

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de la Energía

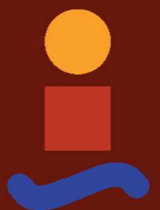
Estudio y diseño de una instalación solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en una residencia de ancianos

Autor: Marco Lozano González

Tutor: Jose Julio Guerra Macho

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

Sevilla, 2026



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Estudio y diseño de una instalación solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en una residencia de ancianos

Autor:

Marco Lozano González

Tutor:

Jose Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

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

Sevilla, 2026

Trabajo Fin de Grado: Estudio y diseño de una instalación solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en una residencia de ancianos

Autor: Marco Lozano González

Tutor: Jose 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, 2026

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a mis padres y al conjunto de mi familia, ya que han sido un apoyo constante a lo largo de toda mi trayectoria académica y personal. Gracias por confiar en mí, por darme las herramientas necesarias para crecer y por transmitirme valores que han sido clave en mi formación.

También quiero dar las gracias a mis amigos, que han sabido acompañarme durante este proceso, ofreciéndome ánimo, comprensión y apoyo en los momentos más exigentes. Vuestra presencia ha sido fundamental para mantener la motivación y el equilibrio necesarios.

Por último, deseo agradecer a todo el profesorado que ha formado parte de mi etapa universitaria, por los conocimientos y experiencias compartidas. De manera especial, quiero reconocer la labor de mi tutor del Trabajo de Fin de Grado, cuya orientación, disponibilidad y compromiso han sido determinantes para la correcta realización de este trabajo

Marco Lozano González

Sevilla, 2026

Resumen

El presente Trabajo Fin de Grado trata sobre el estudio y diseño de una instalación solar térmica para producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en una residencia de ancianos con capacidad para 165 personas, ubicada en Palma de Mallorca, Islas Baleares.

Para su desarrollo, se ha realizado un análisis para comprender el principio de funcionamiento de la energía solar térmica, la evaluación del emplazamiento y las características constructivas del edificio, el estudio de la radiación solar disponible y del clima local, así como la determinación del consumo energético y las necesidades térmicas del centro. A partir de toda esta información, se ha hecho un dimensionamiento completo de los componentes de esta instalación.

El cálculo de los parámetros principales del sistema se realizó mediante el software CHEQ4. Dicha herramienta, utilizando los datos de partida, posibilita optimizar el diseño y comprobar el cumplimiento de la contribución solar mínima que exigen la normativa vigente: el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

El documento final se compone de: memoria descriptiva, memoria de cálculo, pliego de prescripciones técnicas, mediciones y presupuesto, y documentación gráfica (planos).

Abstract

The present Final Degree Project (Trabajo Fin de Grado) deals with the study and design of a solar thermal installation for the production of Domestic Hot Water (DHW) in a nursing home with capacity for 165 people, located in Palma de Mallorca, Balearic Islands.

For its development, an analysis was carried out to understand the basic operating principle of solar thermal energy, the evaluation of the site and the building's construction characteristics, the study of available solar radiation and the local climate, as well as the determination of the center's energy consumption and thermal needs. Based on all this information, a complete dimensioning of the installation's components has been performed.

The calculation of the system's main parameters was executed using the software CHEQ4. This tool, utilizing the initial design data, makes it possible to optimize the design and verify compliance with the minimum solar contribution required by the current regulations: the Technical Building Code (CTE) and the Regulation of Thermal Installations in Buildings (RITE).

The final document is composed by descriptive report, calculation report, technical specifications sheet, measurements and budget, and graphic documentation (drawings).

Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xii
Índice de Tablas	xiv
Índice de Figuras	xv
1 Memoria descriptiva	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Instalación de energía solar	2
1.2.1 Principio de funcionamiento	2
1.2.2 Elementos principales de la instalación	3
1.3. Método de cálculo	6
1.4. Descripción del edificio	9
1.5. Descripción de la instalación	10
1.6. Características técnicas	11
1.7. Normativa	15
1.8. Referencias	15
2 Memoria de cálculo	19
2.1. Introducción	20
2.2. Datos de partida	20
2.2.1 Características del edificio	20
2.2.2 Datos climatológicos	20
2.2.3 Cálculo de la radiación solar global sobre superficie inclinada	22
2.3. Cálculo de la demanda	24
2.3.1 Datos de consumo	24
2.3.2 Cálculo de la demanda	25
2.4. Dimensionamiento básico	26
2.4.1 Sistemas de captación	26
2.4.2 Volumen de acumulación	27
2.4.3 Número de captadores en serie	27
2.4.4 Resumen de dimensionamiento	28
2.5. Disposición de los captadores en cubierta	28
2.6. Dimensionamiento del intercambiador de calor	29
2.7. Dimensionamiento del aerotermo	30
2.8. Dimensionamiento de la red de tuberías	30
2.8.1 Caudal del circuito primario y secundario	30
2.8.2 Pérdida de carga de los captadores	31
2.8.3 Cálculo de la red de tuberías	31
2.8.4 Pérdida de carga de la red de tuberías de la red de tuberías	33
2.9. Dimensionamiento de las bombas	37
2.10. Dimensionamiento del vaso de expansión	38
2.11. Determinación de aislamiento en tuberías	39
2.12. Selección de accesorios	40

3	Pliego de condiciones técnicas	43
3.1.	Objetivo	44
3.2.	Normativa aplicable	44
3.3.	Condiciones de materiales y equipos	44
3.3.1	Tuberías	44
3.3.2	Accesorio de tuberías	45
3.3.3	Válvulas	46
3.3.4	Aislamiento	47
3.3.5	Vasos de expansión	48
3.3.6	Bombas	48
3.3.7	Captadores	49
3.3.8	Sistema eléctrico y de control	49
3.3.9	Aparatos de medida	50
3.3.10	Acumuladores	51
3.3.11	Intercambiador de calor	52
3.4.	Provisión del material	52
3.5.	Condiciones de montaje	52
3.6.	Pruebas, puesta en marcha y recepción	53
3.7.	Mantenimiento	55
4	Mediciones y presupuesto	57
5	Planos	63

Índice de tablas

Tabla 1. Características básicas del edificio	20
Tabla 2. Datos climatológicos	22
Tabla 3. Cálculos para radiación global sobre superficie inclinada	24
Tabla 4. Demandas de ACS según el HE4-CTE	24
Tabla 5. Demanda ACS por mes	25
Tabla 6. Simulaciones variando N_c	26
Tabla 7. Simulaciones variando V/A	27
Tabla 8. Simulaciones de número de captadores en serie	27
Tabla 9. Dimensionamiento de la instalación	28
Tabla 10. Dimensionamiento del intercambiador de calor	30
Tabla 11. Diámetros normalizados en función del caudal	32
Tabla 12. Dimensionado de la red de tuberías este	34
Tabla 13. Dimensionado de la red de tuberías oeste	34
Tabla 14. Dimensionado de las tuberías de cubierta a sala de máquinas (circuito primario)	34
Tabla 15. Dimensionado de las tuberías de la sala de máquinas (circuito secundario)	35
Tabla 16. Longitudes equivalentes de accesorios de tuberías de cobre	35
Tabla 17. Pérdidas de carga por tramo en nave este	36
Tabla 18. Pérdidas de carga por tramo en nave oeste	37
Tabla 19. Pérdidas de carga por tramo de cubierta a sala de máquinas	37
Tabla 20. Pérdidas de carga por tramo en sala de máquinas (circuito secundario)	37
Tabla 21. Pérdida de carga total en el primario	37
Tabla 22. Espesor mínimo para tuberías interiores	40
Tabla 23. Espesor mínimo para tuberías exteriores	40
Tabla 24. Espesores de tuberías en la instalación	40
Tabla 25. Presupuesto sistema de captación	58
Tabla 26. Presupuesto sistema de acumulación	58
Tabla 27. Presupuesto sistema de intercambio	59
Tabla 28. Presupuesto sistema hidráulico	62
Tabla 29. Presupuesto sistema de control	62
Tabla 30. Presupuesto total	62

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de elementos de la instalación	3
Figura 2. Captador solar plano	4
Figura 3. Intercambiador de placas	4
Figura 4. Caldera convencional	5
Figura 5. Primera ventana de CHEQ4 (localización)	7
Figura 6. Segunda ventana de CHEQ4 (configuración)	7
Figura 7. Tercera ventana de CHEQ4 (demanda)	7
Figura 8. Cuarta ventana de CHEQ4 (Solar/Apoyo)	8
Figura 9. Quinta ventana de CHEQ4 (Otros parámetros)	8
Figura 10. Sexta ventana de CHEQ4 (Resultados)	9
Figura 11. Parcela de la residencia. Palma	9
Figura 12. Fachada de la residencia	10
Figura 13. Esquema de la instalación	10
Figura 14. Captador 2.1 AL S8	11
Figura 15. Características térmicas del captador	12
Figura 16. Depósito acumulador 6000L	12
Figura 17. Características principales del depósito acumulador.	12
Figura 18. Plano de dimensiones de la bomba	13
Figura 19. Características técnicas de la bomba	13
Figura 20. Imagen de vaso de expansión	13
Figura 21. Características técnicas y esquema del vaso de expansión	14
Figura 22. Intercambiador y sus características técnicas	14
Figura 23. Imagen de aerotermo	14
Figura 24. Mapa de zonas climáticas de España	21
Figura 25. Gráfica de temperaturas y precipitaciones por mes en Palma de Mallorca	21
Figura 26. Distancia entre filas de captadores	28
Figura 27. Pérdida de carga del captador en función del caudal	31
Figura 28. Plano de distribución de captadores de cubierta este	33
Figura 29. Plano de distribución de captadores de cubierta oeste y en sala de máquinas	33
Figura 30. Peso de cada subsistema en el presupuesto	62

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Objetivo

Este trabajo tiene como finalidad el desarrollo del diseño y cálculo de un sistema solar térmico de baja temperatura para generar Agua Caliente Sanitaria (ACS) en una residencia geriátrica ubicada en Palma de Mallorca. El estudio incluirá el análisis técnico de todos los componentes de la instalación, seleccionando soluciones que optimicen su eficiencia y cumplan con la legislación aplicable.

El proyecto se ha elaborado siguiendo las directrices del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Estas instalaciones, ampliamente implantadas en la actualidad, representan una alternativa sostenible que reduce significativamente la dependencia de energías fósiles y, en consecuencia, minimiza la emisión de gases contaminantes derivados de su uso.

1.2 Instalación de energía solar

1.2.1 Principio de funcionamiento

La energía solar térmica de baja temperatura es una solución tecnológica madura para generar calor útil en múltiples aplicaciones, operando generalmente a temperaturas del entorno de 80°C. El aprovechamiento solar tiene raíces históricas, desde prácticas ancestrales como la orientación de edificios hasta el desarrollo de captadores modernos impulsado por la crisis del petróleo.

El objetivo principal de estas instalaciones es captar la energía solar para producir calor. El proceso se basa en un ciclo de transferencia energética:

- Captación: La energía solar es absorbida por los captadores solares.
- Transferencia: Intercambiador de calor del sistema de captación.
- Acumulación y Distribución: El agua ya calentada se dirige y se almacena en depósitos de acumulación vertical, donde permanece hasta ser demandada por los puntos de consumo de la residencia.
- Apoyo: Un sistema auxiliar convencional asegura que la demanda de calor se cubra consistentemente, incluso cuando la radiación solar es insuficiente.

Los captadores solares planos son la tecnología más utilizada y su alta eficiencia se logra mediante la combinación de tres principios físicos:

- Superficie Selectiva: Este recubrimiento optimiza el rendimiento térmico, siendo un eficiente absorbente solar pero un pobre emisor de calor propio (onda larga), lo que reduce las pérdidas por re-radiación.
- Efecto Invernadero: Una cubierta de vidrio sella el captador. Esta permite el paso de la radiación solar, pero atrapa el calor re-irradiado por el absorbedor, elevando la temperatura de operación y minimizando las pérdidas.

Otras tecnologías como los tubos de vacío, que son también usadas para este tipo de instalaciones, tienen un rendimiento superior a los captadores solares planos, pero estos, son la opción más dominante y promovida por normas como el CTE, principalmente por su economía y facilidad de instalación. Estos captadores, tienen una excelente relación coste-beneficio para las temperaturas requeridas de ACS.

La instalación se divide en varios sistemas, desempeñando diferentes funciones, y son los siguientes:

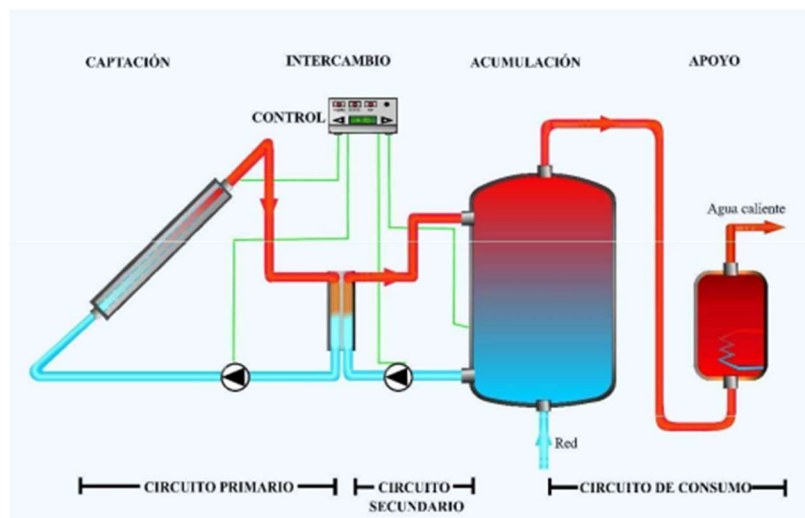


Figura 1. Esquema de elementos de la instalación (15)

- Sistema de captación: transforma la energía solar en calor. Esto se logra mediante captadores solares que absorben la radiación a través de una superficie especial. El calor se transfiere a un fluido caloportador (generalmente agua y anticongelante) que eleva su temperatura al circular por los conductos del captador.
- Sistema de acumulación: la energía interna es almacenada en uno o más depósitos acumuladores. Se guarda el calor excedido generado en las horas de sol para luego poder usarlo en periodos de baja o nula radiación.
- Sistema de intercambio: se transfiere el calor entre fluidos que circulan por los diferentes circuitos, el primario y el secundario. Puede ocurrir de dos maneras: por intercambiador interno (serpentín en el interior del acumulador) o por intercambiador externo.
- Sistema de transporte o de circulación: formado por tuberías y elementos de impulsión y aislamiento térmico adecuados, diseñados para transportar la energía producida. Incluye la bomba o grupo de circulación, tuberías, válvulas, purgadores o vasos de expansión.
- Sistema de apoyo o auxiliar: elemento de apoyo a la instalación solar para complementar el aporte solar en periodos de escasa radiación solar o de demanda de energía superior a la prevista de manera que siempre se supla la demanda térmica del usuario.
- Sistema de control: asegura el correcto funcionamiento del conjunto. Está compuesto por una centralita o controlador diferencial, sondas de temperatura y actuadores. Este sistema compara las temperaturas y activa o detiene la bomba de circulación, gestiona el sistema de apoyo y supervisa todo el proceso para optimizar el rendimiento y proteger la instalación.

1.2.2 Elementos principales de la instalación

- Captador solar plano:

El elemento más característico es el captador solar plano (CSP). Un captador solar plano es un intercambiador de calor que transforma energía radiante (Radiación Solar) en energía térmica que aumenta la temperatura de un fluido de trabajo contenido en el interior del captador. Capta tanto la radiación directa como difusa.



Figura 2 . Captador solar plano (16)

El funcionamiento del captador solar plano está regido por los siguientes principios básicos:

- 1) El aporte de energía solar no es “controlable”.
- 2) La demanda y el aporte de energía solar están desfasados
- 3) La orientación e inclinación del captador influyen fuertemente en el rendimiento.
- 4) El rendimiento de captación aumenta al disminuir la temperatura del fluido a la entrada.
- 5) Interesa captar la energía solar a la mayor temperatura posible.
- 6) Hay que dar preferencia al consumo de la energía solar frente a la convencional.

- Intercambiador:

El componente clave para transferir el calor desde el captador solar al depósito de almacenamiento es el sistema de intercambio. Su función es mover la energía térmica capturada en el circuito primario hacia el circuito secundario. Este sistema incluye un intercambiador de calor; si este no está integrado en el depósito de acumulación, se suele utilizar un intercambiador de placas debido a su alta eficiencia y compacidad.



Figura 3 . Intercambiador de placas (3)

- Depósito de acumulación:

La función principal de este equipo es garantizar la disponibilidad de agua caliente a lo largo del día, compensando la diferencia entre las horas de mayor radiación solar y los momentos de mayor consumo. En otras palabras, acumula energía en las horas centrales de mayor radiación para luego suministrarla conforme se requiera.

La disposición más adecuada es en posición vertical, ya que aprovecha al máximo la estratificación del agua. La entrada de agua precalentada (el retorno del intercambiador externo) se coloca en la parte superior del depósito, mientras que la extracción de agua fría hacia el intercambiador y el agua de red se coloca en la parte baja. De este modo, el agua más caliente permanece en la parte superior, lista para ser consumida, mientras que el agua más fría se extrae desde el fondo para maximizar la transferencia de calor en el intercambiador externo.

- Red de transporte:

Son los encargados de transportar los fluidos dentro de la instalación. No solo incluyen las tuberías, sino también uniones, accesorios, soportes, aislamiento y elementos de dilatación.

- Caldera convencional (sistema de apoyo):

El sistema de apoyo suministra la energía complementaria requerida para satisfacer el consumo cuando el aporte térmico acopiado en el depósito de acumulación es insuficiente. La reglamentación vigente (RITE) estipula la obligatoriedad de incorporar un sistema auxiliar con una potencia nominal máxima que garantice la cobertura del 100% de la demanda punta en todas las circunstancias operacionales. Las soluciones habituales para este equipo auxiliar incluyen calderas de gas convencionales, termos eléctricos, unidades de condensación de alta eficiencia, o generadores alimentados por biomasa.



Figura 4. Caldera convencional (18)

- Sistema de control:

El sistema de control es el encargado de gestionar el funcionamiento de los distintos equipos que componen la instalación. Entre sus elementos se encuentran las sondas de temperatura, las válvulas de seguridad y una central de regulación.

En las instalaciones solares térmicas de baja temperatura, el componente principal es la centralita de control, que gobierna las bombas de circulación mediante un control diferencial de temperatura. Para ello, compara continuamente la temperatura registrada por una sonda situada a la salida de los captadores solares con la medida por otra sonda colocada en la parte inferior del depósito acumulador, donde entra el agua fría de la red. Si la temperatura del fluido procedente de los captadores es superior a la del fondo del depósito, significa que se ha producido captación de energía y el sistema activa las bombas de los circuitos primario y secundario. En caso contrario, las detiene. Para evitar arranques y paradas continuas, se establece un margen de diferencia de temperatura tanto para la puesta en marcha como para la desconexión.

