeción o apoyos para la instalación del tanque.
- Máxima temperatura de utilización: se debe indicar la temperatura máxima a la que puede operar el tanque en grado Celsius (°C).
- Tratamiento y protección: se debe describir el tratamiento superficial y la protección interior del tanque para evitar la corrosión y garantizar la calidad del agua.
- Material y espesor de aislamiento y características de su protección: se debe indicar el material, espesor y características del aislamiento térmico del tanque para minimizar las pérdidas de calor.

El tanque debe estar fabricado de acuerdo con el Reglamento de Aparatos a Presión, instrucción Técnica Complementaria MJE – AP11. Debe ser probado a una presión dos veces mayor que la presión de trabajo y homologado por el Ministerio de Industria y Energía.

El tanque debe llevar una placa de identificación visible con la siguiente información:

- Nombre del fabricante y razón social.
- Contraseña y fecha de registro de tipo.
- Número de fabricación.
- Volumen neto de almacenamiento en litros (L).
- Presión máxima de servicio en bares (bar).

Adicionalmente a lo anterior, el tanque debe venir equipado de fábrica con las bocas de conexión necesarias soldadas antes de aplicar el tratamiento de protección interior.

En el pliego de condiciones que nos ocupa estará permitido la utilización de cualquiera de los tipos de tanques que se exponen a continuación:

- Depósitos de acero galvanizado en caliente: de cualquier tamaño, con un espesor de galvanizado no inferior al especificado en la Norma UNE 37.501.
- Depósitos de acero con tratamiento epoxi: de cualquier tamaño.
- Depósitos de acero inoxidable: de cualquier tamaño.
- Depósitos de cobre: de cualquier tamaño.
- Acumuladores no metálicos: deben soportar las condiciones extremas del circuito, resistir la acción combinada de presión y temperatura, y estar autorizados por la Administración Competente.

Si el intercambiador de calor está incorporado al tanque de almacenamiento solar, debe estar ubicado en la parte inferior del mismo y puede ser de tipo sumergido o de doble envolvente. El intercambiador sumergido puede ser de serpentín o de haz tubular.

### **3.3.11 Intercambiadores de calor**

Los intercambiadores de calor son elementos cruciales en los sistemas solares térmicos, ya que permiten transferir el calor del fluido del captador (generalmente agua o glicol) al agua del circuito de almacenamiento. Para garantizar un funcionamiento óptimo y duradero, se deben utilizar intercambiadores fabricados con materiales de alta calidad y resistencia.

En la instalación que nos ocupa los intercambiadores de calor serán de acero inoxidable AISI 316 L. Este tipo de acero inoxidable posee excelentes propiedades anticorrosivas y de resistencia a altas temperaturas, lo que lo convierte en un material ideal para este tipo de aplicaciones.

El intercambiador seleccionado debe cumplir los siguientes requisitos técnicos:

- El intercambiador seleccionado debe ser capaz de soportar la presión máxima del sistema, la cual se encuentra

definida en el diseño general de la instalación.

- Los materiales del intercambiador deben ser capaces de soportar temperaturas de hasta 110 °C sin degradarse ni perder sus propiedades mecánicas.
- Es fundamental que los materiales del intercambiador sean compatibles con el fluido de trabajo utilizado en el sistema, ya sea agua o glicol.

Para facilitar la identificación y el seguimiento del intercambiador, se debe incluir una placa de identificación visible con la siguiente información:

- Fabricante: nombre del fabricante del intercambiador.
- Marca: marca comercial del intercambiador.
- Modelo: número de modelo específico del intercambiador.
- Número de placas: cantidad de placas que componen el intercambiador.
- Temperatura máxima: temperatura máxima de operación permitida para el intercambiador.
- Presión nominal: presión máxima de trabajo a la que está diseñado el intercambiador.
- Potencia nominal: potencia térmica nominal para la cual está diseñado el intercambiador.
- Caudal nominal: caudales nominales de los fluidos primario y secundario en el intercambiador.
- Salto de temperatura nominal: diferencia de temperatura nominal entre los fluidos primario y secundario en el intercambiador.

Se permitirán dos tipos de intercambiadores de calor para este sistema:

- Intercambiadores de placas desmontables: estos intercambiadores se componen de placas delgadas de acero inoxidable o cobre que se pueden desmontar para su limpieza o mantenimiento.
- Intercambiadores de placas electrosoldadas: en este tipo de intercambiador, las placas se encuentran soldadas entre sí, lo que ofrece una mayor resistencia y rigidez estructural.

### 3.4 Provisión del material

Para garantizar la calidad y el éxito de la instalación se implementarán medidas en tres áreas clave:

- **Componentes de marcas reconocidas:** se utilizarán únicamente productos de marcas acreditadas y, cuando se necesario, homologadas. Esto asegurará el máximo rendimiento, confiabilidad y garantía posible.
- **Almacenamiento seguro:** se dispondrá de un lugar adecuado y seguro para almacenar los materiales y elementos de la instalación hasta su uso. Este espacio estará protegido de la intemperie, tendrá las condiciones ambientales adecuadas y estará bajo acceso restringido para evitar daños o robos.
- **Manipulación y transporte cuidadosos:** los captadores se transportarán apilados sobre una base de madera compatible con carretillas elevadoras. Si se encuentran a la intemperie sin embalaje se colocarán con una inclinación entre 20° y 80° para prevenir la acumulación de agua o nieve.

### 3.5 Condiciones de montaje

Para un montaje adecuado es fundamental seguir las instrucciones y recomendaciones específicas proporcionadas por los fabricantes de cada material, aparato o equipo.

La instalación de las diferentes partes de la obra debe realizarse siguiendo las prácticas y técnicas estándar que se consideran como la mejor manera de lograr un buen funcionamiento durante la vida útil esperada de la instalación.

## **3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción**

### **3.6.1 General**

La instalación solar se entrega al promotor o usuario una vez finalizada su ejecución. Este proceso marca el inicio del período de uso y mantenimiento. Para su correcta recepción se deben realizar las pruebas, ajustes y puesta en marcha especificados en el proyecto.