En instalaciones de mayor tamaño, donde el circuito primario tiene una longitud considerable, puede añadirse una tercera sonda a la entrada del intercambiador por donde llega el fluido caliente desde los captadores. En este caso, el control activa inicialmente la bomba del circuito primario cuando se cumple la condición de temperatura entre captadores y depósito. Posteriormente, cuando la temperatura en la entrada del intercambiador supera la del fondo del depósito, se pone en funcionamiento la bomba del circuito secundario. Como alternativa más sencilla, en lugar de instalar esa tercera sonda, se puede programar un retardo temporal: al arrancar la bomba del primario, la del secundario se activa tras el tiempo estimado que tarda el fluido en llegar desde los captadores hasta el intercambiador, teniendo así en cuenta la inercia térmica del circuito.

La sonda situada a la salida de los captadores también permite aplicar estrategias de protección. Si no se emplea un fluido anticongelante y la temperatura desciende por debajo de un valor prefijado, el sistema pone en marcha las bombas para aprovechar el calor almacenado en el depósito y evitar la congelación del fluido en los captadores. Del mismo modo, si la temperatura supera un límite máximo establecido, el sistema desvía el fluido del circuito primario hacia un intercambiador adicional, como un aerotermo o disipador, con el fin de liberar el exceso de energía al ambiente exterior.

Las válvulas de seguridad controlan la presión del sistema: cuando supera el límite establecido, se abren y evacúan fluido hasta normalizarla. Es obligatorio instalar al menos una en el vaso de expansión.

El sistema de apoyo se regula mediante un sensor en el depósito auxiliar o caldera. Si la temperatura baja del valor de consigna se activa, permaneciendo en funcionamiento hasta recuperar el nivel programado.

1.3 Método de cálculo

El desarrollo técnico de este proyecto se ha articulado en torno al uso del software CHEQ4 (Cálculo de la Hipótesis Energética de los Captadores Solares). Esta herramienta informática constituye el estándar de referencia en el sector de la energía solar térmica en España, habiendo sido desarrollada por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) en colaboración con la Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT).

La elección de este software no es meramente procedimental; su uso garantiza que el diseño de la instalación se ajusta de forma estricta a las exigencias del Código Técnico de la Edificación (CTE). En particular, permite validar el cumplimiento de la sección HE4 (Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria), que es el marco normativo que rige la eficiencia energética y la sostenibilidad en edificios de uso residencial público como la residencia de ancianos objeto de este estudio.

A diferencia de otros métodos manuales o simplificados, CHEQ4 integra la metodología de cálculo MetaSol. Este sistema es el resultado de un exhaustivo análisis basado en más de 69.000 simulaciones dinámicas realizadas con el motor de cálculo TRNSYS, uno de los más potentes a nivel mundial en el ámbito de la ingeniería energética.

El programa permite una parametrización detallada de cada componente de la instalación, desde el campo de captación hasta los sistemas de apoyo y disipación de calor. Al ser una herramienta validada y promovida por organismos oficiales del Ministerio para la Transición Ecológica, los informes generados por CHEQ4 poseen una validez técnica total para la certificación energética del edificio y la justificación de la fracción solar anual alcanzada.

A continuación, se detalla el flujo de trabajo seguido en el programa, estructurado en sus seis fases fundamentales: Localización, Configuración, Demanda, Solar/Apoyo, Otros parámetros y Resultados.

Una vez se abra el programa, la primera pantalla que salga es la que podemos observar. En ella ha de ponerse la provincia y municipio del lugar donde queremos hacer el proyecto. Al introducir estos parámetros, podremos obtener la zona climática, y de cada mes y haciendo una media, veremos la radiación global, la temperatura de red y la temperatura ambiente. Por últimos obtendremos la altura de la ubicación.

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

Provincia: Illes Balears Municipio: Palma de Mallorca Zona climática: Zona IV Latitud: 39° 34'

Mapa provincia

Altura municipio seleccionado (m): 34

Altura de la instalación (m): 34

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	8.4	11.0	11.6
Febrero	11.3	11.0	11.8
Marzo	16.1	12.0	12.9
Abril	21.1	13.0	14.7
Mayo	24.0	15.0	17.6
Junio	27.0	18.0	21.8
Julio	27.3	20.0	24.6
Agosto	23.9	20.0	25.3
Septiembre	17.9	19.0	23.5
Octubre	13.0	17.0	20.0
Noviembre	9.0	14.0	15.6
Diciembre	7.4	12.0	13.0
Promedio	17.2	15.2	17.7

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

Figura 5. Primera Ventana de CHEQ4 (localización) (7)

El programa dispone de un apartado específico para la selección de la configuración de la instalación. En esta sección se ofrecen distintas tipologías de sistemas, permitiendo elegir la opción que mejor se adapte a las características del proyecto.

La finalidad de este módulo es definir el esquema general de funcionamiento de la instalación, estableciendo la base sobre la que posteriormente se introducirán los parámetros de demanda, captación y apoyo.



Figura 6. Segunda Ventana de CHEQ4 (configuración) (7)

El tercer bloque está orientado a la caracterización de la demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS). En esta sección se distingue entre dos modalidades principales de consumo: consumo único y consumo múltiple. Esta diferenciación permite adaptar el cálculo a instalaciones individuales o a edificios con varios usuarios.

Dentro del apartado se introducen los datos necesarios para estimar el consumo, como el tipo de uso del edificio, el número de personas o unidades de ocupación y, en su caso, la distribución por viviendas o dormitorios.

El software también permite considerar variaciones estacionales de ocupación, incorporando coeficientes mensuales que ajustan la demanda a lo largo del año. Asimismo, contempla la inclusión de demandas adicionales cuando el perfil de uso así lo requiera.

Finalmente, con los datos de demanda y la localización climática previamente definida, la herramienta determina la contribución solar mínima exigida por la normativa vigente (CTE-HE4). Este valor sirve como referencia para el dimensionado y verificación del cumplimiento reglamentario de la instalación.

Figura 7. Tercera Ventana de CHEQ4 (Demanda) (7)

En la figura 8 se puede ver Solar/Apoyo, donde se selecciona en primera instancia la marca y el modelo del captador. Después, ha de añadirse en “campo de captadores” el número de captadores, si están en serie, su número, pérdidas por sombras, su inclinación y orientación.

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

CAPTADORES

Empresa:

Marca/Modelo:

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

Datos de ensayo

Área (m ²)	1.87
n0 (°)	0.75
a1 (W/m ² K)	3.391
a2 (W/m ² K)	0.008
Qtest (l/hm ²)	45
k50	0.86
Laboratorio	CENER
Certificación	NPS-24011

CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores: 110 Captadores en serie: 1 Pérdidas sombras (%): 3

Orientación (°): 13 Inclinación (°): 45 Área total captadores (m²): 205.70

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO

Caudal prim. (l/h): 9.257 Anticongelante (%): 10 Long. circuito (m): 60

Diám. tubería (mm): 49 Esp. aislante (mm): 40 Aislante: genérico

SISTEMA DE APOYO

Tipo de sistema: Caldera convencional

Tipo de combustible: Gas natural

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura 8. Cuarta Ventana de CHEQ4 (Solar/Apoyo) (7)

Se sigue con el apartado de circuito primario/secundario, donde se incluyen los datos de caudal primario, anticongelante, longitud del circuito, espesor y tipo de aislante. Con ello se obtendrá el diámetro de la tubería. Y por último se debe seleccionar el sistema de apoyo.

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

VOLUMEN DE ACUMULACIÓN

Volumen total (l): 13000

Vol/Área (l/m²): 63.20

DISTRIBUCIÓN

Long. circuito (m): 200

Diám. tubería (mm): 60

Esp. aislante (mm): 30 T. imp. (°C): 60

Aislante: genérico

PISCINA CUBIERTA

Altura (m):

Apertura diaria (h):

Superficie lámina (m²):

Humedad relativa (%):

Temp. ambiente (°C):

Temp. piscina (°C):

Renov. volumen día (%):

Ocupación (pers/m²):

VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES

Tipo A (l): Tipo C (l):

Tipo B (l): Tipo D (l):

Volumen total (l): 0 Vol/Área (l/m²):

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura 9. Quinta Ventana de CHEQ4 (Otros parámetros) (7)

En la Figura 9 tenemos que fijar el volumen donde ya se aprecia la relación volumen/área. También para modelar el circuito de distribución, se deben especificar parámetros como la longitud del trazado, el diámetro de la tubería, así como las características del aislamiento (espesor y material). Adicionalmente, es necesario definir la temperatura de impulsión o la potencia de los intercambiadores de consumo, según la configuración del sistema. En cuanto a los circuitos que alimentan las subestaciones, los datos requeridos son la longitud, el diámetro de la tubería y las propiedades del aislante empleado.

Por último, todos los resultados vienen plasmados en la Figura 10. Como se puede ver, la fracción solar, la demanda, el aporte solar, el consumo auxiliar y la reducción de CO₂.

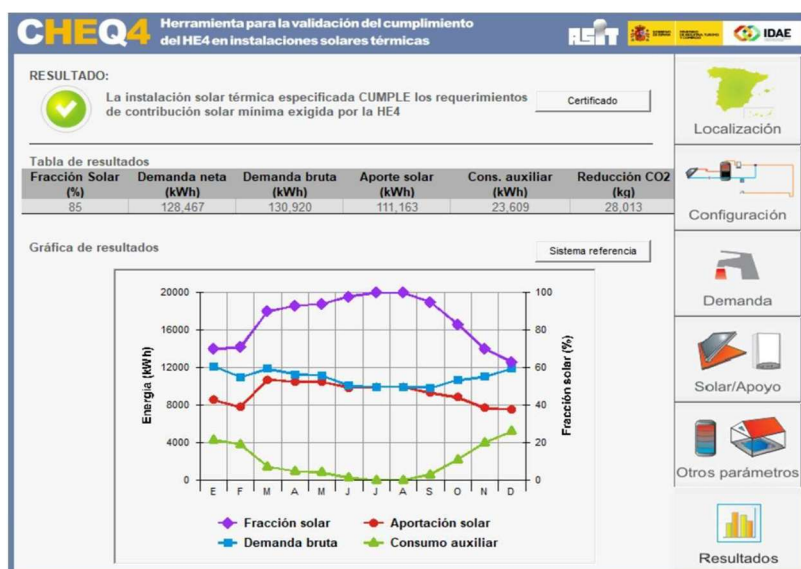


Figura 10. Sexta ventana de CHEQ4 (Resultados) (7)

1.4 Descripción del edificio

El edificio, que es una residencia de ancianos, con una capacidad para 165 residentes. Se sitúa en Palma de Mallorca, concretamente en Carrer dels Glosadors, 4. Más concretamente con latitud 39.610 y longitud 2.634

Se divide en tres plantas, sótano, planta baja y primera, incluyendo también la cubierta.

En el sótano se encuentran los vestuarios para trabajadores, aseos, salas de instalaciones, farmacia, cocina y garaje. En planta baja se encuentran habitaciones para los residentes (54 individuales y 11 dobles) con sus respectivos cuartos de baño, también hay salas comunes, de TV, de fisioterapia, enfermería, despachos, peluquería, etc. Se sigue por planta primera que consta también con habitaciones tanto individuales como dobles, 67 y 11 respectivamente, junto con sus baños. Se les suman las salas de estar.

Por último, la cubierta, que se divide en transitable y no transitable, que es donde se colocan los captadores solares. Tiene una orientación con 13° al sur.

Se tiene un sistema convencional auxiliar de ACS. Dos calderas de Gas Natural de 140 kW en total. El sistema de acumulación consta de un depósito de 4000L y por último hay un grupo que bombea a toda la residencia.

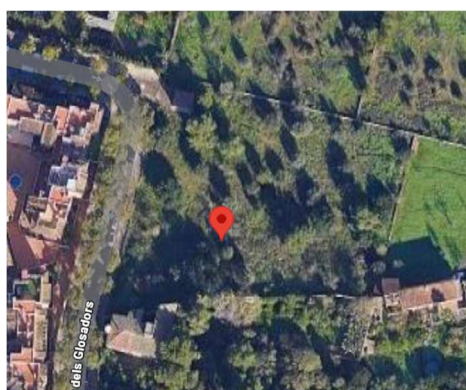


Figura 11. Parcela de la residencia. Palma (15)



Figura 12. Fachada de la residencia (15)

1.5 Descripción de la instalación

El esquema general de la instalación se ve representado en la Figura 13. El fluido caloportador se impulsa desde el intercambiador por las bombas del circuito primario distribuyéndose hacia el campo solar, que dispone de 110 captadores, todos en paralelo, alcanzando una superficie de 205,7 m² de captación. Estos captadores se dividen en dos grandes grupos (divididos en filas con 5 captadores por fila), la gran mayoría de ellos se sitúan en la cubierta este (16 filas), mientras que el resto de ellos en la suroeste (6 filas).

El circuito primario funciona como un sistema cerrado, que incluye los elementos habituales: equipo de bombeo, vaso de expansión, dispositivos de llenado y vaciado, válvulas de corte, purgadores y filtros, entre otros. Se usa glicol, un fluido caloportador de mezcla de agua y anticongelante.

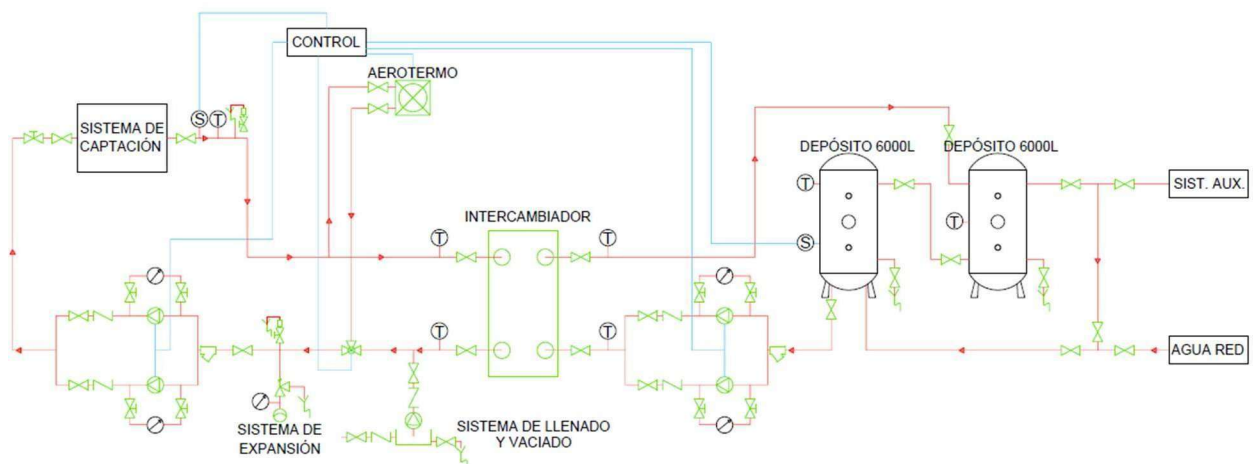


Figura 13. Esquema de la instalación

En cuanto al circuito secundario, la bomba impulsa el agua desde la parte fría del sistema de acumulación hacia el intercambiador de calor, donde se produce la transferencia térmica desde el circuito primario. Posteriormente, el agua caliente retorna desde el intercambiador a la zona superior del depósito acumulador, donde se concentran las mayores temperaturas.

El sistema de acumulación se compone de dos depósitos conectados en serie, de 6000L, con un volumen total de 12000L. Desde la parte superior del último depósito, el agua caliente se dirige hacia el sistema convencional de producción de ACS de la residencia.

Se disponen válvulas de corte en los puntos estratégicos del campo solar y en las conexiones de los principales

equipos: bombas, acumuladores, intercambiador y sistema auxiliar. Asimismo, se instala un purgador manual al final de cada fila de captadores para eliminar el aire presente en el circuito, junto con sistemas de vaciado situados en la aspiración de la bomba.

El sistema de control es de tipo diferencial. Regula el funcionamiento de las bombas en función de la diferencia de temperatura entre los captadores y el acumulador, asegurando el aprovechamiento energético y evitando tanto la congelación como el sobrecalentamiento del circuito.

La regulación precisa del control diferencial opera en tres modos principales:

1. Aprovechamiento Energético (Activación de Bombeo):
 - La centralita compara la temperatura en la salida del campo de captadores con la temperatura en la parte inferior del acumulador.
 - Activación: La bomba del circuito primario se activa cuando el salto térmico supera los 7°C ($T_{\text{captador}} > T_{\text{acumulador}} + 7^{\circ}\text{C}$).
 - Desactivación: La bomba se detiene cuando el diferencial térmico disminuye hasta los 3°C ($T_{\text{captador}} < T_{\text{acumulador}} + 3^{\circ}\text{C}$).
 - El circuito secundario se activa de forma idéntica, pero con un retardo de unos 90 segundos para compensar la inercia de la tubería de retorno.
2. Protección contra Sobrecalentamiento:
 - Actuación: Si la sonda a la salida de captadores supera los 90°C , la centralita conmuta la válvula de tres vías hacia el sistema de disipación.
 - Gestión del Aerotermo: De forma simultánea al posicionamiento de la válvula, se ordena el arranque del ventilador del aerotermo para forzar el intercambio térmico con el aire exterior, asegurando una evacuación efectiva del calor excedente.
 - Desactivación: El protocolo de disipación se desactiva automáticamente cuando la sonda de temperatura del campo de captadores registra un valor inferior a los 85°C . Esta diferencia de 5°C (histéresis) evita ciclos de conmutación constantes en la válvula. Al desactivarse, la válvula de tres vías vuelve a su posición de reposo, redirigiendo el fluido hacia el intercambiador de placas para reanudar la carga normal de los depósitos y se detiene el ventilador del aerotermo.

1.6 Características técnicas

A continuación veremos las características técnicas de los diferentes equipos que componen la instalación:

• CAPTADORES:

Los elegidos para nuestro proyecto son de la empresa Fagor, S.L. Los captadores utilizados serán la familia “Solaria”, concretamente los 2.1 AL S8.

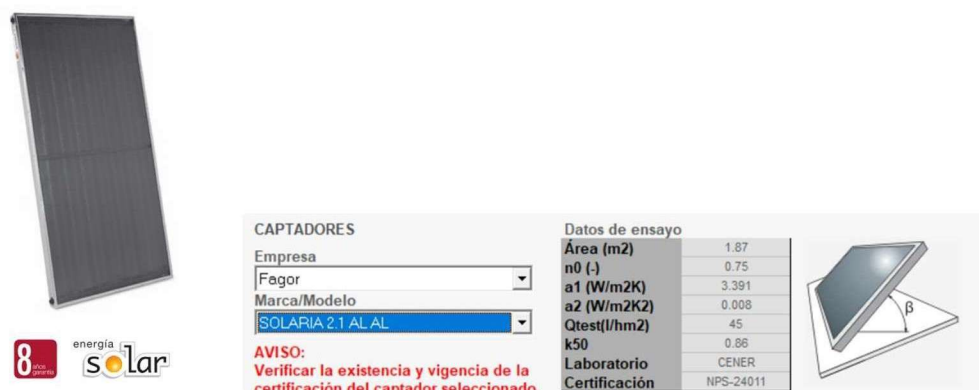


Figura 14. Captador 2.1 AL S8 (2)

Captadores Solares Planos	SOLARIA-2.1 AL S8	SOLARIA-2.4 AL S8	SOLARIA-2.8 AL S8
DIMENSIONES			
Largo total (mm)	1.900	2.200	2.200
Ancho total (mm)	1.090	1.090	1.260
Fondo (mm)	90	90	90
Área total (m²)	2,06	2,40	2,77
Área de apertura (m²)	1,87	2,17	2,58
Área del absorbedor (m²)	1,77	2,14	2,46
Peso en vacío (kg)	38	43	50
Capacidad de fluido (l)	1,18	1,26	1,70
Fluido caloportador	agua o agua glicolada	agua o agua glicolada	agua o agua glicolada
Temperatura de estancamiento (°C)	197,0	197,0	197,0
Flexión máxima (Pa)	1.000	1.000	1.000
PRESIONES DE PRUEBA Y CAUDAL RECOMENDADO			
Presión de timbre (bar)	14,0	14,0	14,0
Presión de trabajo (bar)	8,0	8,0	8,0
Caudal recomendado (l/h·m²)	45,0	45,0	45,0
Caida de presión en línea (mm.c.a.) (q=l/min)	1,93 · q² + 6,52 · q	1,85 · q² + 7,32 · q	2,24 · q² + 3,72 · q
CALIDADES DE FABRICACIÓN			
Cubierta transparente	vidrio templado de 3,20 mm de espesor. Coef. Trans. 0,91		
Carcasa	aluminio anodizado AL-6063 T5 (espesor = 1,50 mm)		
Absorbedor	aletas de cobre (0,5 mm) soldadas por ultrasonidos a parrilla de cobre		
Tratamiento selectivo	proyección de electrodeposición de Cromo Negro sobre base de Níquel Claro		
Relación en parrilla	captador principal 22 mm / captador secundario 8 mm		
Aislamiento térmico	poliuretano rígido inyectado (25 mm) + lám. Aluminio + lana mineral (25 mm)		
Acabado posterior y sellado	propileno moldeado y burllete de EPDM		
Conexiones (4 uds)	B.S.P. hembra de 3/4"		
CURVAS DE RENDIMIENTO INSTANTANEO Y REGISTRO			
Rendimiento óptico η _g	72,96 %	72,96 %	80,80 %
K1	2,51 W/m² · K²	2,51 W/m² · K²	3,20 W/m² · K²
K2	0,038 W/m² · K²	0,038 W/m² · K²	0,010 W/m² · K²
Contraseña de homologación	NPS-26507	NPS-26307	NPS-26407

Figura 15. Características técnicas del captador (2)

- DEPÓSITO ACUMULADOR:

Para el depósito acumulador se usa el depósito vertical de LAPESA, modelo MV-6000IB. Se tienen dos de 6.000 litros cada uno (Figuras 16 y 17).

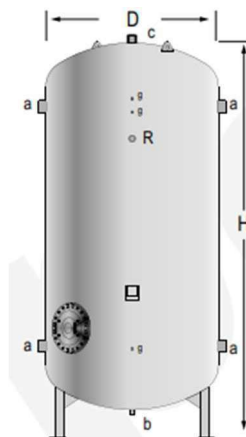


Figura 16. Depósito acumulador 6000L (4)

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES			
Capacidad total:	Total	6000	L
Presión máxima de trabajo:		6	bar
Temperatura máxima de trabajo:		110	°C
Conexiones:	s: conexión lateral	4	" H
	p: conexión superior	2	" H
	eh: conexión lateral resistencia	2	" H
	e: conexión desagüe	2	" M
	tm: conexión de sensores	½	" H
Eficiencia energética:	Clase ErP	C	
	Pérdidas estáticas s/ EN12897	280	W
Dimensiones exteriores:	D: Diámetro	1910	mm
	H: Altura (sin conexiones)	3210	mm
	Diagonal (sin conexiones)	3735	mm
Dimensiones embalaje:	Anchura / Altura	1910 x 3250	mm
Peso:	Sin embalaje / Con embalaje	952 / 953	kg

Figura 17. Características principales del depósito acumulador (4)

- BOMBA HIDRÁULICA:

En este caso la marca elegida es Wilo, modelo Stratos MAXO 32/0,5-10. (Figuras 18 y 19).

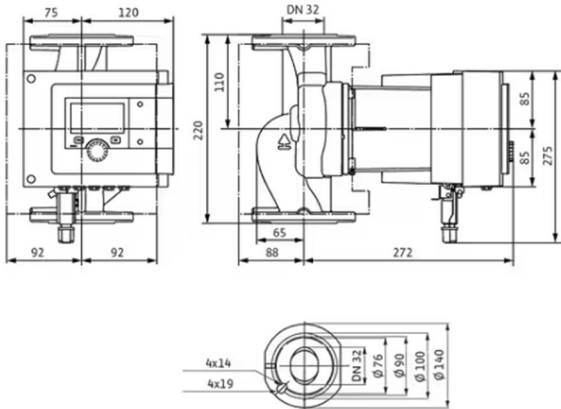


Figura 18. Plano de dimensiones de la bomba (5)

Datos hidráulicos		Datos del motor	
Presión máxima de trabajo P_N	10 bar	Índice de eficiencia energética (IEE) *	≤0,18
Altura de impulsión H_{max}	10,4 m	Alimentación eléctrica	1~230 V ±10%, 50/60 Hz
Caudal Q_{max}	15,9 m³/h	Intensidad nominal I_{min}	0,11 A
Altura de entrada mínima a 50 °C m	3 m	Intensidad nominal I_{max}	1,09 A
Altura de entrada mínima a 95 °C m	10 m	Potencia nominal P_2	206 W
Altura de entrada mínima a 110 °C	16 m	Velocidad mínima n_{min}	750 1/min
Temperatura mínima del fluido T_{min}	-10 °C	Velocidad máxima n_{max}	4000 1/min
Temperatura máxima del fluido T_{max}	110 °C	Consumo de potencia (mín.) P_1 min	7 W
Temperatura ambiente mínima T_{min}	-10 °C	Consumo de potencia P_1 max	250 W
Temperatura ambiente máxima T_{max}	40 °C		

Figura 19. Características técnicas de la bomba (5)

- VASO DE EXPANSIÓN

Para el vaso de expansión el modelo elegido es el 50 CMF, de Ibiondo (Figuras 20 y 21) de 50 litros.



Figura 20. Imagen de vaso de expansión (6)

Modelos con patas 4 - 6 bar (conexión superior)

Peso (Kg)	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		R Conexión agua
					Ø D (mm)	H (mm)	
7	02035345	35 CMF	35	4	360	480	3/4"
7,5	02050343	50 CMF	50	4	360	630	3/4"
16	04080351	80 CMF	80	6	485	570	1"
18	04100351	100 CMF	100	6	485	650	1"
24	04140351	140 CMF	140	6	485	935	1"
36	04200351	200 CMF	200	6	600	860	1"
44	04250351	250 CMF	250	6	600	1095	1"
49	04300351	300 CMF	300	6	600	1240	1"
56	04400351	400 CMF	400	6	600	1480	1"



Figura 21. Características técnicas y esquema del vaso de expansión (6)

- INTERCAMBIADOR DE CALOR

El intercambiador de calor elegido será un Alfa Laval CB30-34M. Como se puede apreciar en la Figura 22, sus características serían:



Fuente de calor	Potencia (kW)
Caldera	108 kW
Temperatura lado primario (°C)	Temperatura lado secundario (°C)
70 → 50 °C	35 → 45 °C
Máxima pérdida de carga (kPa)	Peso (kg)
30 kPa	6,2 kg
Connection primary side	Connection secondary side
ISO-G1" Threaded external	ISO-G1 1/4" Threaded external
Profundidad (mm)	Anchura (mm)
137 mm	113 mm
Altura (mm)	Peso
313 mm	6,2
Profundidad	Anchura
137	113
Altura	Longitud
313	-

Figura 22. Intercambiador y sus características técnicas (3)

- AEROTERMO

Para el sistema de disipación se ha seleccionado un aerotermo Termicol 705D I061M por su potencia de 53.7 kW, ya que este disipa 61 kW, caracterizado por una pérdida de carga de 14,5 kPa, un consumo eléctrico de 0,35 kW y un caudal de diseño de 4.620 l/h. El protocolo de seguridad se activa a los 90 °C y se desactiva automáticamente al descender a los 85 °C.



Figura 23. Imagen de aerotermo (11)

1.7 Normativa

La presente instalación ha sido diseñada y justificada en base a la reglamentación y normativa en vigor. En el siguiente apartado se procede a demostrar que se satisfacen todas las exigencias establecidas.

a) Cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (CTE-HE4)

Contribución solar mínima: De acuerdo con el CTE-HE4, la ciudad de Palma de Mallorca está situada en la zona climática IV, lo que implica una fracción solar mínima del 60%.

Cálculo de la demanda: La justificación y detalle del cálculo de la demanda de ACS se desarrolla en el apartado 3 de la Memoria de Cálculo, conforme a lo establecido por la normativa vigente.

b) Cumplimiento del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)

IT 1.1.4.3.1. “Preparación de agua caliente para usos sanitarios”: La producción de ACS cumple con lo dispuesto en esta instrucción técnica.

IT 2.3.3. “Sistemas de distribución de agua”: Los circuitos del sistema solar primario se han diseñado con un retorno invertido, garantizando el equilibrado hidráulico del conjunto. Además, las tuberías principales y sus accesorios estarán situados en lugares accesibles que faciliten la inspección y el mantenimiento.

IT 2.3.4. “Control automático”: La instalación incorpora sistemas de control que aseguran un funcionamiento eficiente y regulado.

IT 1.2.4.2.1. “Aislamiento térmico”: Se cumple con la obligación de aislar térmicamente tuberías, equipos y accesorios, de modo que se evitan pérdidas energéticas innecesarias y se asegura que el fluido caloportador llegue a las unidades terminales con una temperatura próxima a la de producción. Los espesores de aislamiento seleccionados se describen en el apartado 10 de la Memoria de Cálculo, en conformidad con lo establecido en la norma.

IT 1.3.4.4.5. “Medición”: La instalación incluye los dispositivos necesarios para la lectura y control de magnitudes relevantes como presión y temperatura. Se han dispuesto termómetros, termostatos y manómetros en puntos estratégicos, de fácil acceso y lectura. Concretamente, se instala un manómetro en el vaso de expansión del circuito primario, otro en la aspiración y uno más en la descarga de las bombas, además de termómetros y manómetros a la entrada y salida del intercambiador solar.

1.8 Referencias

- 1.Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE (DB-HE) - Ahorro de Energía. Ministerio de Fomento.
- 2.FAGOR. SOLARIA-2.1 AL S8. Catálogo y Ficha Técnica de Captador Solar Plano. <http://konstruir.com/C.T.E/HE-4-Contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/placas/konstruir.com%20-%20FAGOR%20SOLARIA-2.1%20AL%20S8.pdf>
- 3.ALFA LAVAL. CB30-34M. Ficha Técnica de Intercambiador de Placas Soldadas. <https://shop.alfalaval.com/es-es/suelo-radiante--c002/cb30-34m--1264372->
- 4.LAPESA. MASTER INERCIA MV-6000IB. Ficha Técnica de Acumulador de Inercia. https://www.lapesa.es/sites/default/files/ARCHIVOS_PRODUCTO/pdf/MASTER%20INERCIA%20MV-IB%20-%20MV%206000%20IB.pdf
- 5.WILO. Star-Z 20/1. Ficha Técnica de Bomba de Circulación. https://wilo.com/es/es/Productos-y-campos-de-aplicaci%C3%B3n/es/productos-y-experiencia/wilo-star-z/star-z-20-1?t=1#c40288a8a54ce361f0154e6cd7461523dTL3_product_technical
- 6.IBAIONDO. Ficha Técnica FT-CMF-VERTICAL-CONEXION-SUPERIOR-280225-R... (Vaso de Expansión). <https://www.ibaiondo.com/productos/vasos-de-expansion/>
- 7.IDAE. Programa CHEQ4 (Manual o Documento de Aplicación). <https://www.idae.es/cheq4>
- 8.Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

- 9. María del Rosario Domínguez Martínez-Pais. Estudio y diseño de una instalación solar térmica para producción de agua caliente en un hospital. Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2022.
- 10. Información Climática. Los secretos del clima en Mallorca, mes a mes | Treu... (Datos Meteorológicos). <https://treurer.com/clima-en-mallorca/>
- 11. TERMICOL. Catálogo de Componentes. catálogo-2024-espanol-1.pdf (Catálogo General de Equipos Termicol).
- 12. Norma UNE 94003-2007: Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas.
- 13. Norma UNE- EN 12976-2: Sistemas solar térmicos y sus componentes.
- 14. Norma UNE 94002-2005: Instalaciones térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica.
- 15. Residencias Thor. <https://www.thoreu.com/#Spain>
- 16. Zonas climáticas de España. <https://temariosformativosprofesionales.wordpress.com/mapa-zonas-climaticas/>
- 17. ARISTON. Caldera Convencional. <https://www.leroymerlin.es/productos/caldera-convencional-ariston-clas-x-cf-24-82805729.html>
- 18. Apuntes de la asignatura “Energía Solar de la Edificación”. Profesores José Julio Guerra Macho, Sergio Navas Herrera, Gracia Cabello González. Grado de Ingeniería de la Energía, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2025/26.

2. MEMORIA DE CÁLCULO

2.1 Introducción

En este documento se presentarán y justificarán los cálculos requeridos para el diseño y la configuración de los diferentes componentes de un sistema solar térmico, diseñado para suministrar Agua Caliente Sanitaria (ACS) a una residencia de ancianos en Palma de la Mallorca. La instalación estará operativa los 365 días del año.

Los cálculos se realizarán conforme a la normativa vigente, atendiendo en particular a lo establecido en el HE4-CTE y el RITE.

2.2 Datos de partida

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

Edificio	Mallorca Can Coll's Project
Localidad	Palma de Mallorca
Provincia	Islas Baleares
Latitud	39.61055
Longitud	2.63432
Orientación (Captadores)	13° SO
Superficie Cubierta Disponible	2854 m ²
Altitud	34 m
Nº de personas	165
Zona Climática	IV

Tabla 1. Características básicas del edificio

2.2.2 DATOS CLIMATOLÓGICOS

De acuerdo con la norma UNE 94003:2007, el municipio de Palma de Mallorca está dentro de la zona climática IV, tal como se establece en el mapa de zonas climáticas de España (Figura 23).

El clima juega un papel fundamental en el diseño de instalaciones solares térmicas, condiciona tanto la demanda de energía como el balance de ganancias y pérdidas del sistema.

La zona climática establecida por la normativa define el mínimo aporte solar obligatorio y repercute en la eficiencia global de la instalación.

Palma de Mallorca, con su elevada irradiación solar, se posiciona como un entorno óptimo para este tipo de proyecto siempre que se garantice un dimensionamiento adecuado y una ejecución conforme a los estándares técnicos.

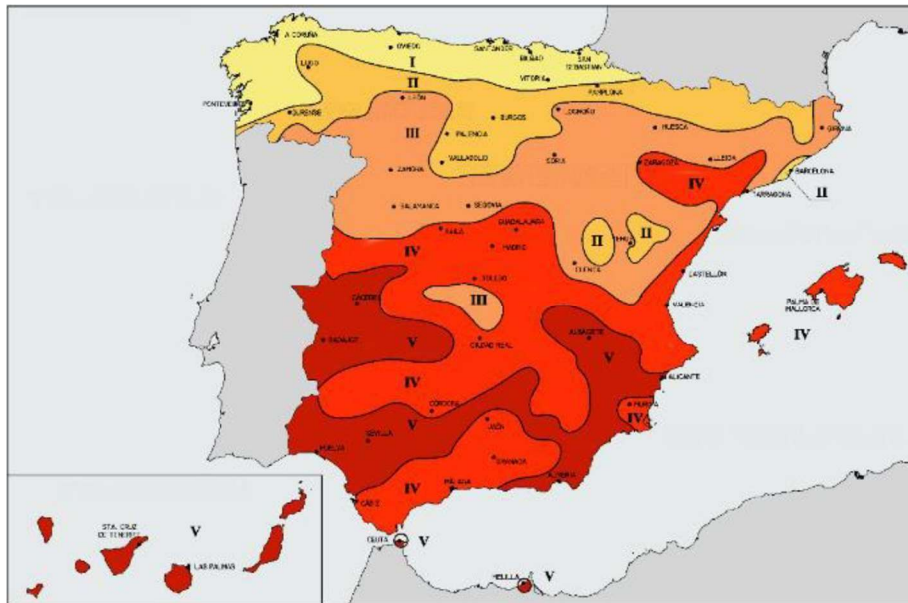


Figura 24. Mapa de zonas climáticas de España (16)

En Palma de Mallorca, la temperatura máxima diaria promedio alcanza aproximadamente 30 °C en agosto, mientras que la mínima diaria promedio desciende a unos 5 °C en enero. La temporada fresca se extiende desde finales de noviembre hasta finales de marzo, con temperaturas máximas promedio diarias por debajo de 18 °C.

Aunque las heladas son poco frecuentes en la ciudad, se han registrado temperaturas mínimas cercanas a los 0 °C en algunas ocasiones, especialmente en zonas del interior de la isla.

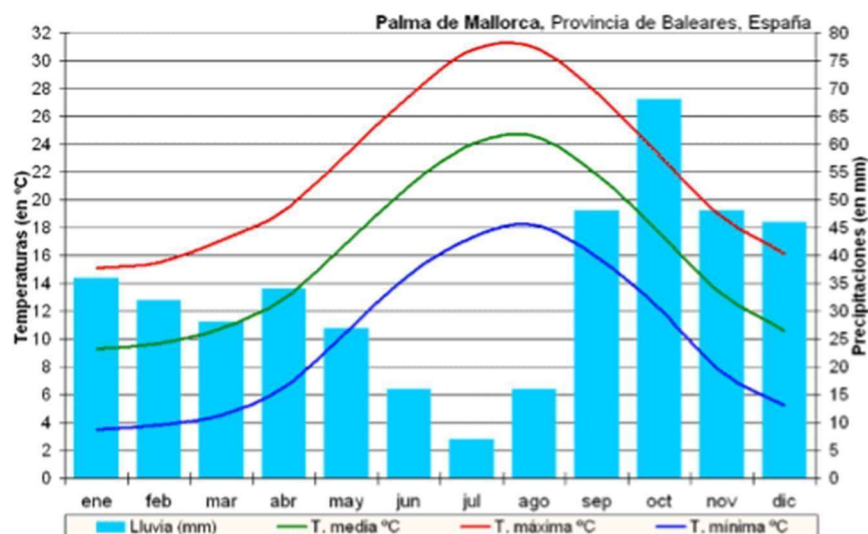


Figura 25. Gráfica de temperaturas y precipitaciones por mes en Palma de Mallorca (10)

En la tabla 2 se muestran los datos de irradiación solar media mensual, medidos sobre una superficie horizontal. También se han incluido la temperatura ambiente y la temperatura del agua de red, ambas con valores medios mensuales. Todos los valores recopilados son específicos del municipio de Palma de Mallorca.