El instalador se responsabiliza del correcto funcionamiento de la instalación hasta su entrega, incluyendo las pruebas funcionales y el buen estado general del sistema. La memoria de diseño detallará las pruebas a realizar, mientras que el documento de Control de Ejecución registrará las fechas, resultados y grado de cumplimiento de las expectativas de las pruebas parciales, finales y funcionales.

Para que la instalación se considere apta para su recepción su funcionamiento debe cumplir como mínimo con las pruebas parciales descritas en este capítulo.

### **3.6.2 Pruebas parciales**

#### **- Revisión y aprobación de materiales**

Previo a su uso en la obra se verificará meticulosamente el estado y las características de cada material y componente, incluyendo su Certificación de Origen Industrial que avale el cumplimiento de la normativa. Se cotejará con las especificaciones del proyecto y se examinarán sus características físicas.

#### **- Inspección y aprobación de tuberías**

Durante la construcción se expondrán y examinarán exhaustivamente todos los tramos de tuberías, uniones y elementos que quedarán ocultos, obteniendo la aprobación formal de su montaje antes de cubrirlos. También se inspeccionarán detalladamente los soportes de tubería, diámetros, trazados, pendientes y la continuidad de los aislamientos.

#### **- Pruebas de estanqueidad**

Se realizarán pruebas hidrostáticas en todas las redes de circulación de fluidos para garantizar su completa estanqueidad antes de que queden ocultas por albañilería, relleno o material aislante. Se seguirán las directrices de la norma UNE-EN 14336:2005, adaptándolas al tipo de fluido que se transporta.

#### **- Pruebas de libre dilatación**

Tras superar las pruebas de tuberías y verificar el ajuste de los elementos de seguridad mediante pruebas hidrostáticas se elevará la temperatura de la instalación hasta el punto de estancamiento de los elementos de seguridad, desactivando previamente los reguladores automáticos.

Durante el proceso de enfriamiento y al finalizar, se realizará una inspección visual minuciosa para confirmar que no existan deformaciones en tuberías ni elementos, y que el sistema de expansión haya funcionado correctamente.

### **3.6.3 Pruebas finales**

Se realizan pruebas finales para asegurar que la instalación cumple con los requisitos de calidad, confiabilidad y seguridad establecidos en el proyecto. Se siguen las directrices de la norma UNE-EN 12599 para la ejecución de las pruebas finales.

Las pruebas de libre dilatación y las pruebas finales de la instalación solar se realizan en un día soleado y sin demanda de energía para obtener resultados precisos.

#### **- Prueba de seguridad en condiciones de estancamiento**

Se lleva a cabo una prueba de seguridad en la instalación solar en condiciones de estancamiento del circuito

primario. La prueba se realiza con el circuito lleno, la bomba de circulación parada y un nivel de radiación sobre la apertura del captador superior al 80% de la máxima definida por el proyectista. La prueba se mantiene durante al menos una hora para evaluar el comportamiento del sistema en condiciones extremas.

### **3.6.4 Ajustes y equilibrado**

La instalación solar se ajusta a los valores de proyecto dentro de los márgenes de tolerancia permitidos. Se siguen las directrices de la Norma UNE 100.010 (partes 1, 2 y 3) para el ajuste y equilibrado, adaptándolas a las características específicas de cada sistema o instalación.

#### **- Sistemas de distribución de agua**

Se comprueba que el fluido anticongelante en los circuitos expuestos a heladas cumple con los requisitos del proyecto.

Cada bomba se ajusta al caudal de diseño, considerando su curva característica como paso previo al ajuste de los caudales en los circuitos.

Se determina el caudal nominal y la presión de cada circuito hidráulico, así como, los caudales nominales de cada ramal. Los ramales o sus dispositivos de equilibrado se ajustan al caudal de diseño.

Se verifica el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales mediante el procedimiento previsto en el proyecto.

Se ajustan los caudales de diseño que atraviesan cada intercambiador de calor considerando su potencia, temperatura y caudales de diseño.

Cuando hay más de un grupo de captadores solares en el circuito primario se prueba el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales mediante el procedimiento previsto en el proyecto.

Se verifica el funcionamiento del mecanismo del subsistema de energía solar en condiciones de estancamiento, así como, su retorno a las condiciones de operación nominal sin intervención del usuario, según los requisitos del proyecto.

#### **- Control automático**

Se ajustan todos los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño especificados en el proyecto. También se comprueba el funcionamiento de todos los componentes que configuran el sistema de control.

### **3.6.5 Recepción**

#### **• Recepción provisional**

Tiene como objetivo verificar que la instalación cumple con los servicios contratados y se ajusta a lo especificado en el proyecto, tanto en su conjunto como en cada uno de sus elementos.

Tras realizar las pruebas funcionales con resultados satisfactorios se procede a la Recepción Provisional por parte de la propiedad, dando por finalizado el montaje de la instalación.

Con objeto de la formalización se levanta un acta de recepción provisional donde figuran los intervinientes y se documenta la entrega de la siguiente documentación:

- Memoria descriptiva: incluye las bases del proyecto y los criterios de desarrollo.
- Planos definitivos: contienen los esquemas de todas las instalaciones, planos de sala de máquinas y planos de plantas con el recorrido de las conducciones y la ubicación de las unidades terminales.
- Relación de materiales y equipos: especifica el fabricante, marca, modelo y características del funcionamiento de cada elemento.
- Resultados de las pruebas: incluye las hojas de resultados de las pruebas parciales y finales.

- Manual de instrucciones: contiene las instrucciones para el funcionamiento de los equipos principales de la instalación.
- **Recepción definitiva**

A partir del acta de recepción provisional la propiedad tiene la obligación de notificar cualquier incidencia en el funcionamiento de la instalación.

Trascurrido el plazo estipulado desde el acta de recepción provisional, la Recepción Provisional se transforma en Recepción Definitiva. La garantía de la instalación entra en vigor a partir de la Recepción Definitiva.