Mes	Rad (MJ/m2)	T.Red(°C)	T.Amb(°C)
Enero	8.4	11.0	11.6
Febrero	11.3	11.0	11.8
Marzo	16.1	12.0	12.9
Abril	21.1	13.0	14.7
Mayo	24.0	15.0	17.6
Junio	27.0	18.0	21.8
Julio	27.3	20.0	24.6
Agosto	23.9	20.0	25.3
Septiembre	17.9	19.0	23.5
Octubre	13.0	17.0	20.0
Noviembre	9.0	14.0	15.6
Diciembre	7.4	12.0	13.0
Promedio	17.2	15.2	17.7

Tabla 2. Datos climatológicos y temperatura de red (7)

2.2.3 CÁLCULO DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL SOBRE SUPERFICIE INCLINADA.

Para el cálculo de la radiación solar global sobre una superficie inclinada (a 45°) y con una orientación de 13° SO, hay que realizar el procedimiento propuesto por Klein y Theilacker, el índice de claridad mensual, para ello, han de conocerse ciertos parámetros:

- Latitud (Φ): distancia angular de la localidad en relación al ecuador, norte positivo, $-90^\circ < \Phi < 90^\circ$.
- Declinación (δ): ángulo de forma la línea que une el centro de la Tierra y el centro del Sol con el plano del ecuador celeste. Norte positivo, $-23.45^\circ < \delta < 23.45^\circ$.

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left(360 \cdot \frac{280 + n}{365} \right)$$

Con n como el número de días del año.

- Ángulo horario (ω_s): desplazamiento angular del Sol al este o al oeste en relación al meridiano local, debido a la rotación de la Tierra en torno a su eje a una velocidad de 15°/hora; mañana negativo, tarde positiva.

$$\omega_s = \arccos(-\tan \Phi \cdot \tan \delta)$$

- Ángulo horario (ω'_s): para una superficie inclinada

$$\omega'_s = \text{MIN}[\omega_s, \arccos(-\tan(\Phi - \beta) \cdot \tan(\delta))]$$

- Índice de claridad horario (K_T): relación entre la radiación global horizontal y la radiación solar extraterrestre en superficie horizontal.

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

- Radiación solar extraterrestre (H_0): cantidad de radiación solar de onda corta que llega a la parte superior de la atmósfera terrestre, definida a partir de la constante solar.

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

- Relación irradiación directa (RD): Relación entre la radiación directa sobre superficie inclinada y la horizontal

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

Con β como el ángulo de los captadores, siendo 45° en este proyecto.

- Constante solar (G_{CS}): cantidad de energía de radiación solar que llega a la parte superior de la atmósfera terrestre, por unidad de área y por unidad de tiempo, en un plano perpendicular a los rayos del sol, con un valor promedio de 1367 W/m^2 .
- Radiación solar directa (H_D): radiación solar recibida sin modificar su dirección al atravesar la atmósfera terrestre. Su dirección depende de la localidad geográfica y del tiempo.
- Radiación solar difusa (H_d): radiación solar recibida después de modificar su dirección al atravesar la atmósfera como consecuencia de la dispersión atmosférica. En modelos isotrópos se considera que se distribuye igual en todas las direcciones.

$$H_D = H - H_d$$

Lo primero que se tiene que calcular, es la radiación solar extraterrestre, siendo n el número de días del año. Posteriormente, se calcula el índice de claridad horario.

A continuación, ha de calcularse tanto la radiación solar directa y difusa, con las siguientes correlaciones:

Para $ws \leq 81,4^\circ$ (invierno) y $0,3 \leq KT \leq 0,8$:

$$\frac{H_d}{H} = 1.391 - 3.560 \cdot K_T + 4.189 \cdot K_T^2 - 2.137 \cdot K_T^3$$

Para $ws > 81,4^\circ$ (primavera, verano y otoño) y $0,3 \leq KT \leq 0,8$:

$$\frac{H_d}{H} = 1.311 - 3.022 \cdot K_T + 3.427 \cdot K_T^2 - 1.821 \cdot K_T^3$$

Invierno viene a referirse a los meses de diciembre, enero y febrero.

Una vez calculada la difusa, se calcula la directa con su relación y ya por último la inclinada:

$$H_i = R_D \cdot H_D + \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \cdot H_D$$

A continuación, se ven reflejados los cálculos de las expresiones vistas previamente:

Mes	H (MJ/m ²)	n (día)	δ (°)	ws (°)	Ho (MJ/m ²)	KT	Hd/H	Hd (MJ/m ²)	HD (MJ/m ²)	w's(°)	RD	Hi (MJ/m ²)
Enero	8.4	17	-20.91	71.56	15.45	0.54	0.35	2.94	5.46	71.56	0.83	9.19
Febrero	11.3	47	-12.95	79.03	20.76	0.54	0.35	3.95	7.35	79.03	0.95	13.25
Marzo	16.1	75	-2.42	88.00	27.61	0.58	0.36	5.79	10.31	88.00	1.16	20.76
Abril	21.1	105	9.41	97.88	34.72	0.60	0.34	7.17	13.93	89.10	0.99	25.68
Mayo	24.0	135	18.79	106.35	39.72	0.60	0.34	8.16	15.84	88.16	0.81	26.35
Junio	27.0	162	23.09	110.66	41.75	0.65	0.29	7.83	19.17	87.69	0.72	30.15
Julio	27.3	198	21.18	108.70	40.67	0.67	0.27	7.37	19.93	87.90	0.75	30.85
Agosto	23.9	228	13.45	101.41	36.60	0.65	0.29	6.93	16.97	88.70	0.90	29.75
Septiembre	17.9	258	2.22	91.84	30.14	0.59	0.35	6.26	11.64	89.79	1.17	23.55
Octubre	13.0	288	-9.60	81.95	22.74	0.57	0.36	4.68	8.32	81.95	1.01	15.50
Noviembre	9.0	318	-18.91	73.53	16.40	0.54	0.39	3.51	5.49	73.53	0.86	9.4
Diciembre	7.4	344	-23.05	69.38	13.99	0.52	0.37	2.74	4.66	69.38	0.81	7.80

Tabla 3. Cálculos para radiación global sobre superficie inclinada

2.3 Cálculo de la demanda

2.3.1 DATOS DE CONSUMO.

La determinación de la demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS) se fundamenta rigurosamente en los consumos unitarios establecidos por la normativa para las distintas tipologías de uso en inmuebles. En nuestro caso particular, se aplica a un geriátrico con una capacidad operativa total de 165 residentes. Para efectuar la estimación del consumo de referencia de ACS, se han considerado los valores estándar especificados en la Tabla C del Anejo F del Documento Básico de Ahorro de Energía (DBHE) del Código Técnico de la Edificación (CTE). Esta tabla, crucial para el dimensionamiento, ofrece los consumos unitarios asociados a una temperatura de referencia de distribución de 60 °C.

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

Tabla 4. Demandas de ACS según el HE4-CTE.

Para calcular cuánta energía necesitamos, nos basamos en el Código Técnico de la Edificación (CTE). Según la normativa, para una residencia de ancianos se estima un consumo de 41 litros diarios por persona.

Este dato es clave porque, al trabajar con una temperatura de referencia de 60 °C, no solo calculamos el tamaño de los depósitos y el número de placas, sino que también nos aseguramos de cumplir con la normativa de prevención de la Legionella. Así, el consumo medio diario total M_{ACS} se calcula multiplicando el número de residentes por esos 41 litros, estableciendo así la base de todo nuestro diseño.

$$M_{ACS} = 41 \frac{l}{\text{día} \cdot \text{per}} 165 \text{ per} = 6765 \text{ l/día}$$

2.3.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA.

Esta fórmula permite cuantificar la energía necesaria mes a mes para elevar la temperatura del agua de red hasta la de consumo. El cálculo integra el volumen total demandado y considera la variación térmica estacional del agua en Palma de Mallorca. De este modo, se establece la carga energética mensual que el campo solar debe satisfacer:

$$L_{ACS} = M_{ACS} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ACS} - T_{RED}) \cdot N$$

Donde:

- L_{ACS} : demanda energética [J/mes].
- M_{ACS} : consumo unitario diario [l/día].
- ρ : densidad del agua (1 kg/litro)
- C_p : calor específico del agua (4190 J/kg·°C)
- T_{ACS} : temperatura de agua caliente (en este caso la de referencia es 60°C)
- T_{RED} : temperatura del agua de red (agua fría) (°C), tabulada por la Norma UNE 94002-2005 para cada provincia y mes del año.
- N : número de días del mes (días/mes)

Mes	N (días)	T _{RED} (°C)	L _{ACS} (MJ/mes)
Enero	31	11.0	43056
Febrero	28	11.0	38889
Marzo	31	12.0	42177
Abril	30	13.0	39966
Mayo	31	15.0	39541
Junio	31	18.0	36905
Julio	30	20.0	34014
Agosto	31	20.0	35148
Septiembre	30	19.0	34864
Octubre	31	17.0	37784
Noviembre	30	14.0	39116
Diciembre	31	12.0	42177
Promedio	30.42	15.2	38629
TOTAL			463644

Tabla 5. Demanda ACS por mes

2.4 Dimensionamiento básico

2.4.1 SISTEMAS DE CAPTACIÓN

Para el dimensionado preliminar de la instalación se han realizado estimaciones con el software CHEQ4, tomando como base una configuración inicial de 50 captadores solares. Las pérdidas por sombras se estiman en torno al 3%, ya que el edificio no cuenta con construcciones cercanas de mayor altura y únicamente es necesario contemplar las auto sombras entre filas de captadores. Este porcentaje es notablemente inferior al límite del 10% establecido en el CTE.

En relación con el circuito primario, que conecta el campo solar ubicado en la cubierta con los depósitos acumuladores de 6000 L, se estima una longitud de 60 m considerando tanto el recorrido vertical como los tramos horizontales de conexión. Al tratarse de conducciones que discurren parcialmente por el exterior, se adopta un espesor de aislamiento de 40 mm, en cumplimiento con lo establecido en el RITE.

El circuito secundario, que enlaza el acumulador con el sistema auxiliar y la distribución de ACS, se ha considerado de aproximadamente 200 m, acorde con las dimensiones y disposición de la residencia. Se prevén tuberías de 60 mm de diámetro con un aislamiento de 30 mm, adecuado para conducciones interiores según norma.

Como sistema de apoyo se ha previsto la instalación de una caldera de gas natural, que garantiza el suministro en los periodos en los que la aportación solar resulta insuficiente. Finalmente, la temperatura de impulsión del ACS se podría fijar en 60 °C, adoptándose un material aislante estándar para todos los tramos de la red.

De acuerdo con lo establecido en el CTE, la fracción de energía aportada por fuentes renovables debe garantizar al menos un 70% de la demanda anual de ACS, considerando en el cálculo no solo el consumo sino también las pérdidas térmicas derivadas de la distribución, la acumulación y la recirculación.

Se procede a la simulación con el objetivo de determinar el número de captadores que mejor se ajusta a las necesidades de la instalación. Para ello se realizan varias iteraciones en el programa CHEQ4, manteniendo constantes todos los parámetros salvo el número de captadores (N_c), que en este caso se varía partiendo de 50 unidades y aumentando progresivamente de 10 en 10. En esta primera fase se considera una relación volumen/área de 75 l/m² y se establece un único captador en serie ($N_s = 1$), lo que permite obtener un dimensionamiento inicial del campo solar. En la siguiente tabla veremos los resultados obtenidos:

N_c [Número de captadores]	A (m ²) [Superficie de captación]	$V(L)$ [Volumen total]	f (%) [Fracción solar]
50	93.5	7013	55
60	112.2	8415	63
70	130.9	9818	69
80	149.6	11220	73
90	168.3	12623	76
100	187.0	14025	78
110	205.7	15428	81
120	224.4	16830	83

Tabla 6. Simulaciones variando N_c

Con 50 captadores se alcanza únicamente una fracción solar del 55 %, insuficiente para cumplir la exigencia mínima establecida por el CTE-HE4. Al aumentar a 70 captadores se obtiene una fracción del 69 %, todavía ajustada, mientras que con 80 captadores se alcanza un 73 %, valor ya conforme a la normativa. Por otro lado, la configuración de 110 captadores permite lograr una fracción solar del 81 %, proporcionando una elevada cobertura de la demanda de ACS y reduciendo significativamente el aporte del sistema auxiliar, sin incurrir en un sobredimensionamiento excesivo del campo solar.

En cambio, la opción de 120 captadores conduce a fracciones solares próximas al 100 % durante varios meses del año, lo que implica un aumento del excedente energético y un funcionamiento más frecuente de los sistemas de disipación térmica. Esta situación incrementa las pérdidas energéticas y el estrés térmico sobre el fluido caloportador y los componentes de la instalación.

Por todo ello, se selecciona la configuración de 110 captadores, con un área de 205.7 m², al representar la solución más equilibrada desde el punto de vista técnico y energético, asegurando el cumplimiento normativo y optimizando el rendimiento global de la instalación.

2.4.2 VOLUMEN DE ACUMULACIÓN

Una vez calculado el número de captadores, se fija este número y se hacen una serie de simulaciones conforme a la relación volumen-área, empezando por 50 l/m² e incrementando de 10 en 10. En la siguiente table se mostrarán los resultados:

V/A (L/ m ²) [Relación volumen-área]	V(L) [Volumen total]	f (%) [Fracción solar]
50	10285.0	No cumple: $50 < V/A < 180$
51	10490.7	79
60	12342.0	80
70	14399.0	80
80	16456.0	81
90	18513.0	82
100	20570.0	82

Tabla 7. Simulaciones variando V/A

Habiendo analizado la Tabla 7, se observa que la relación volumen-área de 50 L/m² debe descartarse, ya que no cumple el requisito establecido en el Documento Básico HE4 del Código Técnico de la Edificación, en su Apartado 2.2.5.2, que exige que dicha relación se encuentre en el intervalo $50 \leq V/A \leq 180$ L/m².

Al tratarse de un valor límite, se adopta una relación ligeramente superior, probando con 51 L/m², que sí satisface estrictamente la condición normativa. La contribución solar obtenida en este caso no presenta variaciones significativas respecto a la configuración anterior, lo que pone de manifiesto que la fracción solar muestra una dependencia débil frente a pequeñas variaciones de la relación volumen-área dentro del rango permitido por la normativa.

Se observa que con un área de captación de 205.7 m², un volumen de acumulación de 12342 L se ajusta a una relación $V/A = 60$ L/m², cumpliendo tanto con lo especificado en la norma como con la contribución solar mínima exigida. Se cierra el volumen de acumulación en 12000L ya que se adapta a un volumen comercial.

Se optan por dos depósitos acumuladores de 6000L cada uno por si se diese la situación de tener un problema de alturas en la sala de máquinas.

2.4.3 NÚMERO DE CAPTADORES EN SERIE

Dejando como valores fijos el número de captadores en 110 y el volumen de acumulación en 12000L, se simula respecto el número de captadores en serie entre 1 y 3.

Ns [Numero de captadores en serie]	f (%) [Fracción solar]
1	80
2	70
3	61

Tabla 8. Simulaciones de número de captadores en serie.

Primero de la tabla ha de descartarse la opción de 3 captadores en serie ya que está por debajo del límite de 70%. Se observa que con un captador en serie ($N_s = 1$) se obtiene la mayor fracción solar (80 %). Al aumentar el número de captadores en serie la eficiencia disminuye (70 % para $N_s = 2$), ya que se elevan las temperaturas de trabajo y, con ello, las pérdidas térmicas.

2.4.4 RESUMEN DEL DIMENSIONAMIENTO

Por tanto, después de todas las simulaciones, temenos que nuestro sistema de captación queda:

Nc [Número de captadores]	A (m ²) [Superficie de captación]	V(L) [Volumen total]	Ns [Numero de captadores en serie]	f (%) [Fracción solar]
110	205.7	12000	1	80

Tabla 9. Dimensionamiento de la instalación.

2.5 Disposición de los captadores en cubierta

Se disponen en filas de 5 captadores en paralelo, en ambas cubiertas del edificio. En la parte este se tienen 16 mientras que en la oeste hay solamente 6. Estos, al igual que el edificio están orientados 13° al oeste y tienen una inclinación de 45°.

La disposición espacial de los captadores en la cubierta se determina buscando minimizar las pérdidas de eficiencia provocadas por la sombra que puede dar la hilera de delante, así como por una orientación e inclinación subóptimas. El objetivo primordial es optimizar el rendimiento general del sistema a la par que se utiliza eficientemente el espacio disponible.

La distancia mínima entre las filas de captadores (d_1) se calcula para asegurar que una hilera no proyecte sombra con la siguiente. Esta distancia depende directamente de la altura de los captadores (h), y la posición solar, que varía según la latitud de Palma, la época del año y la hora del día considerada.

El cálculo de esta separación se basa en los principios trigonométricos (como se ilustra en la Figura 25) y se resuelve mediante la ecuación:

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

Siendo α la altura solar, y θ_z el ángulo azimutal del Sol.

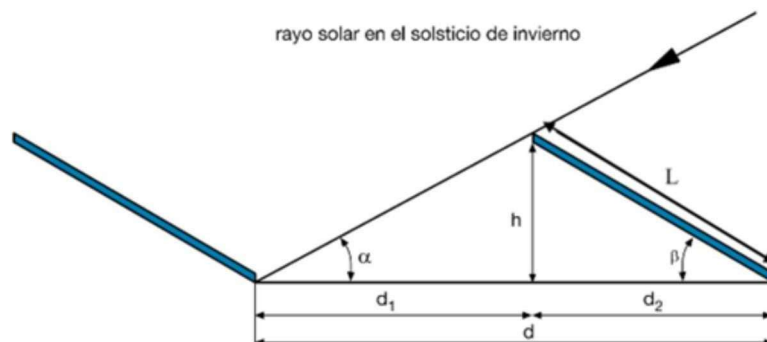


Figura 26. Distancia entre filas de captadores (18)

La altura h se obtiene con la relación trigonométrica del seno del ángulo del captador (45° en este caso) y la altura de este:

$$h = L \cdot \sin \beta$$

La longitud d_2 se obtiene también con la relación trigonométrica, esta vez del coseno:

$$d_2 = L \cdot \cos \beta$$

Calculando el ángulo cenital θ_z , y teniendo en cuenta que la declinación solar se evalúa en el solsticio de invierno, así como que el análisis se realiza a mediodía solar verdadero ($\omega = 0^\circ$), se evalúa en el mediodía solar del solsticio de invierno, se obtiene:

$$\theta_z = \Phi - \delta = 39.61 - (-23.45) = 63.06^\circ$$

Calculando d_1 , se obtendría:

$$d_1 = 2.64 \text{ m.}$$

No se calculan los otros equinoccios o solsticios, ya que hay espacio suficiente en la cubierta como para tener una separación incluso mayor de 2.64 m.

Otro parámetro a tener en cuenta es que a los captadores les puede dar sombra otro tipo de instalaciones presentes en la cubierta. Las estructuras críticas a valorar podrían incluir maquinaria de climatización o ventilación (llegando a alturas de 2 metros), chimeneas de extracción de gases, conductos o castilletes de escaleras/ascensores.

Por ello, se elige una distancia un 30% mayor, optimizando la captación y asegurando que las filas traseras reciban Sol durante un periodo máximo extenso de las horas críticas de la mañana y la tarde, lo cual maximizaría el rendimiento anual de la instalación y proporcionaría un margen de seguridad frente a posibles variaciones de diseño.

2.6 Dimensionamiento del intercambiador de calor

El diseño del intercambiador se inicia calculando la potencia térmica mínima requerida, qué según el CTE-HE4, debe ser de al menos 500 W por metro cuadrado de captación. Teniendo en cuenta que en este proyecto hay una superficie de captación de 205.7 m², la potencia mínima sería de 102.85 kW.

La transferencia energética del intercambiador se determina mediante un balance térmico aplicado a cada circuito. La energía intercambiada (Q_{int}), es función del caudal másico, calor específico y su salto de temperatura:

$$Q_{int} = M \cdot C_p \cdot \Delta T$$

El caudal másico del circuito primario se dimensiona en base al caudal específico del captador, la superficie total instalada y la configuración de los captadores.

$$M_B = \frac{G \cdot A_{TOT}}{N_S}$$

El caudal másico específico es, a su vez, el producto del caudal volumétrico de ensayo por la densidad del fluido caloportador.

$$G = Q_{ens} \cdot \rho_{agua}$$

Donde:

- M_B : caudal del circuito primario de captación [kg/h]
- G : caudal másico específico en el captador solar [kg/m² h]
- Q_{ens} : caudal volumétrico específico del ensayo [L/m² h]
- ρ_{agua} : densidad del agua [kg/m³]
- A_{TOT} : área total de captación [m²]
- N_S : número de captadores en serie

Teniendo en cuenta que el caudal específico del captador es de 45 L/m² h, el área de captación total es 205.7 m², y el número de captadores en serie a 1, obteniéndose para el caudal de la bomba del circuito primario:

$$G = Q_{ens} \cdot \rho_{agua} = 45 \frac{kg}{m^2 h}$$

$$M_B = \frac{G \cdot A_{TOT}}{N_S} = 9256.5 \frac{kg}{h} = 2.57 \frac{kg}{s}$$

Para el circuito secundario, se considera el mismo caudal que el primario. Por ello, el salto de temperaturas de los fluidos es de 9.56 C°.

Dado que la potencia térmica mínima requerida para el proyecto es de 102,85 kW, se selecciona un intercambiador de placas soldadas Alfa Laval modelo CB30-34M. El dimensionamiento se ha realizado considerando las condiciones de operación reales de la instalación, definidas por las temperaturas de entrada y salida de ambos circuitos.

En el circuito primario, el fluido procedente del campo solar entra al intercambiador a una temperatura aproximada de 80 °C y retorna a los captadores a 70 °C. Por su parte, en el circuito secundario, el agua procedente de la parte inferior del acumulador entra al intercambiador a 60 °C y sale hacia la parte superior del depósito a 69,6 °C, lo que supone un salto térmico de $\Delta T \approx 9,6$ °C.

Bajo estas condiciones, el intercambiador seleccionado es capaz de suministrar una potencia térmica nominal superior a 108 kW, proporcionando un margen de seguridad adecuado respecto a la potencia requerida y garantizando una transferencia de calor eficiente entre los circuitos primario y secundario, siendo compatible con los caudales y pérdidas de carga del sistema.

Se tienen unas condiciones de operación de:

Calor transferido (kW)	Caudal circuito primario (kg/s)	Caudal circuito secundario (kg/s)	Salto de Tª (°C)	Pérdida de carga (kPa)
102.85	2.57	2.57	9.56	30

Tabla 10. Dimensionamiento del intercambiador de calor.

2.7 Dimensionamiento del aerotermo

Para evitar sobrecalentamientos en el circuito primario, se dimensiona un aerotermo, capaz de disminuir en 5 °C la temperatura del fluido a la salida del campo de captadores.

Con un caudal de diseño de 9252 l/h (2.57 kg/s), la potencia térmica que debe disipar el equipo se calcula como:

$$P_{\text{aerotermo}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 2,57 \cdot 4,18 \cdot 5 = 53,7 \text{ kW}$$

Se elige el modelo 705D I061M de la marca Termicol, que disipa 61 kW, el cual trabaja con una temperatura del fluido de 90°C y una temperatura de entrada de aire de 35°C.

2.8 Dimensionamiento de red de tuberías

Esta sección detalla el proceso para calcular el diámetro y la pérdida de presión en cada tramo de la red de tuberías de los circuitos primario y secundario. Mediante este cálculo se verificará el equilibrio hidráulico del sistema en paralelo y se identificará la ruta con mayor caída de presión (la más desfavorable), un dato esencial para la selección de las bombas.

El líquido de transferencia térmica empleado en el circuito primario es una solución de agua y glicol (anticongelante). A pesar de que la temperatura mínima histórica en la localidad de Palma de Mallorca es relativamente moderada, la inclusión del glicol garantiza una protección integral contra la congelación en los captadores, eliminando el riesgo operativo. El circuito secundario (agua de consumo) utiliza agua potable.

La estrategia de protección se complementa con el sistema de control diferencial, el cual está programado para activar las bombas de circulación si la temperatura del fluido en los captadores desciende por debajo de un umbral de seguridad (5 °C), utilizando el calor acumulado en los depósitos para prevenir el riesgo de heladas.

2.8.1 CAUDAL DEL CIRCUITO PRIMARIO Y SECUNDARIO

El caudal másico de diseño establecido para la bomba del circuito primario es de 9252 kg/h, lo que equivale a 2.57kg/s. Este mismo caudal se ha adoptado para la bomba del circuito secundario, asumiendo un flujo uniforme en ambos sistemas. La distribución de este caudal total se efectúa a través del campo solar, dividiéndose entre las distintas áreas de la cubierta en proporción al número de captadores instalados en cada sector y, posteriormente, ramificándose entre cada una de las filas de captadores.

2.8.2 PÉRDIDA DE CARGA DE LOS CAPTADORES

La pérdida de carga de los captadores es un dato dado por el fabricante que según la fórmula dada en función del caudal (Figura 15), se obtiene la gráfica de la Figura 27.

El caudal que pasa por captador se obtiene a partir del caudal específico de la instalación y el área del captador:

$$M_{CAP} = G \cdot A_{TOT} = 45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot 1.87 \text{ m}^2 = 1.40 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

Según la gráfica, se obtiene que para ese caudal, hay una pérdida de carga de: $\Delta P = 1.26 \text{ mPA} = 0.126 \text{ kPa}$

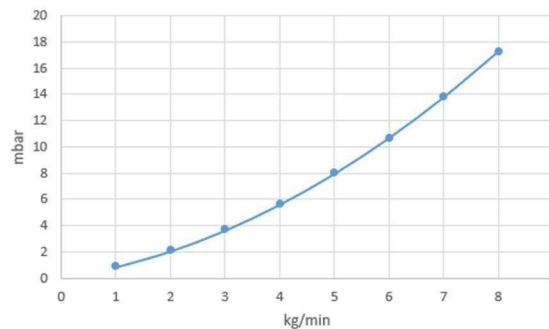


Figura 27. Pérdida de carga del captador en función del caudal

2.8.3 CALCULO DE LA RED DE TUBERÍAS

Para calcular la red de tuberías, el diámetro de cada tubería se calcula en función de la velocidad de circulación del fluido y su pérdida de carga. Han de tenerse en cuenta unos criterios de la IDAE:

La velocidad del fluido no debe superar los 2 m/s cuando las conducciones discurren por espacios habitados, y puede llegar hasta 3 m/s si se instalan en áreas exteriores. Dado que en este proyecto las tuberías se ubican en la cubierta del edificio, la velocidad máxima admisible será de 3 m/s.

Por otro lado, el cálculo del diámetro de las tuberías debe garantizar que las pérdidas de carga por metro no excedan los 40 mm.c.a/m para el caso de circulación de agua, tal como aplica en esta instalación. Es importante señalar que, si el fluido fuese una mezcla de agua con anticongelante, habría que aplicar un coeficiente de corrección de 1.3. Finalmente, los diámetros seleccionados deberán corresponder a medidas normalizadas (DN).

Para determinar las dimensiones de la red de tuberías, el circuito primario se ha sectorizado en tres zonas: la cubierta oeste, la cubierta este y el tramo que conecta la sala de máquinas con el punto donde la instalación se bifurca hacia ambas cubiertas. En cambio, el dimensionado de los elementos principales del circuito secundario se llevó a cabo teniendo en cuenta únicamente su disposición la sala de máquinas y en sótano.

Durante la fase de diseño, cada circuito se divide en secciones y se identifican sus distintos tramos teniendo en cuenta el caudal volumétrico que circula por ellos y la dirección del movimiento del fluido caloportador. El caudal en cada tramo se determina a partir del caudal unitario del captador y de la configuración geométrica de la red. La elección del diámetro de cada tubería se basa en el caudal de diseño y debe cumplir simultáneamente las limitaciones de velocidad máxima y de pérdida de carga admisible. El caudal óptimo asociado a cada diámetro corresponde al valor más restrictivo impuesto por ambas condiciones. Así, el proceso de dimensionado comienza estableciendo el caudal en cada tramo y, a partir de ello, se consulta la tabla de caudales admisibles (tabla 11) para seleccionar el diámetro correspondiente.

D(“)	D (mm)	V _{400Pa} (l/h)	V _{1,2m/s} (l/h)	Caudal Lím
1/4	6.35	40	137	40
3/8	9.53	110	308	110
1/2	12.70	231	547	231
3/4	19.05	708	1231	708
1	25.40	1554	2189	1554
1-1/4	31.75	2851	3420	2851
1-1/2	38.10	4670	4925	4670
2	50.80	10144	8756	8756
2-1/2	63.50	18471	13681	13681
3	76.20	30097	19701	19701
3-1/2	88.90	45437	26815	26815
4	101.60	64877	35024	35024
5	127.00	117503	54724	54724

Tabla 11. Diámetros normalizados en función del caudal

Teniendo en cuenta los valores de los diámetros nominales, se puede calcular los caudales tanto para 400Pa como para 1,2 m/s (valor elegido de la velocidad, inferior al valor límite).

A continuación se ve la siguientes expresión de la velocidad en m/s:

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

Donde:

- v: velocidad del fluido (m/s)
- Q: caudal en tubería (m³/s)
- A: área transversal de tubería (m²)
- D: diámetro de tubería (m)

Por otro lado se tiene la expresión de la pérdida de carga en mm.c.a/m:

$$\Delta P = 378 \cdot \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}}$$

La documentación gráfica (Figuras 42 a 44) ilustra la segmentación de la red hidráulica en tramos discretos identificados en la cubierta de la sala de máquinas, la cubierta de la nave anexa y en el interior de la sala de instalaciones. Los resultados principales del dimensionamiento se presentan en las Tablas 15 a 18, donde se detalla para cada segmento la longitud, el caudal de diseño, el diámetro seleccionado, la velocidad de circulación y la caída de presión lineal asociada.

La pérdida de presión lineal por metro se determinó en función de las propiedades termofísicas del fluido (que dependen del material y la temperatura) y de los parámetros hidráulicos del conducto, como el diámetro interior y el flujo que transporta. Pese a que diversos tramos manejan el mismo flujo, cada uno se evaluó individualmente para facilitar la identificación de la ruta con mayor caída de presión dentro del sistema.

Este análisis inicial confirmó que tanto la velocidad de circulación del fluido como las pérdidas de presión lineales se mantienen consistentemente por debajo de los umbrales de diseño recomendados por la normativa. Para obtener la pérdida de carga total en cada circuito, se sumaron a las pérdidas lineales las pérdidas localizadas generadas por los accesorios y equipos (codos, válvulas, intercambiador de calor), completando así el balance de presión necesario para seleccionar las bombas.

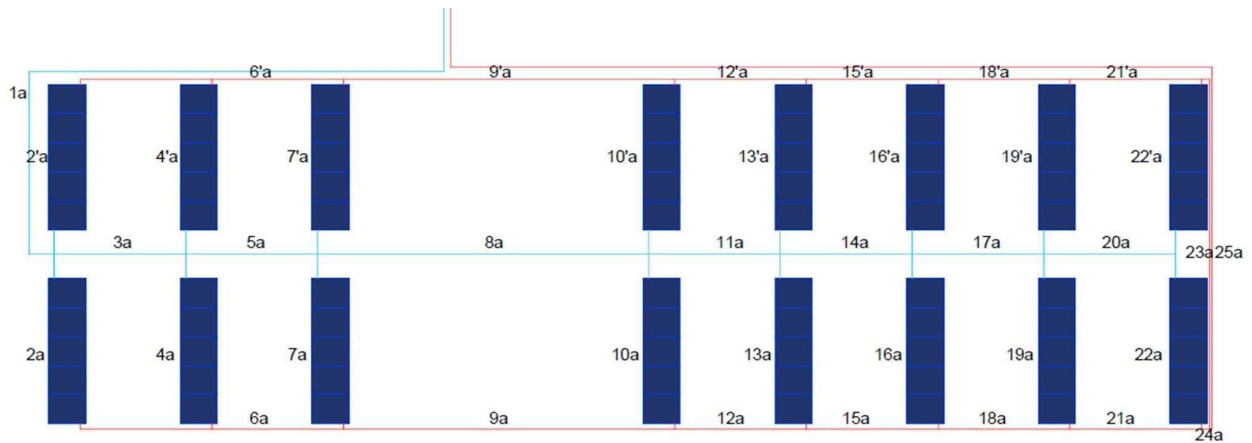


Figura 28. Plano de distribución de captadores de cubierta este

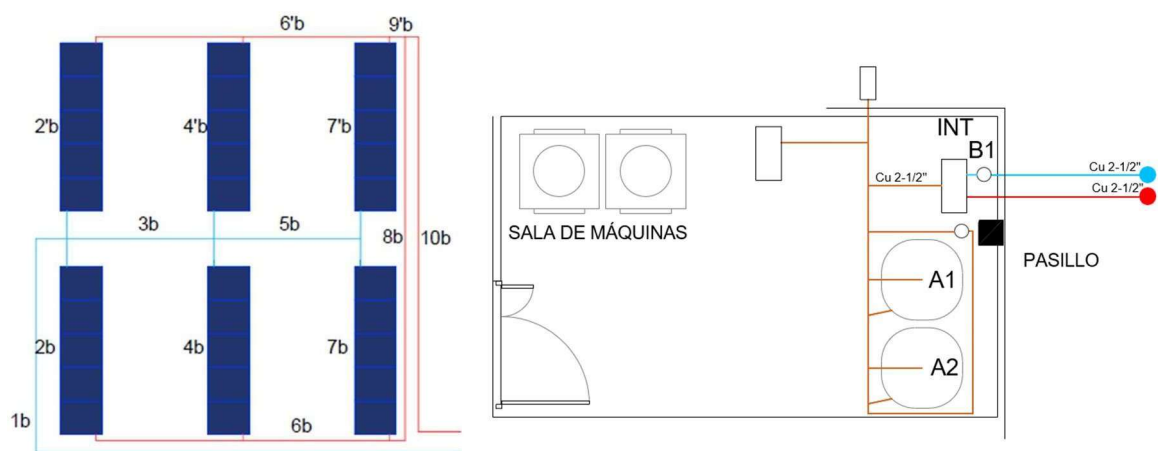


Figura 29. Plano de distribución de captadores de cubierta oeste y en sala de máquinas

2.8.4 PÉRDIDA DE CARGA DE LA RED DE TUBERÍAS

Para calcular la pérdida de carga total de la instalación, se obtienen los diámetros, velocidades y pérdidas de carga lineales de las tuberías, para luego, seleccionar la bomba del primario y secundario.

El proceso inicia calculando las pérdidas de carga de cada tramo, como se ve en las tablas 12, 13, 14 y 15.

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	Dinterior (")	V(m/s)	ΔP (Pa/m)
1a	46.4	6732.00	50.80	2	0.92	195.38
2a	12.2	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
2'a	12.2	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
3a	4.7	5890.5	50.80	2	0.81	154.64
4a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
4'a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
5a	4.7	5049.00	50.80	2	0.69	118.09
6a	4.7	841.50	25.40	1	0.46	138.15
6'a	4.7	841.50	25.40	1	0.46	138.15
7a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
7'a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
8a	12.0	4207.50	38.10	1-1/2	1.03	336.61
9a	12.0	1262.25	25.40	1	0.69	280.88
9'a	12.0	1262.25	25.40	1	0.69	280.88

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	Dinterior (")	V(m/s)	ΔP (Pa/m)
10a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
10'a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
11a	12.0	3366.00	38.10	1-1/2	0.82	227.79
12a	4.7	1683.00	31.75	1-1/4	0.59	161.01
12'a	4.7	1683.00	31.75	1-1/4	0.59	161.01
13a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
13'a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
14a	12.0	2524.5	31.75	1-1/4	0.89	327.34
15a	4.7	2103.75	31.75	1-1/4	0.74	237.92
15'a	4.7	2103.75	31.75	1-1/4	0.74	237.92
16a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
16'a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
17a	12.0	1683.00	31.75	1-1/4	0.59	161.01
18a	4.7	2524.50	31.75	1-1/4	0.89	327.34
18'a	4.7	2524.50	31.75	1-1/4	0.89	327.34
19a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
19'a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
20a	12.0	841.50	25.40	1	0.46	138.15
21a	4.7	2945.25	38.10	1-1/2	1.03	180.32
21'a	4.7	2945.25	38.10	1-1/2	1.03	180.32
22a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
22'a	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
23a	13.6	3366.00	38.10	1-1/2	1.18	227.79
24a	0.3	3366.00	38.10	1-1/2	1.18	227.79
25a	64.6	6732.00	50.80	2	0.92	195.38

Tabla 12. Dimensionado de la red de tuberías este

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	Dinterior (")	V(m/s)	ΔP (Pa/m)
1b	51.8	2524.50	31.75	1-1/4	0.89	327.34
2b	12.2	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
2'b	12.2	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
3b	4.7	1683.00	31.75	1-1/4	0.59	161.01
4b	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
4'b	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
5b	4.7	841.5	25.40	1	0.46	138.15
6b	4.7	841.5	25.40	1	0.46	138.15
6'b	4.7	841.5	25.40	1	0.46	138.15
7b	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
7'b	6.4	420.75	19.05	3/4	0.41	161.07
8b	13.6	1262.25	25.40	1	0.69	280.88
9b	0.3	1262.25	25.40	1	0.69	280.88
10b	45.4	2524.5	31.75	1-1/4	0.89	327.34

Tabla 13. Dimensionado de las tuberías de la cubierta oeste

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	Dinterior (")	V(m/s)	ΔP (Pa/m)
1	15.1	9256.50	63.50	2-1/2	0.81	118.19
2	15.1	9256.50	63.50	2-1/2	0.81	118.19

Tabla 14. Dimensionado de las tuberías de cubierta a sala de máquinas (circuito primario)

Estos tramos 1 y 2 son la continuación de 1a con 1b y 2a con 2b llegando a la sala de máquinas desde la cubierta.