### **3.7 Mantenimiento**

Para asegurar el correcto funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la vida útil de la instalación se definen tres niveles de actuación que engloban las operaciones necesarias durante su vida útil:

#### **- Vigilancia**

Tiene como objetivo observar y verificar que la instalación funcione a la perfección. Para ello se lleva a cabo un plan de observación simple de los parámetros principales para garantizar su correcto funcionamiento. De esta tarea se puede encargar el propio usuario.

#### **- Mantenimiento preventivo**

Se encarga de realizar las acciones necesarias para que la instalación tenga una vida útil larga y sin complicaciones. Se trata de un plan que incluye todas las operaciones necesarias para el buen funcionamiento del sistema durante su vida útil. Esto implica inspecciones visuales, verificación de actuaciones y otras tareas para mantener las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección, así como, durabilidad.

#### **- Mantenimiento correctivo**

Su objetivo es solucionar con rapidez y eficacia los problemas que puedan surgir. Este tipo de mantenimiento no se puede planificar por su carácter impredecible. Se realiza para corregir anomalías observadas durante el funcionamiento normal de la instalación. Para ello, se lleva un control de las acciones mediante un parte de mantenimiento correctivo que incluye el componente afectado, la causa aparente del problema, la acción correctiva realizada y la fecha, así como, la firma del responsable.



## **4. MEDICIONES Y PRESUPUESTO**

---

#### 4.1 Sistema de captación

| N Orden | Concepto   | Uds | Precio (€/ud) | Precio (€)       |
|---------|--|-----|---------------|------------------|
| 1.1     | Captador solar Termicol, modelo S26 o similar con las siguientes características:<br>Superficie útil: 2,44 m <sup>2</sup><br>Dimensiones: 2047 x 1247 x 49 mm<br>Peso en vacío: 34 kg<br>Factor óptico: 0,736<br>Factor lineal pérdidas: 3,86 W/m <sup>2</sup> K<br>Factor cuadrático pérdidas: 0,011 W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup><br>K50: 0,95<br>Caudal de ensayo: 73,52 l/h m <sup>2</sup><br>Pérdida de carga para caudal ensayo: 0,33 kPa<br>Presión máxima de trabajo: 8 bar<br>Capacidad del fluido: 1,38 litros | 50  | 651,00        | 32.550,00        |
| 1.2     | Estructura soporte cubierta plana, posición vertical Termicol, referencia 411V25 o similar, en aluminio para 5 captadores solares modelo S26   | 10  | 1.133,00      | 11.330,00        |
| 1.3     | Elementos de conexión batería de captadores Termicol, modelo Batcapt o similar, que incluye sistema de purga, de seguridad y cierre.   | 10  | 160,00        | 1.600,00         |
| 1.4     | Racores de conexión entre captadores Termicol, modelo Racor o similar  | 98  | 8,00          | 784,00           |
| 1.5     | Aerotermo Ferco floor, modelo AMS-1681 o similar de 159 kW de potencia, para una temperatura de entrada de aire de 35 °C y una temperatura de entrada de agua de hasta 105 °C  | 1   | 5.814,00      | 5.814,00         |
|         | <b>Total sistema de captación</b>  |     |               | <b>52.078,00</b> |

## 4.2 Sistema de acumulación

| N Orden | Concepto   | Uds | Precio (€/ud) | Precio (€)       |
|---------|--|-----|---------------|------------------|
| 2.1     | <p>Interacumulador solar Lapesa, modelo MXV-4000-SSB o similar con las siguientes características:</p> <p>Capacidad de ACS: 4000 litros</p> <p>Diámetro exterior: 1910 mm</p> <p>Longitud total: 2310 mm</p> <p>Aislamiento: espuma rígida de poliuretano inyectada en molde, libre de CFC</p> <p>Presión máxima de ACS: 8 bar</p> <p>Número de serpentines: 5</p> <p>Capacidad de serpentines: 48 litros</p> <p>Superficie de intercambio: 8,4 m<sup>2</sup></p> <p>Peso en vacío: 665 kg</p> <p>Pérdida de carga serpentín: 43 kPa</p> | 2   | 20.430,00     | 40.860,00        |
|         | <b>Total sistema de acumulación</b>  |     |               | <b>40.860,00</b> |

## 4.3 Sistema hidráulico

| N Orden | Concepto   | Uds | Precio (€/ud) | Precio (€) |
|---------|--|-----|---------------|------------|
| 3.1     | <p>Bomba circuito primario Wilo, modelo Stratos MAXO-Z 65/0,5-12 o similar con las siguientes características:</p> <p>Longitud: 340 mm</p> <p>Peso bruto: 31 kg</p> <p>Presión máxima de trabajo: 10 bar</p> <p>Temperatura ambiente máxima: 40 °C</p> <p>Alimentación eléctrica: 1-230 V, 50/60 Hz</p> <p>Intensidad nominal: 6,4 A</p> <p>Velocidad mínima: 800 rpm</p> <p>Velocidad máxima: 3400 rpm</p> <p>Potencia nominal del motor: 1,22 kW</p> | 2   | 6.862,00      | 13.724,00  |
| 3.2     | <p>Vaso de expansión con patas y membrana recambiable Ibaiondo, modelo 50 SMR-P o similar con las siguientes características:</p> <p>Volumen: 50 litros</p> <p>Peso: 12 kg</p> <p>Diámetro: 360 mm</p> <p>Altura: 750 mm</p> <p>Presión máxima de trabajo: 10 bar</p>  | 1   | 134,01        | 134,01     |