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	Dinterior (")	V(m/s)	ΔP (Pa/m)
Sec	10.0	9256.50	63.50	2-1/2	0.81	118.19

Tabla 15. Dimensionado de las tuberías de la sala de máquinas (circuito secundario)

La pérdida de presión provocada por los accesorios de una instalación (pérdidas singulares) puede estimarse mediante el método de la longitud equivalente. Este enfoque consiste en asignar a cada elemento, codos, válvulas, derivaciones en T, etc, una longitud ficticia de tubería recta que genere la misma pérdida por fricción que dicho accesorio.

Para determinar esa longitud equivalente, se utilizan tablas específicas que indican el valor correspondiente según el tipo de accesorio y el diámetro de la tubería.

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

Suma de longitudes: se añade la longitud real del tramo de tubería a la suma de todas las longitudes equivalentes de los accesorios presentes. El resultado es la longitud hidráulica total del tramo.

Determinación de la pérdida de carga: esta longitud hidráulica total se multiplica por la pérdida de carga lineal (expresada en Pa/m) obtenida previamente para el caudal y diámetro considerados.

Adición de pérdidas en equipos: a las pérdidas lineales y localizadas se incorporan las pérdidas específicas de los equipos por los que circula el fluido, como los captadores solares o el intercambiador de calor.

La suma final de todas estas contribuciones proporciona la pérdida de carga total, valor imprescindible para seleccionar adecuadamente la bomba del sistema.

D(")	Codo (90°)	Curva (45°)	Curva (90°)	Codo doble (180°)	Curva doble (180°)	T en ramas alienadas	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

Tabla 16. Longitudes equivalentes de accesorios de tuberías de cobre.

Las Tablas 17, 18, 19 y 20 recogen los resultados detallados obtenidos para cada tramo que compone los circuitos primario y secundario, tanto en las dos cubiertas como en la sala de máquinas. Cada tabla especifica la longitud física del tramo, el detalle de los accesorios instalados, y el desglose de las pérdidas de carga: la asociada a la fricción en la tubería (pérdida lineal) y la provocada por los accesorios (pérdida localizada). A estos valores se suman las pérdidas propias de los equipos principales presentes en el tramo. La pérdida de carga total de cada tramo se establece mediante la sumatoria de todas estas contribuciones.

Con las pérdidas de carga totales de cada segmento ya cuantificadas, es posible proceder a la evaluación de la pérdida de carga global del circuito completo, identificando el tramo más desfavorable en cada uno de los circuitos que operan en paralelo (lado primario y lado secundario).

Al contar con hileras de 5 captadores por hilera y un total de 110 captadores, se tiene en el circuito primario un total de 22 circuitos en paralelo, repartidos por las dos cubiertas. Como se observan en las figuras 27 y 28, se tiene por el lado oeste 16 circuitos en paralelo, y por el lado este otros 6.

En todos los casos debe considerarse, por un lado, la pérdida de carga correspondiente a los tramos situados en las cubiertas y, por otro, la pérdida de carga generada en los tramos del intercambiador de calor de la sala de máquinas con la bifurcación a las dos cubiertas, incluyendo el recorrido de retorno hasta dicho intercambiador.

Como se aprecia en la Tabla 21, hay un resumen de la pérdida de carga máxima correspondiente a cada una de las cubiertas. La pérdida de carga más desfavorable es de 53.58 kPa, valor que se asocia a la este. Por su parte, la pérdida de carga en los circuitos de la cubierta de la sala oeste alcanza los 41.59 kPa, lo que hace necesario instalar dos válvulas de equilibrado al inicio de la red de tuberías de cada cubierta para asegurar un funcionamiento uniforme.

En cuanto al circuito secundario, este opera como un único circuito, y su pérdida de carga más desfavorable es de 3.12 kPa, tal como se indica en la Tabla 20.

Tramo	L (m)	D (")	Accesorios	Lacc(m)	ΔP_{eq} (kPa)	ΔP_{tub} (kPa)	ΔP total(kPa)
1a	67.0	2	5 codos	4.4	0.85	13.09	13.95
2a	12.3	3/4	2 válvulas de corte, 2 codos, 1T derivada, 1T alineada	1.8	0.28	1.97	2.25
2'a	12.3	3/4	2 válvulas de corte, 2 codos, 1T derivada, 1T alineada	1.8	0.28	1.97	2.25
3a	4.8	2	1T alineada	0.5	0.075	0.73	0.80
4a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	0.39	1.03	1.42
4'a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.44	0.39	1.03	1.42
5a	4.8	2	1T alineada	0.5	0.075	0.73	0.80
6a	4.8	1	1T alineada	0.2	0.03	0.65	0.68
6'a	4.8	1	1T alineada	0.2	0.03	0.65	0.68
7a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
7'a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
8a	12.0	1-1/2	1T alineada	0.4	0.12	4.04	4.16
9a	12.0	1	1T alineada	0.2	0.07	3.37	3.44
9'a	12.0	1	1T alineada	0.2	0.07	3.37	3.44
10a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
10'a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
11a	12.0	1-1/2	1T alineada	0.4	0.08	2.73	2.81
12a	4.8	1-1/4	1T alineada	0.3	0.05	0.77	0.82
12'a	4.8	1-1/4	1T alineada	0.3	0.05	0.77	0.82
13a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
13'a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
14a	12.0	1-1/4	1T alineada	0.3	0.1	4.46	4.56
15a	4.8	1-1/4	1T alineada	0.3	0.07	1.13	1.20
15'a	4.8	1-1/4	1T alineada	0.3	0.07	1.13	1.20
16a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
16'a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
17a	12.0	1-1/4	1T alineada	0.3	0.05	1.9	1.95
18a	4.8	1-1/4	1T alineada	0.3	0.09	1.60	1.69
18'a	4.8	1-1/4	1T alineada	0.3	0.09	1.60	1.69
19a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
19'a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
20a	12.0	1	1T alineada	0.2	0.03	1.66	1.69
21a	4.8	1-1/2	1T alineada	0.4	0.07	0.85	0.92
21'a	4.8	1-1/2	1T alineada	0.4	0.07	0.85	0.92
22a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
22'a	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
23a	13.6	1-1/2	1T alineada, 1 codo	1.0	0.23	3.1	3.33
24a	0.3	1-1/2	1T derivada	1.5	0.33	0.07	0.4
25a	85.5	2	5 codos	4.4	0.85	16.76	17.61

Tabla 17. Pérdidas de carga por tramo en nave este

Tramo	L (m)	D (")	Accesorios	Lacc(m)	ΔP_{eq} (kPa)	ΔP_{tb} (kPa)	ΔP_{total} (kPa)
1b	41.9	1-1/4	4 codos	2.1	0.68	13.70	14.37
2b	12.3	3/4	2 válvulas de corte, 2 codos, 1T derivada, 1T alineada	1.8	0.28	1.97	2.25
2'b	12.3	3/4	2 válvulas de corte, 2 codos, 1T derivada, 1T alineada	1.8	0.28	1.97	2.25
3b	4.8	1-1/4	1T alineada	0.3	0.05	0.77	0.82
4b	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	0.39	1.03	1.42
4'b	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	0.39	1.03	1.42
5b	4.8	1	1T alineada	0.2	0.03	0.65	0.68
6b	4.8	1	1T alineada	0.2	0.03	0.65	0.68
6'b	4.8	1	1T alineada	0.2	0.03	0.65	0.68
7b	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
7'b	6.4	3/4	2 válvulas de corte, 1 codo, 2T derivadas	2.4	1.03	0.39	1.42
8b	13.6	1	1T alineada, 1 codo	0.6	0.18	3.82	4.00
9'b	0.3	1	1T derivada	0.9	0.26	0.08	0.34
10b	35.5	1-1/4	4 codos	2.1	0.68	11.63	12.31

Tabla 18. Pérdidas de carga por tramo en nave oeste

Tramo	L (m)	D (")	Accesorios	Lacc(m)	ΔP_{eq} (kPa)	ΔP_{tb} (kPa)	ΔP_{total} (kPa)
1	15.1	2-1/2	2 T derivadas, 16 codos, 4 válvulas de corte, 1 válvula de retención, 1 válvula de filtro	28.6	3.37	1.84	5.22
2	15.1	2-1/2	3 codos, 1 válvula de corte	5.3	0.63	1.84	2.47

Tabla 19. Pérdidas de carga por tramo cubierta a sala de máquinas

Tramo	L (m)	D (")	Accesorios	Lacc(m)	ΔP_{eq} (kPa)	ΔP_{tub} (kPa)	ΔP_{total} (kPa)
Sec	10.0	2-1/2	2 T derivadas, 5 codos, 6 válvulas de corte, 1 válvula de retención, 1 válvula de filtro	16.5	1.94	1.18	3.12

Tabla 20. Pérdidas de carga por tramo en sala de máquinas (circuito secundario)

Tramo	Tramos	ΔP_{total} (kPa)
a	1, 1a, 2'a, 6'a, 9'a, 12'a, 15'a, 18'a, 21'a, 23a, 25a, 2	53.58
b	1, 1b, 2'b, 6'b, 9'b, 8b, 10b, 2	41.59

Tabla 21. Pérdida de carga total en el primario

2.9 Dimensionamiento de las bombas

El dimensionamiento de las bombas de circulación para los circuitos primario y secundario se basa en los caudales máximos previamente calculados para cada circuito. Adicionalmente, se adopta una pauta de diseño inspirada en versiones anteriores del documento HE4 del Código Técnico de la Edificación (CTE). Esta pauta exige la instalación de dos bombas idénticas en paralelo cuando la superficie de captación solar excede los 50 m², criterio aplicable a este proyecto. La finalidad de esta configuración es que una bomba actúe como reserva o respaldo de la otra, y esta disposición de redundancia se implementa en ambos circuitos.

• Selección de la bomba del primario

Se tiene un caudal de 9252 l/h, o también 9.25 m³/h y una pérdida de carga total más desfavorable de 53.58 kPa = 5.463 mca, y se aumenta con un margen de seguridad en un 5%.

$$\Delta P_{\text{bomb}} = \Delta P_{\text{ints}} + 5\% = 5.463 \cdot 1.05 = 5.74 \text{ mca}$$

Se selecciona una bomba de circulación de alta eficiencia de la marca Wilo, modelo Stratos MAXO 32/0,5-10,

que puede vencer una pérdida de carga máxima de 10.4 mca con un caudal de hasta 15.9 m³/h. Este modelo permite cubrir el punto de trabajo de diseño 9.25 m³/h y 5.71 mca con un consumo energético optimizado

• Selección de la bomba del secundario

Al igual, se tiene un caudal de 9252 l/h, o también 9.25 m³/h, pero en este caso una pérdida de carga total más desfavorable de 5.22 kPa = 0.53 mca, y también se aumenta con un margen de seguridad en un 5%.

$$\Delta P_{\text{bomb}} = \Delta P_{\text{ints}} + 5\% = 0.532 \cdot 1.05 = 0.56 \text{ mca}$$

En el secundario se selecciona también una bomba de circulación de alta eficiencia de la marca Wilo, modelo Stratos MAXO 32/0,5-10, que puede vencer una pérdida de carga máxima de 10.4 mca con un caudal de hasta 15.9 m³/h. Este modelo permite cubrir el punto de trabajo de diseño 9.25 m³/h y 5.71 mca con un consumo energético optimizado.

2.10 Dimensionamiento del vaso de expansión

El dimensionamiento del vaso de expansión se rige por la normativa UNE-100155, la cual aborda el diseño y el cálculo de los sistemas de expansión.

El primer paso de este proceso requiere la determinación del volumen total de fluido caloportador circulante en el circuito primario. Este volumen se obtiene al sumar el contenido de los captadores solares, el volumen interno de las tuberías y el líquido alojado en el lado primario del intercambiador de calor. Además, se añade un margen de seguridad del 10% al total calculado.

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{cap}} + V_{\text{tub}} + V_{\text{int}} + V_{\text{seg}}$$

El volumen de las tuberías se obtiene de la siguiente expresión:

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

El volumen de los captadores es el volumen de agua de cada uno (1.18 l), por su total.

$$V_{\text{cap}} = N_c \cdot 1.18 = 110 \cdot 1.18 = 129.9 \text{ l}$$

El volumen total de tuberías sale de la suma de los volúmenes de cada tramo de red que se ha calculado previamente con sus longitudes y sus diámetros correspondientes, con las tuberías de la cubierta este (V_e), oeste (V_o) y de los tramos 1 y 2 desde la sala de máquinas hacia las cubiertas (V_{12}).

$$V_{\text{tot}} = V_e + V_o + V_{12} = 359.69 + 109.40 + 95.38 = 564.47 \text{ l}$$

El volumen contenido en el circuito primario del intercambiador de la instalación se obtiene directamente de la documentación del fabricante, siendo este:

$$V_{\text{int}} = 0.92 \text{ l}$$

El volumen de seguridad será el 10% de la suma de todos los volúmenes anteriores:

$$V_{\text{seg}} = 0.1 \cdot (V_{\text{cap}} + V_{\text{tub}} + V_{\text{int}}) = 69.53 \text{ l}$$

Por lo tanto, el volumen total en el circuito primario será de:

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{cap}} + V_{\text{tub}} + V_{\text{int}} + V_{\text{seg}} = 824.81 \text{ l}$$

Para determinar el coeficiente de expansión C_e , se emplea la expresión polinómica dependiente de la temperatura (T):

$$C_e = (-1.75 + 0.064T + 0.0036T^2) \cdot 10^{-3}$$

La temperatura debe reflejar la máxima temperatura admisible por los captadores solares en el circuito. A pesar de que la temperatura de estancamiento proporcionada por el fabricante es teóricamente la máxima, se considera un valor de 80 °C como temperatura de diseño, ya que las condiciones reales de funcionamiento rara vez alcanzan el estancamiento y superar este punto provocaría la generación de vapor. Puesto que el medio de transferencia de calor es exclusivamente agua (sin mezcla de anticongelante), no es necesario incorporar factores de corrección al coeficiente resultante. Aplicando esta referencia térmica, el valor final del coeficiente de expansión es $C_e = 0.026$. Para calcular el coeficiente de presión del vaso de expansión es necesario definir previamente la presión mínima (P_m) y la presión máxima (P_M) de operación del sistema.

La presión mínima (P_m) corresponde al valor existente en el vaso cuando la instalación está detenida. Esta debe estar por encima de la presión atmosférica para impedir la entrada de aire al circuito. También ha de superar la presión de saturación del agua, evitando así la posible formación de vapor.

El vaso se ubica en la sala de máquinas, mientras que los captadores se encuentran en las cubiertas. Por ello, es necesario conocer la altura vertical hasta el punto más alto por donde circula el fluido (la tubería de salida de los captadores). La distancia desde el suelo de la sala de máquinas hasta la cubierta es de 10.5 m, mientras que la altura desde la cubierta a la tubería de salida del captador es de 1.35m, lo que da un total de 11.85m

Por lo tanto, la presión en el punto donde se coloca el vaso será la presión de la columna de agua que hay por encima de este, que será de una altura de $h = 11.85\text{m}$, a la cual habrá que añadirle la presión atmosférica, (P_{atm}), y 0,5 bar de seguridad, quedando los cálculos de la siguiente manera:

$$P_m = \rho gh + P_{\text{atm}} + P_{\text{seg}} = 10^3 \cdot 9.81 \cdot 11.85 + 10^5 + 0.5 \cdot 10^5 = 266248.5 \text{ Pa}$$

La presión máxima de funcionamiento (P_M), está limitada por la presión máxima admisible, dada por el fabricante. Por ello, la P_M , será menor que dicha presión max admisible, que coincide a su vez con la de tarado de la válvula de seguridad P_{VS} . En consecuencia, P_M se define como el menor de estos dos valores:

$$P_M = 0.9 \cdot P_{\text{VS}} \quad P_M = P_{\text{VS}} - 0.5 \text{ (bar)}$$

Los resultados de estas presiones serían:

$$P_{\text{VS}} = 8 \text{ bar}; \quad P_m = 2.66 \text{ bar}; \quad P_M = 7.2 \text{ bar}$$

El coeficiente de presión se obtiene con la ecuación resultante de estas presiones:

$$C_P = \frac{P_M}{P_M - P_m} = 1.586$$

El volumen mínimo requerido por el vaso de expansión se calcula mediante la expresión:

$$V_{\text{exp}} = V_T \cdot C_e \cdot C_P = 824.81 \cdot 0.026 \cdot 1.586 = 34.02 \text{ l}$$

Se usa un vaso de expansión de la marca Ibaiondo, modelo 50 CMF, para tener un margen ya que cuenta con 50 l.

2.11 Determinación de aislamientos en tuberías

El aislamiento de las tuberías tiene como finalidad minimizar las pérdidas energéticas que se producen por el intercambio de calor entre el fluido que circula por su interior y el entorno que las rodea. Una vez definidos los diámetros y las longitudes de cada tramo, se determina el espesor de aislamiento correspondiente. Para ello se recurre al RITE, concretamente a la instrucción I.T. 1.2.4.2.1: Aislamiento térmico de redes de tuberías, donde se diferencian los espesores requeridos para conducciones interiores y exteriores.

Este apartado del reglamento incluye tablas de referencia basadas en un material con una conductividad térmica de 0,04 W/m·K a 10°C, en las cuales se indica el espesor mínimo obligatorio según el diámetro exterior de la tubería sin aislar y la temperatura del fluido que circula por la red.

Tabla 1.2.4.2.1: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

Tabla 22. Espesor mínimo para tuberías interiores

Tabla 1.2.4.2.2: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60

Tabla 23. Espesor mínimo para tuberías exteriores

La tabla presentada recoge los espesores mínimos de aislamiento establecidos, diferenciados según el diámetro nominal de la tubería y si esta se ubica en interiores o en el exterior. Aunque la temperatura de operación del fluido es cercana 60°C, se ha decidido aplicar un enfoque más conservador, adoptando los espesores correspondientes al intervalo de Tª superior, >60...100°C, con el fin de asegurar un nivel de aislamiento térmico más elevado.

Diámetro exterior (mm)	19.05	25.40	31.75	38.10	50.80	63.50
Interior	25	25	25	30	30	30
Exterior	35	35	35	40	40	40

Tabla 24. Espesores de tuberías en la instalación

2.12 Selección de accesorios

Para asegurar la operatividad del sistema, la protección de los equipos y la accesibilidad durante las labores de mantenimiento, el diseño hidráulico incorpora los siguientes componentes:

- **Válvulas de corte (o interrupción):** Se han dispuesto elementos de cierre en las tomas de conexión de todos los equipos críticos (grupos de bombeo, intercambiador de placas y aerotermo) para permitir su aislamiento individual sin necesidad de vaciar la instalación. Asimismo, se ubicarán válvulas en puntos estratégicos: la acometida general de agua fría, la interconexión con la central de generación auxiliar, las entradas y salidas de los depósitos de acumulación y en los extremos de cada batería de captadores.

- **Instrumentación y control:**

- **Termómetros:** Se instalarán para la monitorización térmica en los puertos del intercambiador (tanto en el circuito primario como en el secundario), en cada uno de los tres acumuladores y en el retorno de cada fila del campo de captación.

- **Manómetros:** Se situarán en los captadores de los grupos de presión de ambos circuitos para verificar el punto de trabajo de las bombas.

- **Válvulas de retención (antirretorno):** Se colocará una unidad en la impulsión de cada bomba de circulación (primaria y secundaria) para evitar flujos inversos o circulación por gravedad cuando los equipos estén parados.

- **Válvulas de seguridad:** La instalación contará con válvulas de seguridad destinadas a proteger los circuitos frente a sobrepresiones, actuando cuando la presión supere los valores máximos admisibles de diseño. Estas válvulas se instalarán en puntos estratégicos, principalmente en el circuito primario y en las proximidades de los acumuladores, y estarán taradas conforme a la presión máxima de servicio de los equipos. Su funcionamiento garantiza la integridad de la instalación, evitando daños en los captadores, el intercambiador y las tuberías ante situaciones de sobrecalentamiento o dilatación excesiva del fluido.
- **Sistemas de llenado y vaciado:**
 - Se dispondrán sistemas específicos de llenado y vaciado en ambos circuitos de la instalación, primario y secundario, con el objetivo de facilitar las labores de puesta en marcha, mantenimiento y vaciado parcial o total del sistema.
 - En el circuito primario, el sistema de llenado permitirá la introducción controlada del fluido caloportador (mezcla de agua y anticongelante), incorporando válvulas de corte y conexión a red auxiliar. Los puntos de vaciado se situarán en las cotas más bajas del trazado hidráulico, permitiendo el drenaje completo del circuito.
 - En el circuito secundario, se dispondrán igualmente válvulas de llenado y vaciado en las proximidades de los depósitos de acumulación y del intercambiador de calor.
- **Sistemas de purga y protección:**
 - Purgadores automáticos: Ubicados en las cotas más altas del trazado, específicamente a la salida de cada serie de captadores y en la derivación hacia el vaso de expansión, garantizando la eliminación de bolsas de aire.
 - Filtros en Y: Se dispondrán en la aspiración de las bombas para retener impurezas y proteger los rodetes frente a partículas en suspensión.
- **Regulación hidráulica y térmica:**
 - Válvulas de equilibrado: Se instalarán en los ramales de retorno de cada cubierta para asegurar el correcto balanceo de caudales entre los diferentes subcampos.
 - Válvula de tres vías: Actuará como elemento desviador (todo-nada) en el circuito primario, derivando el fluido hacia el aerotermo de disipación únicamente cuando se alcancen temperaturas de seguridad preestablecidas.

3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

3.1 Objetivo

Se mostrará en el siguiente documento un pliego de condiciones técnicas que han de seguirse y cumplimentarse de la instalación de ACS del proyecto. Este incluye la definición de equipos y materiales, su montaje, pruebas y mantenimiento.

3.2 Normativa aplicable

A continuación, se detallan los documentos normativos de obligatorio cumplimiento:

- Pliego de Especificaciones Técnicas para instalaciones de energía solar térmica a baja temperatura.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE), establecido por el Real Decreto 1027/2007 del 20 de julio.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), complementado con sus Instrucciones Técnicas MI.BT, así como las notas y guías interpretativas asociadas.
- Código Técnico de la Edificación – Documento Básico sobre Acciones en la Edificación (CTE-DB- AE).
- Código Técnico de la Edificación – Documento Básico de Protección frente al Ruido (CTE-DB-HR).
- Código Técnico de la Edificación – Documento Básico de Seguridad contra Incendios (CTE-DB-SI).
- Norma UNE-EN 12975-1:2006. “Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares.”
- También será de obligatorio cumplimiento toda regulación de ámbito autonómico y municipal que corresponda, como ordenanzas locales u otras disposiciones aplicables.

Junto con la normativa obligatoria mencionada, se deberán considerar otras reglamentaciones técnicas complementarias, como las normas UNE de AENOR, las NTE del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, y las especificaciones de las empresas distribuidoras de energía eléctrica. En ausencia de normativa nacional específica, podrán utilizarse estándares de entidades internacionales como ISO, CEN u otras equivalentes. En cualquier caso, siempre deberá aplicarse la versión más actualizada y oficialmente vigente de cada normativa, incorporando sus eventuales modificaciones aprobadas.

3.3 Condiciones de materiales y equipos

3.3.1 TUBERÍAS

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

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

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

Todos los elementos metálicos no galvanizados, ya sean tuberías, soportes, o bien accesorios, o que no

estén debidamente protegidos contra la oxidación por su fabricante, se les aplicara dos capas de pintura antioxidante a base de resinas sintéticas acrílicas multipigmentadas por minio de plomo, cromado de zinc y óxido de hierro. Las dos manos se darán: la primera fuera de obra y la otra con el tubo instalado.

3.3.2 ACCESORIO DE TUBERÍAS

- Compensadores de dilatación

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

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

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

- Juntas

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

- Lubricante de roscas

General: no endurecedor, no venenoso.

- Acoplamientos dieléctricos o latiguillos

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

- Derivaciones

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

- Codos en bombas

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

- Sombreretes

Se dispondrá la protección correspondiente para todas las tuberías que atraviesen la cubierta, siguiendo las indicaciones establecidas por la Dirección Facultativa.

- Termómetros

Los termómetros serán de mercurio en vidrio, con una escala adecuada para el servicio (divisiones de ½ grado) dentro de una caja metálica protectora con ventana de vidrio, instalados de modo que su lectura sea sencilla.

- Manómetros

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

- Válvulas de seguridad

Se instalarán todas las válvulas de seguridad necesarias —con la calibración adecuada— para asegurar el funcionamiento correcto y sin riesgos de los sistemas, procediéndose durante las pruebas de puesta en marcha a verificar su tarado. Estas válvulas de alivio serán de tipo angular y accionadas por resorte, aptas para temperaturas entre 0 °C y 120 °C y presiones de hasta 25 kg/cm², construidas con bronce RG-5 (cuerpo, vástago, tornillo de fijación, tuerca deflectora y tobera), latón (cabezal y obturador), acero cadmiado (resorte) y PTFE (junta).

- Purgadores de aire

Cuando sea preciso, para conseguir una instalación silenciosa y prevenir la acumulación de aire, la tubería se colocará con una inclinación ascendente en el sentido del flujo.

Las derivaciones se diseñarán de manera que se impida la retención de aire y se facilite su circulación libre. Se instalarán purgadores de aire, manuales o automáticos, en todos los puntos elevados, especialmente en las zonas más altas de los montantes principales, así como en cualquier otro lugar que lo requiera, prestando especial atención a los retornos (tramos ascendentes, codos con dirección hacia arriba).

En caso de que, una vez en funcionamiento, se detecten anomalías por aire residual en la instalación, se colocarán nuevos empalmes, purgadores o válvulas según sea necesario, sin coste adicional. No obstante, si los trabajos implican roturas y restitución de acabados, dichos gastos serán asumidos por el contratista. Como regla general, se optará por purgadores manuales, excepto en puntos ocultos o de difícil acceso, donde se recomendará el uso de purgadores automáticos.

- Vaciados

Las tuberías de vaciado, los purgadores, las válvulas de seguridad y los reboses se conectarán al sumidero o desagüe más próximo. En todos los casos, se implementarán las medidas adecuadas para evitar que una descarga fortuita cause daños o perjuicios. Se proporcionarán las válvulas de drenaje necesarias para permitir el vaciado integral de todas las tuberías y equipos.

- Conexiones a equipos

Se colocarán elementos de conexión que faciliten el montaje y desmontaje de los distintos equipos y componentes de la red de tuberías, como latiguillos, bridas y similares, dispuestos de manera que permitan el mantenimiento o la retirada de los equipos sin necesidad de desinstalar la tubería.

3.3.3 VÁLVULAS

- Generalidades.

Las válvulas contarán con una marcación indeleble que indique el diámetro nominal, la presión nominal y, cuando corresponda, la presión de calibración.

La selección de las válvulas se realizará considerando la función que deben cumplir y las condiciones extremas de operación (presión y temperatura), atendiendo a los criterios que se detallan a continuación:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvula de resorte.
- Para retención: válvulas de disco, de capeta o de muelle (disco partido).

Dada su función crítica, las válvulas de seguridad deberán tener capacidad para evacuar la potencia máxima del captador o grupo de captadores, incluso si se presenta en forma de vapor, garantizando que en ningún caso se supere la presión máxima de trabajo del captador o del sistema.

Los purgadores automáticos serán resistentes a las presiones y temperaturas máximas que pueda alcanzar el circuito correspondiente. Para los del circuito primario, se recomienda que soporten temperaturas de al menos 150 °C.

- Materiales.

Los elementos principales de las válvulas deberán estar fabricados con los materiales que se especifican a continuación:

1. Válvulas de esfera

- Cuerpo: fundición de hierro o acero.
- Esfera y eje: acero endurecido cromado o acero inoxidable.
 - Asientos, empaquetadura y juntas: teflón. Para diámetros menores de 1½" podrán emplearse cuerpos de latón estampado, con esfera de latón endurecido cromado.

2. Válvulas de asiento

- Cuerpo: bronce (hasta 2") o fundición de hierro/acero.
- Tapa: mismo material que el cuerpo.
 - Obturador: tipo pistón o asiento plano, con cono de regulación de acero inoxidable y anillo de teflón, no solidario al husillo.
- Asiento: integrado, de bronce o acero inoxidable según el cuerpo de la válvula.
- Prensaestopas: igual material que el cuerpo y la tapa.

3. Válvulas de seguridad de resorte

- Cuerpo: fundición de hierro o acero al carbono, con salida conducida.
- Obturador y vástago: acero inoxidable.
- Prensaestopas: latón. Resorte: acero especial para muelles.

4. Válvulas de retención de clapeta

- Cuerpo y tapa: bronce o latón.
- Asiento y clapeta: bronce.
- Conexiones: rosca hembra.

5. Válvulas de retención de muelle

- Cuerpo y tapa: bronce o latón.
- Asiento y clapeta: bronce.
- Conexiones: rosca hembra.
- Resorte: acero especial para muelles.

6. 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 empleado como aislante térmico deberá ajustarse a lo establecido en la norma UNE 100171.

El aislamiento instalado en el exterior deberá protegerse de forma adecuada contra las condiciones atmosféricas, a fin de evitar su degradación.

Como protección del material aislante se podrá utilizar un recubrimiento o envoltorio de yeso protegido con pinturas asfálticas, poliéster reforzado con fibra de vidrio o lámina de aluminio.

Si el aislamiento está compuesto por espuma elastomérica, podrán emplearse pinturas plásticas impermeables que mantengan sus propiedades esenciales tras una exposición prolongada a la radiación solar.

En el caso de acumuladores e intercambiadores de calor ubicados en el exterior, se podrán utilizar fundas de tejido plástico como protección del aislamiento.

3.3.5 VASOS DE EXPANSIÓN

Los vasos de expansión serán siempre del tipo cerrado. Cada vaso deberá contar con una placa de identificación, colocada en un lugar claramente visible, donde se indiquen con letra permanente los siguientes datos:

- Fabricante.
- Marca.
- Modelo.

Se recomienda que los vasos de expansión instalados en los circuitos primarios puedan soportar temperaturas superiores a 100 °C. En cualquier caso, se adoptarán las medidas pertinentes (como la instalación de un vaso tampón, una tubería de enfriamiento u otros sistemas) para evitar que el fluido alcance el vaso a una temperatura mayor de la que este pueda resistir.

En situaciones de fugas, los vasos de expansión deberán presurizarse con nitrógeno de alta pureza. No se aconseja el uso de aire, ya que podría acortar la vida útil del equipo.

La carcasa externa del depósito será de acero, homologada y diseñada de modo que permita el acceso a la membrana interior de expansión. En su interior contará con un tratamiento anticorrosivo, y en el exterior se aplicará una doble capa de protección antioxidante, acabada con pintura tipo duco o esmalte horneado.

El depósito estará separado en dos cámaras estancas entre sí por medio de una membrana de dilatación fabricada en caucho butílico o polipropileno, con capacidad de recuperación elástica a temperaturas inferiores a 60 °C sin degradarse. La cámara de expansión de gas se llenará con nitrógeno u otro gas inerte, e incluirá una toma para la reposición del gas y un manómetro. En la conexión del agua se incorporarán un manómetro, un termómetro, una válvula de alimentación, una purga de agua y una válvula de seguridad. Además, esta toma contará con un sifón, en cuya parte superior se ubicará una botella de recogida de aire con purgador manual y automático.

3.3.6 BOMBAS

La bomba de circulación contará con una placa identificativa ubicada en un lugar claramente visible, donde figurarán, grabados de forma indeleble, los siguientes datos:

- Fabricante.
- Marca.
- Modelo.
- Características técnicas

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

- Cuerpo fabricado en fundición o bronce, según diseño (partido o no, de acuerdo con los planos). Incluirá conexiones para cebado, venteo, drenaje, así como tomas para manómetros en la impulsión y la descarga.
- Rodete construido en fundición/polisulfona o bronce.
- Eje de acero inoxidable AISI 316.
- Tubo de cierre en acero inoxidable.
- Cojinetes de bolas de carbono, sellados contra polvo y humedad.
- Cierres mecánicos: todas las bombas deberán contar con cierres mecánicos y separadores de sedimentos.
- Juntas tóricas de EPDM.
- Acoplamientos flexibles tipo todo-acero con protector. Se incluirá un espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.
- Rotor húmedo o seco, según lo definido en la documentación del proyecto.
- Motor eléctrico de 2 o 4 polos, 2900 rpm o 1450 rpm, 220 V/1~ o 220/380 V/3~, 50 Hz, IP 44, clase F.
- Presión de aspiración: 2 m.c.a. a 82 °C.

- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, número de velocidades y nivel de presión acústica según lo indicado en el presupuesto o las especificaciones técnicas.
- Para circuitos de agua caliente sanitaria, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
- En el circuito primario, los materiales de la bomba deberán ser compatibles con las mezclas anticongelantes y, en general, con el fluido de trabajo empleado.

3.3.7 CAPTADORES

- Generalidades.

Se recomienda emplear captadores solares que cumplan con las siguientes especificaciones técnicas:

- Cubierta transparente: vidrio templado con un espesor mínimo de 3 mm y una transmitancia igual o superior a 0,8.
- Separación entre absorbedor y cubierta: distancia media no menor de 2 cm ni mayor de 4 cm.
- Absorbedor: fabricado exclusivamente con materiales metálicos.

La instalación de sistemas integrados en cubierta deberá realizarse mediante un procedimiento avalado por el fabricante, garantizando las condiciones funcionales y la durabilidad del conjunto.

Los datos para la caracterización térmica, hidráulica y mecánica del captador solar deberán obtenerse de los ensayos realizados según la norma UNE 12975. Cabe destacar que la función de rendimiento del captador siempre está referida a una superficie útil y a un caudal de ensayo determinados.

- Modelo del captador.

Se recomienda que todos los captadores que formen parte de la instalación sean del mismo tipo y modelo.

Si en caso de rehabilitación o ampliación no fuera posible mantener el modelo idéntico, se instalará un sistema de regulación de caudal por baterías que permita que las nuevas baterías operen con un caudal similar (con una diferencia máxima del 10%) al de las baterías existentes cuando circule el caudal de diseño en el circuito primario.

En instalaciones que cuenten con una única batería de captadores, se podrán utilizar captadores diferentes siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

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

- Estructura y soporte del captador.

La estructura de soporte cumplirá con los requisitos establecidos en el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural (CTE-SE).

Todos los materiales de la estructura deberán protegerse contra la acción de los agentes atmosféricos, especialmente frente a la radiación solar y al efecto combinado del aire y el agua. Las estructuras de acero se protegerán mediante galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas con base de zinc u otros tratamientos anticorrosivos de eficacia equivalente. Los taladros en la estructura se realizarán previamente al proceso de galvanizado o protección.

La tornillería y los elementos auxiliares deberán estar protegidos mediante galvanizado, cincado o ser de acero inoxidable.

3.3.8 SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

La instalación eléctrica se ajustará al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) vigente y a sus correspondientes Instrucciones Técnicas Complementarias.

Se dispondrá un cuadro eléctrico exclusivo para la instalación solar. El sistema de control estará basado en un regulador digital programable e incluirá un sistema de adquisición de datos en tiempo real, capaz de ser monitorizado de forma remota mediante un módem integrado. Los parámetros que se registrarán y supervisarán serán: caudales, temperaturas en captadores y acumuladores, potencia y energía suministrada a cada servicio, y el número de horas de funcionamiento de las bombas.

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

- Activación de la bomba de circulación: se realizará en función de la diferencia de temperatura entre la salida de la batería de captadores y la zona inferior del acumulador.
- Ubicación de las sondas: deberá asegurar que midan con exactitud las temperaturas deseadas. Los sensores se instalarán en el interior de vainas, evitando colocarlos en tuberías alejadas de la salida de los captadores o en zonas con posible estancamiento (como en el caso de la piscina).
- Precisión del control: el sistema de regulación y los puntos de consigna garantizarán que las bombas no se pongan en marcha con diferencias inferiores a 3 °C ni se detengan con diferencias superiores a 7 °C.
- Histeresis del termostato diferencial: la diferencia entre la temperatura de arranque y parada no será menor de 3 °C.
- Señalización: el sistema de control incluirá indicadores luminosos que señalen la alimentación eléctrica y el estado de funcionamiento de las bombas.

3.3.9 APARATOS DE MEDIDA

Los sistemas de medición de temperatura, caudal y energía ofrecen información sobre el estado operativo de la instalación y permiten evaluar su desempeño energético.

- Medida de temperatura

Las mediciones de temperatura se llevarán a cabo mediante sensores tales como sondas, termopares, termorresistencias (RTD) o termistores.

La diferencia de temperatura del fluido de trabajo se determinará utilizando termopilas, termómetros de resistencia (conectados en dos ramas de un circuito puente) o pares de termopares emparejados, de modo que en todos los casos la señal de salida sea única.

Las sondas de temperatura deberán ser preferentemente de tipo de inmersión y estar en contacto directo con el fluido cuya temperatura se desea medir, o situarse, como máximo, a una distancia de 5 cm de este.

- Medida de caudal

Los caudalímetros de agua estarán compuestos por una carcasa resistente al agua que alberga la cámara de medición, un elemento móvil cuyo desplazamiento es proporcional al flujo de agua circulante y un mecanismo de relojería que transmite dicho movimiento a los indicadores numéricos mediante un acoplamiento magnético. La carátula de lectura, sellada herméticamente, deberá ofrecer una alta resolución.

Si el sistema cuenta con un regulador externo, este deberá estar precintado y protegido contra manipulaciones no autorizadas. Los siguientes datos, que deberán ser proporcionados por el fabricante, se suministrarán con el equipo:

- Calibre del contador.
- Temperatura máxima del fluido.
- Caudales: en servicio continuo, máximo (durante algunos minutos), mínimo (con precisión mínima del 5% y en arranque)
- Indicación mínima de la esfera.
- Capacidad máxima de totalización.