|             |  |     |        |          |
|-------------|--|-----|--------|----------|
| <b>3.3</b>  | Tubería de cobre D=28mm, Salvador Escoda o similar (barra de 5 metros)                       | 22  | 4,07   | 89,54    |
| <b>3.4</b>  | Tubería de cobre D=35mm, Salvador Escoda o similar (barra de 5 metros)                       | 3   | 4,07   | 12,21    |
| <b>3.5</b>  | Tubería de cobre D=42mm, Salvador Escoda o similar (barra de 5 metros)                       | 5   | 4,07   | 20,35    |
| <b>3.6</b>  | Tubería de cobre D=54mm, Salvador Escoda o similar (barra de 5 metros)                       | 7   | 4,07   | 28,49    |
| <b>3.7</b>  | Tubería de cobre D=64mm, Salvador Escoda o similar (barra de 5 metros)                       | 43  | 4,07   | 175,01   |
| <b>3.8</b>  | Aislamiento tubular flexible D=28mm, espesor 40 mm, Salvador Escoda o similar (metro lineal) | 110 | 20,05  | 2.205,50 |
| <b>3.9</b>  | Aislamiento tubular flexible D=35mm, espesor 40 mm, Salvador Escoda o similar (metro lineal) | 15  | 22,00  | 330,00   |
| <b>3.10</b> | Aislamiento tubular flexible D=42mm, espesor 40 mm, Salvador Escoda o similar (metro lineal) | 25  | 23,70  | 592,50   |
| <b>3.11</b> | Aislamiento tubular flexible D=54mm, espesor 40 mm, Salvador Escoda o similar (metro lineal) | 35  | 29,35  | 1.027,25 |
| <b>3.12</b> | Aislamiento tubular flexible D=64mm, espesor 40 mm, Salvador Escoda o similar (metro lineal) | 151 | 30,85  | 4.658,35 |
| <b>3.13</b> | Aislamiento tubular flexible D=64mm, espesor 32 mm, Salvador Escoda o similar (metro lineal) | 64  | 15,30  | 979,20   |
| <b>3.14</b> | Codo cobre 90° D=28mm, Salvador Escoda o similar (1 unidad)                                  | 12  | 4,68   | 56,16    |
| <b>3.15</b> | Codo cobre 90° D=64mm, Salvador Escoda o similar (1 unidad)                                  | 18  | 109,00 | 1.962,00 |
| <b>3.16</b> | Te cobre D=64mm, Conex Banninger o similar   | 2   | 148,02 | 296,04   |
| <b>3.17</b> | Te reducida cobre 35-28-28, Conex Banninger o similar  | 2   | 24,72  | 49,44    |
| <b>3.18</b> | Te reducida cobre 35-28-35, Conex Banninger o similar  | 2   | 24,80  | 49,60    |
| <b>3.19</b> | Te reducida cobre 42-28-35, Conex Banninger o similar  | 2   | 36,64  | 73,28    |
| <b>3.20</b> | Te reducida cobre 42-28-42, Conex Banninger o similar  | 2   | 42,28  | 84,56    |
| <b>3.21</b> | Te reducida cobre 54-28-42, Conex Banninger o similar  | 2   | 125,62 | 251,24   |

|      |   |    |          |                  |
|------|---|----|----------|------------------|
| 3.22 | Te reducida cobre 54-28-54, Conex Banninger o similar                               | 6  | 91,17    | 547,02           |
| 3.23 | Te reducida cobre 64-54-64, Conex Banninger o similar                               | 2  | 134,75   | 269,50           |
| 3.24 | Manguito reducción cobre 54-28, Conex Banninger o similar                           | 1  | 42,68    | 42,68            |
| 3.25 | Manguito reducción cobre 64-54, Conex Banninger o similar                           | 1  | 46,33    | 46,33            |
| 3.26 | Válvula de corte esférica D=28mm, Salvador Escoda o similar                         | 20 | 11,23    | 224,60           |
| 3.27 | Válvula de corte esférica D=64mm, Salvador Escoda o similar                         | 19 | 74,36    | 1.412,84         |
| 3.28 | Válvula de retención de clapeta cierre metal D=64 mm, Salvador Escoda o similar     | 3  | 152,00   | 456,00           |
| 3.29 | Válvula de seguridad D=28 mm, Salvador Escoda o similar                             | 10 | 86,55    | 865,50           |
| 3.30 | Válvula de seguridad D=64 mm, Salvador Escoda o similar                             | 4  | 278,71   | 1.114,84         |
| 3.31 | Válvula bola de tres vías con actuador eléctrico D=64 mm, Salvador Escoda o similar | 1  | 1.555,55 | 1.555,55         |
| 3.32 | Válvula de equilibrado D=28mm, Resideo Honeywell o similar                          | 10 | 88,80    | 888,00           |
| 3.33 | Purgador de aire automático D=28mm, Genebre o similar                               | 10 | 13,54    | 135,40           |
|      | <b>Total sistema hidráulico</b>   |    |          | <b>34.356,99</b> |

#### 4.4 Sistema de control

| N Orden | Concepto  | Uds | Precio (€/ud) | Precio (€) |
|---------|---|-----|---------------|------------|
| 4.1     | Centralita Termicol, modelo LTDC-V3 o similar con las siguientes características:<br>6 entradas para sensores PT1000 de temperatura<br>2 entradas VFS/RPS Directsensor para medir caudal<br>3 salidas relé 230 VAC (on/off)<br>2 salidas PWM (control velocidad bombas alta eficiencia)<br>42 variantes hidráulicas | 1   | 576,00        | 576,00     |
| 4.2     | Sonda de temperatura Termicol PT1000 o similar  | 3   | 23,00         | 69,00      |

|            |   |   |       |               |
|------------|---|---|-------|---------------|
| <b>4.3</b> | Termómetro bimetálico de escala 0-120 °C, Salvador Escoda o similar | 2 | 19,40 | 38,80         |
| <b>4.4</b> | Manómetro de escala 0-10 bar, Salvador Escoda o similar             | 4 | 7,00  | 28,00         |
|            | <b>Total sistema de control</b>                                     |   |       | <b>711,80</b> |

#### 4.5 Presupuesto total de la instalación

El resumen del presupuesto de la instalación es el que se detalla a continuación:

| <b>TIPO DE SISTEMA</b>        | <b>PRECIO</b> |
|-------------------------------|---------------|
| <b>Sistema de captación</b>   | 52.078,00 €   |
| <b>Sistema de acumulación</b> | 40.860,00 €   |
| <b>Sistema hidráulico</b>     | 34.356,99 €   |
| <b>Sistema de control</b>     | 711,80 €      |

Aplicando el 21% de IVA queda:

|  |              |
|--|--------------|
| <b>Presupuesto total sin aplicar IVA</b>   | 128.006,79 € |
| <b>IVA (21%)</b>                           | 26.881,43 €  |
| <b>Presupuesto total de la instalación</b> | 154.888,22 € |

El presupuesto total de la instalación asciende a CIENTO CINCUENTA Y CUATRO MIL, OCHOCIENTOS OCHENTA Y OCHO EUROS CON VEINTIDÓS CÉNTIMOS.

De este presupuesto se obtiene un ratio (€/m<sup>2</sup> de captación) de 1.229,27 €/m<sup>2</sup>.

En la Figura 42 se muestra un gráfico con el desglose del presupuesto total en porcentaje de cada sistema que compone la instalación.

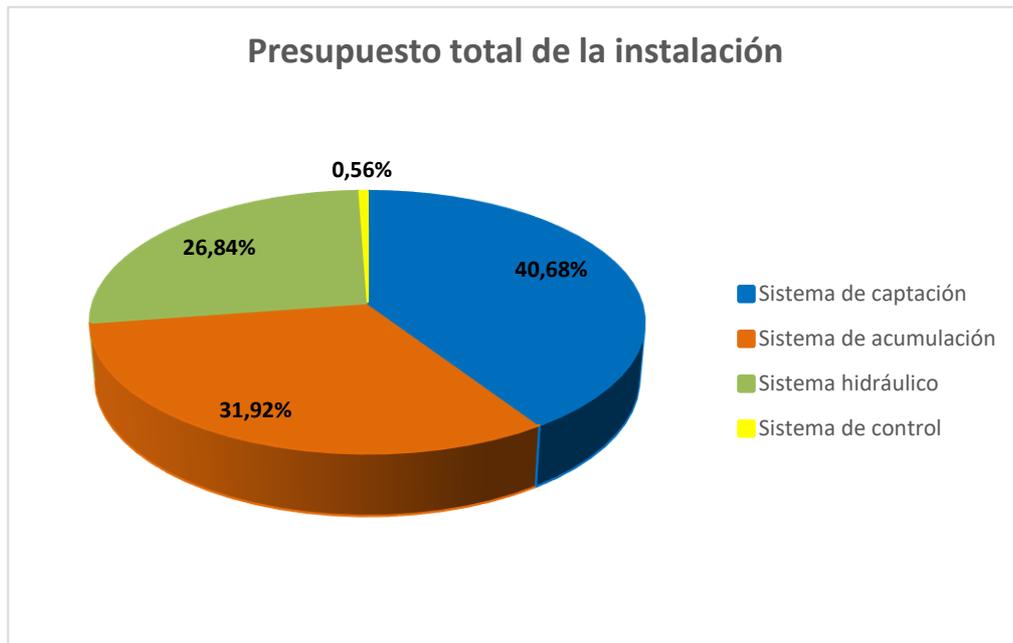


Figura 43. Desglose del presupuesto total de la instalación por sistemas



## **5. PLANOS**

---



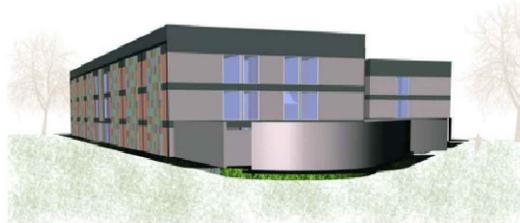
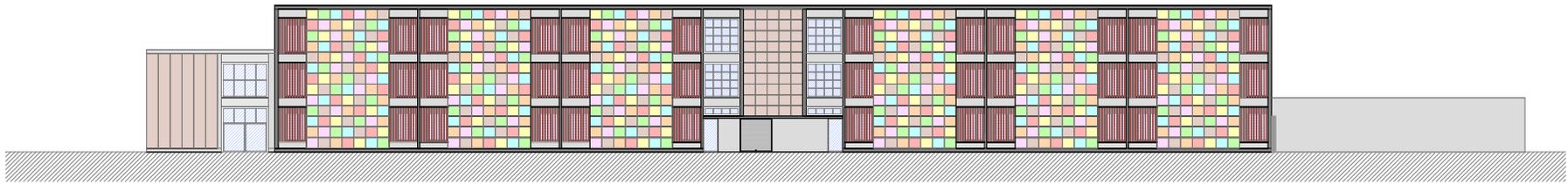
SITUACIÓN



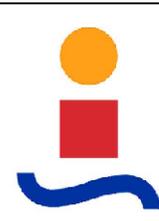
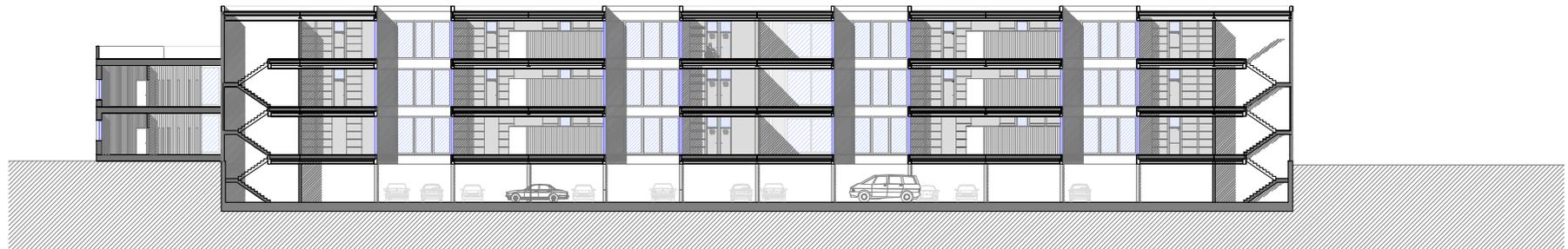
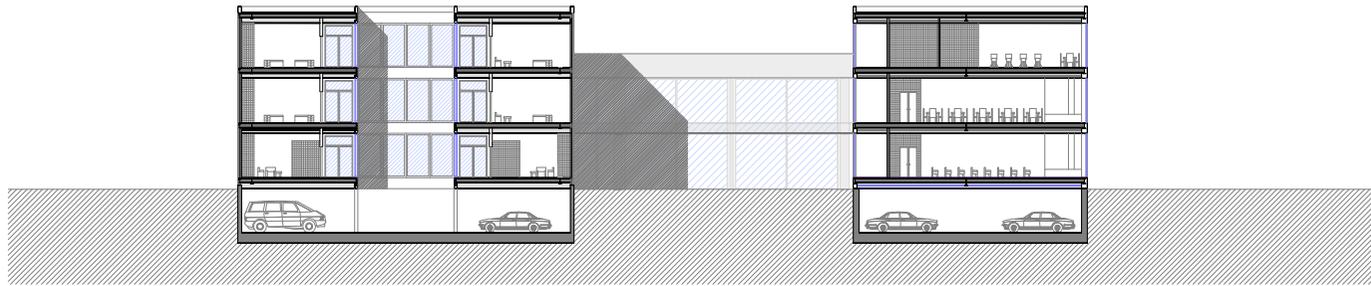
EMPLAZAMIENTO DE LA PARCELA



|  |   |            |                               |
|--|---|------------|-------------------------------|
|  | DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UNA RESIDENCIA DE ANCIANOS |            |                               |
|  | SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO   |            | Nº PLANO<br>1                 |
|  | FECHA   | ESCALA     | FIRMA                         |
|  | 28/06/2024  | SIN ESCALA | MIGUEL ÁNGEL MONTERO ILLANGUA |



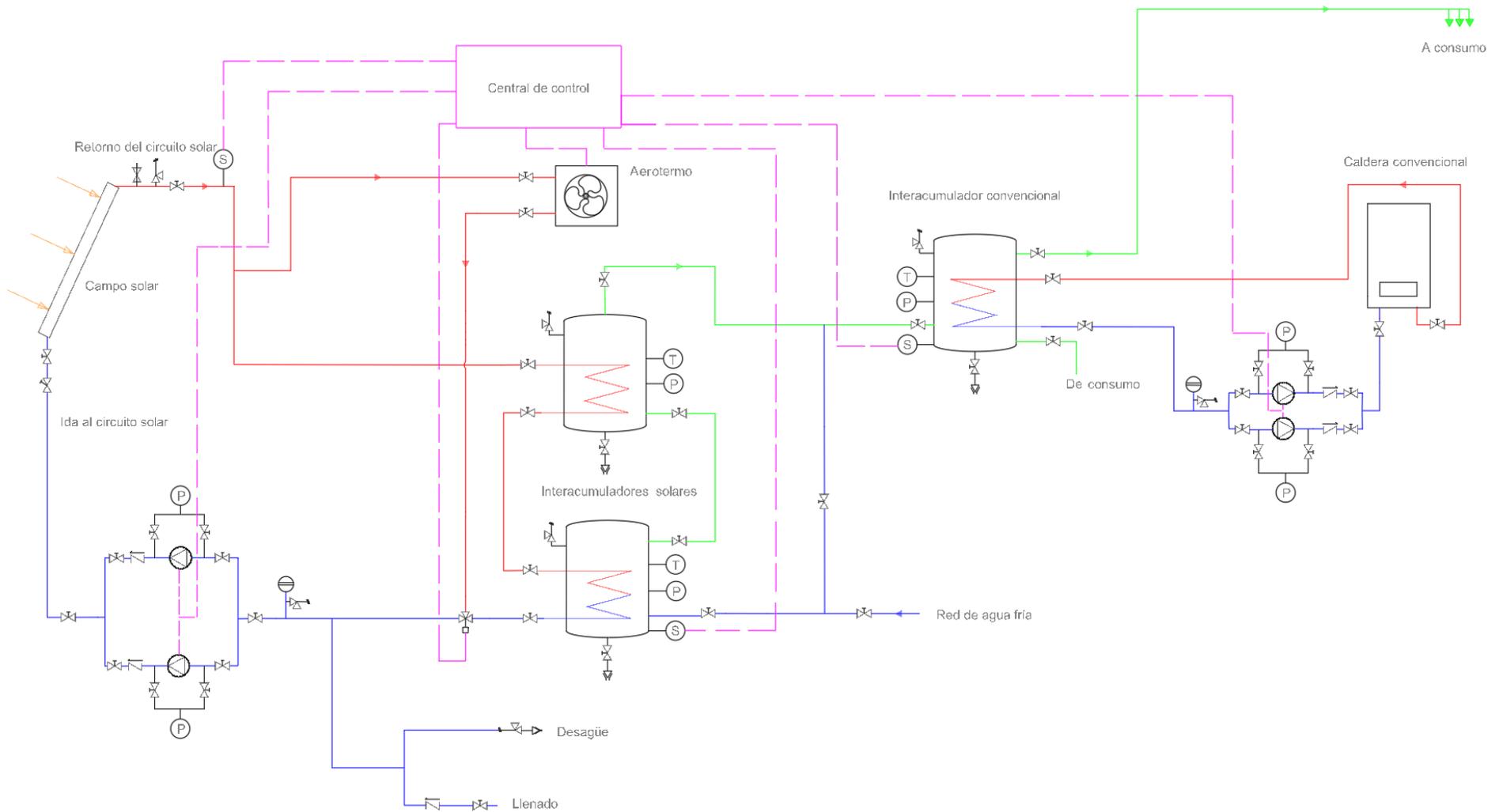
|  |   |            |                               |
|--|---|------------|-------------------------------|
|  | DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UNA RESIDENCIA DE ANCIANOS |            |                               |
|  | VISTA ALZADO DE LA RESIDENCIA DE ANCIANOS   |            | Nº PLANO<br><b>2</b>          |
|  | FECHA   | ESCALA     | FIRMA                         |
|  | 28/06/2024  | SIN ESCALA | MIGUEL ÁNGEL MONTERO ILLANGUA |



DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UNA RESIDENCIA DE ANCIANOS

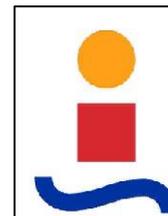
|  |  |          |
|--|--|----------|
| SECCIONES DE LA RESIDENCIA DE ANCIANOS |  | Nº PLANO |
|  |  | 3        |

|            |            |                               |
|------------|------------|-------------------------------|
| FECHA      | ESCALA     | FIRMA                         |
| 28/06/2024 | SIN ESCALA | MIGUEL ÁNGEL MONTERO ILLANGUA |



**LEYENDA**

- |   |                      |   |                        |
|---|----------------------|---|------------------------|
| ⊗ | Válvula de corte     | ⊗ | Válvula de equilibrado |
| ⊙ | Bomba                | Ⓢ | Sonda de Temperatura   |
| ⌌ | Válvula de retención | Ⓣ | Termómetro             |
| ⊕ | Purgador de aire     | Ⓟ | Manómetro              |
| ⚠ | Válvula de seguridad | — | Fluido frío            |
| ⊖ | Vaso de expansión    | — | Fluido caliente        |
| ⊗ | Válvula de tres vías | — | Sistema de control     |



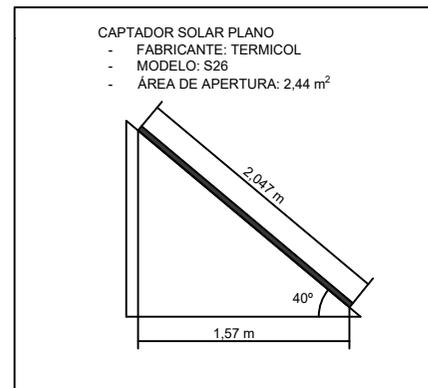
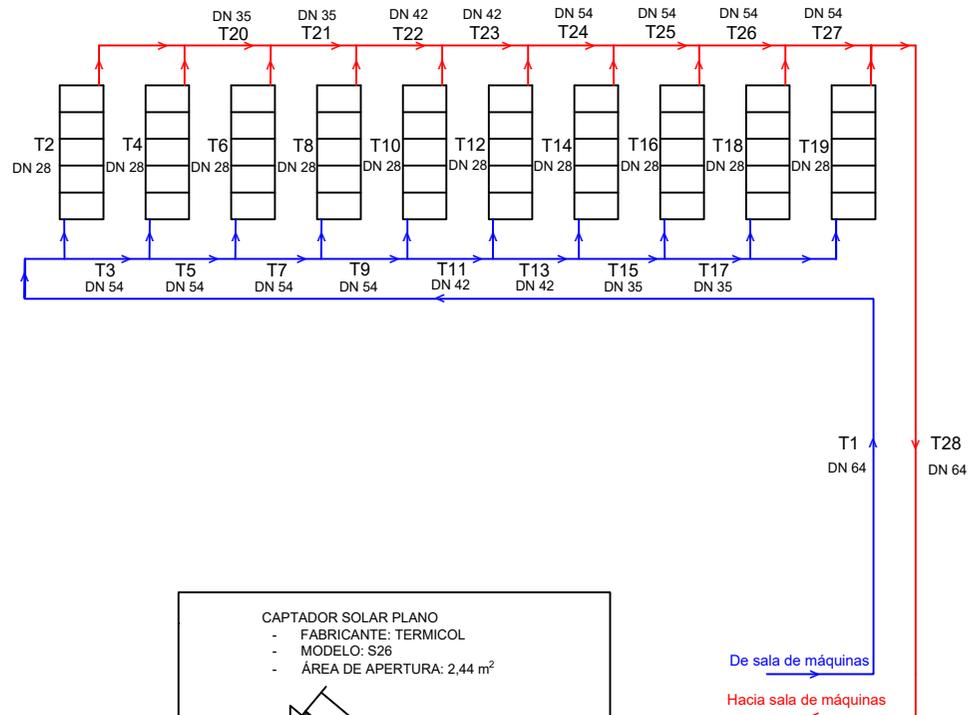
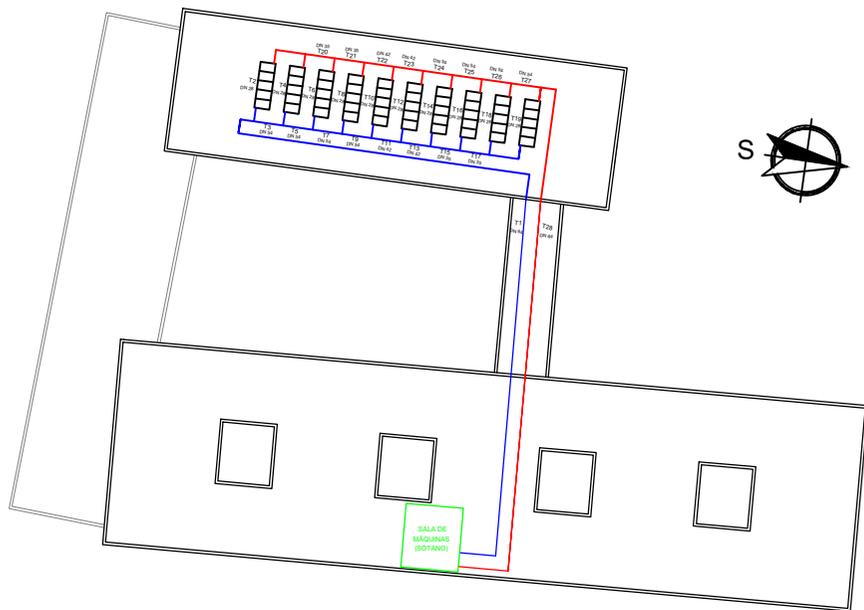
DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UNA RESIDENCIA DE ANCIANOS

ESQUEMA DE PRINCIPIO DE LA INSTALACIÓN

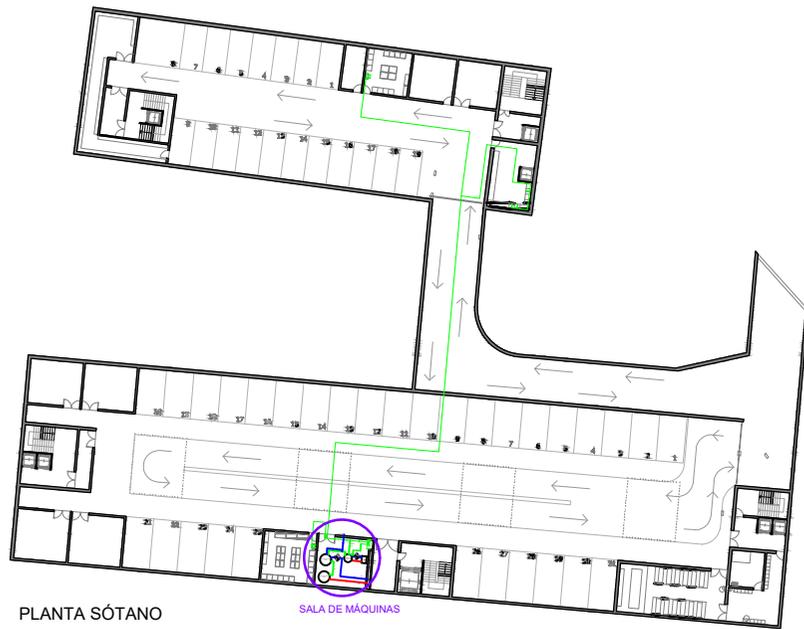
Nº PLANO

4

|            |            |                               |
|------------|------------|-------------------------------|
| FECHA      | ESCALA     | FIRMA                         |
| 28/06/2024 | SIN ESCALA | MIGUEL ÁNGEL MONTERO ILLANGUA |

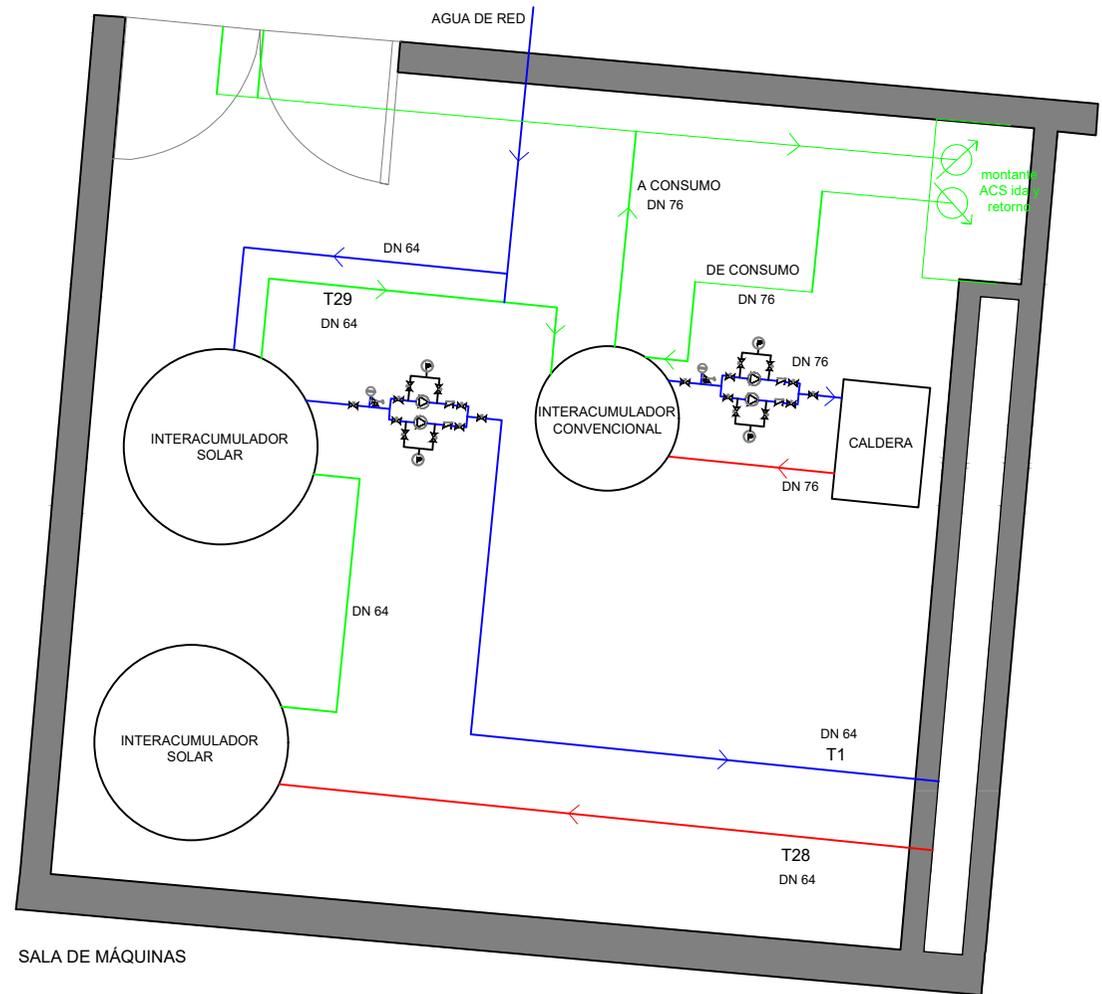


|  |   |            |                               |
|--|---|------------|-------------------------------|
|  | DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UNA RESIDENCIA DE ANCIANOS |            |                               |
|  | DISTRIBUCIÓN CAPTADORES EN CUBIERTA   |            | Nº PLANO<br><b>5</b>          |
|  | FECHA   | ESCALA     | FIRMA                         |
|  | 28/06/2024  | SIN ESCALA | MIGUEL ÁNGEL MONTERO ILLANGUA |



PLANTA SÓTANO

SALA DE MÁQUINAS



SALA DE MÁQUINAS



DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UNA RESIDENCIA DE ANCIANOS

DISTRIBUCIÓN EN SALA DE MÁQUINAS

Nº PLANO

6

FECHA

ESCALA

FIRMA

28/06/2024

SIN ESCALA

MIGUEL ÁNGEL MONTERO ILLANGUA