- Presión máxima de trabajo.
- Dimensiones.
- Diámetro y tipo de las conexiones.
- Pérdida de carga en función del caudal.

La medición de caudales de líquidos se realizará mediante dispositivos como turbinas, caudalímetros electromagnéticos, medidores de desplazamiento positivo o métodos gravimétricos, garantizando en todos los casos una exactitud igual o superior a $\pm 3 \%$.

- Medida de la energía térmica

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

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

El microprocesador podrá alimentarse a través de la red eléctrica o mediante baterías, con una autonomía mínima de funcionamiento de 3 años.

El microprocesador calculará la energía multiplicando la diferencia entre ambas temperaturas por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración temporal de estos valores dará como resultado la cantidad de energía transferida.

3.3.10 ACUMULADORES

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

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

El depósito se fabricará conforme a lo establecido en el Reglamento de Aparatos a Presión, siguiendo la Instrucción Técnica Complementaria MJE-AP11, y será probado a una presión equivalente al doble de su presión de trabajo. Además, deberá contar con la homologación del Ministerio de Industria y Energía.

El acumulador dispondrá de una placa de identificación ubicada en un lugar claramente visible, en la que figurarán, grabados de forma indeleble, los siguientes datos:

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

Los depósitos se suministrarán con todas las bocas necesarias ya soldadas, antes de que se realice el tratamiento de protección interior.

A efectos del presente pliego, podrán emplearse depósitos que cumplan con las siguientes características y tratamientos:

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

Cuando el intercambiador de calor forme parte integrante del acumulador solar, se ubicará en la zona inferior del mismo y podrá ser de tipo sumergido o de doble envolvente. El intercambiador sumergido podrá adoptar la forma de serpentín o de haz tubular.

3.3.11 INTERCAMBIADOR DE CALOR

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

Cada intercambiador dispondrá de una placa identificativa ubicada en un lugar visible, grabada con caracteres permanentes, en la que figurarán los siguientes datos:

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

3.4 Provisión del material

Los equipos y materiales empleados en la instalación deberán pertenecer a fabricantes de reconocido prestigio y, cuando sea exigible, contar con la certificación oficial correspondiente, con el fin de asegurar las mayores cotas de fiabilidad.

Se debe disponer de un área específica, acondicionada y protegida, para el almacenamiento temporal de todos los elementos y suministros de la obra, hasta que sean incorporados al montaje.

Los captadores solares se entregarán paletizados sobre una estructura de madera apta para su manipulación con equipo de carga tipo carretilla elevadora. En caso de que los captadores deban permanecer desembalados en el exterior, se orientarán con una inclinación no inferior a 20° ni superior a 80°.

3.5 Condiciones de montaje

El montaje y la ejecución de la obra deberán realizarse respetando íntegramente las especificaciones, instrucciones y guías técnicas suministradas por los fabricantes de los materiales, equipos y componentes utilizados. Estas indicaciones serán de obligado seguimiento para asegurar la adecuada instalación, conexión y puesta en marcha de todos los elementos del sistema.

Cada fase de la obra se desarrollará de acuerdo con los estándares técnicos y las prácticas profesionales establecidas en el sector, empleando métodos que aseguren un nivel elevado de calidad en la instalación. Además, se implementarán las medidas precisas para garantizar un funcionamiento continuo, seguro y eficiente de toda la instalación, reduciendo al mínimo el riesgo de incidencias, fallos o disminuciones en el rendimiento.

3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción

- General

La instalación se considera finalizada una vez se hace entrega al promotor o usuario, dando inicio tanto al periodo de utilización como al de mantenimiento. Para proceder a la recepción oficial, deberá completarse no solo el montaje integral del sistema, sino también las pruebas, ajustes y puesta en marcha establecidos en la documentación técnica.

El instalador asumirá la responsabilidad de ejecutar las pruebas funcionales, garantizar el correcto funcionamiento de la instalación y mantener su estado óptimo hasta el momento de la entrega.

La memoria de diseño incluirá un listado detallado de las pruebas a realizar. En el documento de Control de Ejecución se registrarán las pruebas parciales, finales y funcionales llevadas a cabo, junto con la fecha de realización, los resultados obtenidos y el nivel de cumplimiento respecto a lo previsto. Para efectos de recepción, se entenderá que la instalación funciona correctamente cuando cumpla, como mínimo, con las pruebas parciales descritas en este capítulo.

- Pruebas parciales

Se realizará una verificación de los materiales en el momento de su llegada a obra, antes de dar inicio a cualquier prueba.

Durante la ejecución de la instalación, todos los tramos de tubería, conexiones o componentes que vayan a quedar embebidos o tapados deberán quedar expuestos para su inspección, y su montaje deberá recibir una aprobación expresa antes de proceder a su ocultación.

Asimismo, se revisarán los soportes de tubería empleados, los diámetros, el trazado y las pendientes de las conducciones, la continuidad del aislamiento térmico, entre otros aspectos relevantes.

- Pruebas de equipos

Los materiales y componentes deberán entregarse en obra con su correspondiente Certificado de Conformidad Industrial, que garantice el cumplimiento de la normativa vigente. Durante la recepción se verificará que se ajustan a las especificaciones del proyecto y a sus características visibles.

- Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas

Todas las redes que conduzcan fluidos portadores deberán someterse a ensayos hidrostáticos para comprobar su estanqueidad antes de ser cubiertas por elementos de obra, relleno o aislamiento. Las pruebas podrán realizarse según lo establecido en la norma UNE-EN 14336:2005, en función del tipo de fluido transportado.

- Pruebas de libre dilatación

Superadas satisfactoriamente las pruebas previas de las redes de tuberías y verificado el correcto ajuste de los elementos de seguridad mediante ensayo hidrostático, las instalaciones con captadores solares se elevarán hasta la temperatura de estancamiento definida por dichos elementos de seguridad, previa desactivación de los sistemas de regulación automática.

Durante el proceso de enfriamiento de la instalación, y una vez finalizado, se inspeccionará visualmente que no se hayan producido deformaciones significativas en ningún componente o tramo de tubería, y que el sistema de expansión haya operado de manera adecuada.

- Pruebas finales

Las pruebas finales permitirán asegurar que la instalación cumple con los requisitos de calidad, fiabilidad y seguridad establecidos en el proyecto.

Se aceptarán como válidas las pruebas finales que se realicen conforme a los procedimientos descritos en la norma UNE-EN 12599.

Los ensayos de libre dilatación y las pruebas finales del sistema solar se efectuarán en un día soleado y sin consumo de energía (sin demanda).

En la instalación solar se realizará una prueba de seguridad en condiciones de estancamiento del circuito primario, la cual se llevará a cabo con el circuito lleno y la bomba de circulación detenida, cuando la radiación incidente sobre los captadores supere el 80 % del nivel máximo de irradiación definido por el proyectista, manteniendo esta situación durante al menos una hora.

- Ajustes y equilibrado

El sistema solar deberá ajustarse a los valores previstos en el proyecto, dentro de los márgenes de tolerancia permitidos. Este ajuste se realizará siguiendo lo establecido en la Norma UNE 100.010 (partes 1, 2 y 3), denominada “Climatización. Pruebas de ajuste y equilibrado”, cuyos procedimientos se adaptarán a las características particulares de cada instalación o sistema.

- Sistemas de distribución de agua

Se verificará que el fluido anticongelante presente en los circuitos expuestos a bajas temperaturas cumple con las especificaciones definidas en el proyecto.

Cada bomba, de la cual se dispondrá de su curva característica, deberá ajustarse previamente al caudal de diseño antes de proceder al equilibrado de los circuitos.

De cada circuito hidráulico se determinarán el caudal nominal y la presión, así como los caudales de cada uno de sus ramales.

Los distintos ramales, o los dispositivos de regulación instalados en ellos, se equilibrarán para alcanzar el caudal de diseño. Se confirmará el correcto equilibrado hidráulico de cada ramal utilizando el método establecido en el proyecto.

De cada intercambiador de calor se conocerá la potencia, temperatura y caudales de diseño, ajustando estos últimos a los valores proyectados que circulen por el equipo.

Si existen varios grupos de captadores solares en el circuito primario del subsistema solar, se comprobará el adecuado equilibrado hidráulico entre los diferentes ramales de la instalación, siguiendo el procedimiento definido en el proyecto.

Se verificará el funcionamiento del subsistema solar en condiciones de estancamiento, así como su retorno automático a las condiciones normales de operación, sin intervención del usuario y cumpliendo los requisitos especificados en el proyecto.

- Control automático

Se configurarán todos los parámetros del sistema de control automático según los valores de diseño establecidos en el proyecto, y se verificará el correcto funcionamiento de todos los elementos que componen dicho sistema de control.

- Recepción provisional

La finalidad de la recepción es verificar que la instalación cumple con los servicios contratados y que, tanto cada uno de sus componentes por separado como el conjunto en su totalidad, se ajustan a lo especificado en el proyecto.

Una vez realizadas las pruebas funcionales con resultados satisfactorios, se llevará a cabo el acto de Recepción Provisional de la instalación por parte del cliente, considerándose con ello finalizado el montaje del sistema.

Dicho acto se formalizará mediante un acta firmada por todos los intervinientes, en la que se acredite la entrega y conformidad de la documentación asociada. Como mínimo, la documentación entregada deberá incluir:

- Una memoria técnica descriptiva de la instalación, que incluya las bases de proyecto y los criterios técnicos adoptados para su diseño y ejecución.
- Una copia reproducible de los planos definitivos, que contenga al menos los esquemas funcionales de todas las instalaciones, los planos detallados de la sala de máquinas y los planos de plantas con el trazado de las conducciones y la ubicación de las unidades terminales.
- Un listado completo de materiales y equipos utilizados, especificando fabricante, marca, modelo y características operativas.
- Las fichas de resultados de las pruebas parciales y finales realizadas.
- Un manual de operación y mantenimiento de los equipos principales de la instalación.
- Recepción definitiva.

A partir del acta de recepción provisional, el cliente podrá y deberá comunicar cualquier anomalía detectada en el funcionamiento de la instalación.

Una vez transcurrido el plazo establecido desde dicha recepción provisional, esta se convertirá automáticamente en Recepción Definitiva. A partir de este momento comenzará a regir el período de garantía contractual de la instalación.

3.7 Mantenimiento

Se establecen tres niveles de intervención para abarcar todas las actividades requeridas durante el ciclo de vida de la instalación, con el objetivo de garantizar su operatividad, incrementar su confiabilidad y extender su período de servicio útil:

- Vigilancia.
 - Mantenimiento preventivo.
 - Mantenimiento correctivo.
-
- Vigilancia

El programa de supervisión se centra en aquellas actividades que permiten constatar que los parámetros de operación de la instalación se mantienen dentro de los rangos adecuados.

Consiste en un seguimiento básico de las variables funcionales clave, con el fin de comprobar que el sistema funciona de manera correcta.

Puede ser ejecutado directamente por el usuario final.

- Mantenimiento preventivo

El programa de mantenimiento debe contemplar todas las tareas necesarias para asegurar el correcto funcionamiento del sistema a lo largo de su vida útil.

El mantenimiento preventivo incluirá operaciones de inspección visual, comprobación de actuadores y otras actividades, las cuales, aplicadas periódicamente, permitirán conservar las condiciones operativas, el rendimiento, la protección y la durabilidad de la instalación dentro de márgenes aceptables.

Como mínimo, el mantenimiento preventivo requerirá una revisión anual para instalaciones cuya superficie de captación sea inferior a 20 m², y una revisión semestral para aquellas con un área igual o superior a 20 m².

- Mantenimiento correctivo

Las tareas de mantenimiento correctivo no son susceptibles de planificación previa, ya que responden a incidencias imprevistas que pueden surgir durante el funcionamiento normal de la instalación. Como su

propio nombre indica, este tipo de actuaciones se realizan con el objetivo de corregir averías, defectos o anomalías que se manifiestan durante la explotación del sistema.

No obstante, resulta aconsejable documentar cada una de estas intervenciones mediante la elaboración de un informe individualizado. Dicho registro deberá incluir información detallada sobre el elemento afectado, las causas probables que originaron la incidencia, las acciones llevadas a cabo para su reparación o corrección, así como la fecha de la intervención y la identificación y firma del técnico encargado de la misma. Esta documentación permitirá un adecuado seguimiento del historial de la instalación y facilitará futuras labores de mantenimiento.

4. MEDICIONES Y PRESUPUESTO

1. Sistema de Captación

Nº Orden	Concepto	Cantidad(ud)	Precio (€/ud)	Precio (€)
1.1	Captador Solar, Solaria-2.1 AL S8 o similar con estas características: A = 1.87 m ² ; Dim: 1900 x 1000 x 90 mm Peso=36kg; $\eta_o=0.75$; $a_1=3.391 \text{ W/m}^2\text{k}$ $a_2= 0.008 \text{ W/m}^2\text{k}$; $k_{50}=0.86$; $M_p= 45 \text{ l/hm}^2$; $\Delta P= 0.126 \text{ kPa}$	110	641.00	70510.00
1.2	Estructura soporte de captador, estructura terraza plana 5 x 2.1, código 979010450, o similar Soporte para 6 captadores 2.1	22	775.00	17050.00
1.3	Kit de conexión hidráulica Solaria para batería de captadores, incluyendo llaves de corte, purgador automático y válvula de seguridad	2	115.00	2530.00
1.4	Racores de unión entre captadores Solaria o similar	176	6.50	1144.00
1.5	Aerothermo Termicol modelo 705D I061M, o similar. Que disipa 61 kW, el cual trabaja con una temperatura del fluido de 90°C y una temperatura de entrada de aire de 35°C.	1	1887.00	1887.00
TOTAL SISTEMA DE CAPTACIÓN				93121.00

Tabla 25. Presupuesto sistema de captación

2. Sistema de Acumulación

Nº Orden	Concepto	Cantidad(ud)	Precio (€/ud)	Precio (€)
2.1	Depósito vertical de LAPESA, modelo MV-6000IB o similar Capacidad: 6000 l Presión máxima: 6 bar	2	9097.00	18194.00
TOTAL SISTEMA DE ACUMULACIÓN				18194.00

Tabla 26. Presupuesto sistema de acumulación

3. Sistema de Intercambio

Nº Orden	Concepto	Cantidad(ud)	Precio (€/ud)	Precio (€)
3.1	Intercambiador de calor, Alfa Laval CB30-34M o similar Número de placas: 34 Material: acero inoxidable Área de intercambio: 313x137mm. Potencia: 108 kW. Caudal primario: 2.57 kg/s Caudal secundario: 2.57 kg/s Salto térmico en primario: 10 °C. Pérdida carga primario: 3 m.c.a. Salto térmico en secundario: 10 °C Pérdida carga secundario: 3 m.c.a.	1	837.00	837.00
TOTAL SISTEMA DE INTERCAMBIO				837.00

Tabla 27. Presupuesto sistema de intercambio

4. Sistema de Hidráulico

Nº Orden	Concepto	Cantidad(ud)	Precio (€/ud)	Precio (€)
4.1	Bombas Wilo, modelo Stratos MAXO 32/0,5-10 para los circuitos primario y secundario o similar Máxima presión de trabajo: 10 bar. Peso: 52,5 kg. Rango de temperatura: -10 a 110 °C. Temperatura ambiente max: 40 °C. Alimentación elect: 1-230V 50/60 HZ. Consumo de pot nominal: 206 W Para un caudal de 15.9 m3/h, altura equivalente 10.4 mca	4	1837.00	7348.00
4.2	Vaso de expansión 50 CMF, Ibiondo o similar Capacidad: 50 litros Temperatura máxima: 100 °C Temperatura mínima: - 10 °C	1	89.73	89.73
	Tuberías	Cantidad (m)	Precio (€/m)	
4.3	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (3/4") o similar	177.04	12.45	2204.15
4.4	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (1") o similar	73.71	16.10	1186.73
4.5	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (1-1/4") o similar	134.69	28.80	3879.07

4.6	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (1-1/2") o similar	47.43	38.20	1811.83
4.7	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (2") o similar	162.06	57.40	9302.24
4.8	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (2-1/2") o similar	40.12	81.60	3273.79
	Concepto	Cantidad(ud)	Precio (€/ud)	
4.9	Accesorios de Cobre para Soldar (Codos): Wieland (SANCO) (3/4") o similar	26	1.95	50.70
4.10	Accesorios de Cobre para Soldar (Codos): Wieland (SANCO) (1") o similar	1	3.65	3.65
4.11	Accesorios de Cobre para Soldar (Codos): Wieland (SANCO) (1-1/4") o similar	8	9.80	78.40
4.12	Accesorios de Cobre para Soldar (Codos): Wieland (SANCO) (1-1/2") o similar	1	17.40	17.40
4.13	Accesorios de Cobre para Soldar (Codos): Wieland (SANCO) (2") o similar	10	33.50	335.00
4.14	Accesorios de Cobre para Soldar (Codos): Wieland (SANCO) (2-1/2") o similar	24	58.20	1396.8
4.15	Accesorios de Cobre para Soldar (Tes): Wieland (SANCO) (3/4") o similar	42	3.20	134.40
4.16	Accesorios de Cobre para Soldar (Tes): Wieland (SANCO) (1") o similar	10	5.95	59.50
4.17	Accesorios de Cobre para Soldar (Tes): Wieland (SANCO) (1-1/4") o similar	8	14.20	113.6
4.18	Accesorios de Cobre para Soldar (Tes): Wieland (SANCO) (1-1/2") o similar	6	25.80	154.8
4.19	Accesorios de Cobre para Soldar (Tes): Wieland (SANCO) (2") o similar	2	47.50	95.00
4.20	Accesorios de Cobre para Soldar (Tes): Wieland (SANCO) (2-1/2") o similar	4	76.30	305.20
4.21	Accesorios de Cobre para Soldar (Enlace): Wieland (SANCO) (3/4") o similar	44	7.80	343.20
4.22	Accesorios de Cobre para Soldar (Enlace): Wieland (SANCO) (2-1/2") o similar	25	92.90	2322.50
4.23	Grifo manométrico de latón de 3 vías con brida para manómetro, conexión 1/2", marca Salvador Escoda o similar.	9	18.50	166.50

4.24	Válvula de equilibrado estático con medidor de caudal, diámetro 3/4". Salvador Escoda o similar.	22	68.00	1496.00
4.25	Válvula de retención de disco (antirretorno) latón, diámetro 1-1/4". Salvador Escoda o similar.	2	15.50	31.00
4.26	Válvula de esfera latón PN-25 para soldar/roscar, diámetro 1-1/4". Bombas e intercambiador. Salvador Escoda o similar	8	29.25	234.00
4.27	Válvula de esfera latón PN-25 para soldar/roscar, diámetro 2". Aislamiento depósitos. Salvador Escoda o similar	4	54.85	219.40
4.28	Válvula de esfera latón PN-25 para soldar/roscar, diámetro 2-1/2". Corte general. Salvador Escoda o similar	2	131.32	262.70
4.29	Filtro en "Y" Salvador Escoda, cuerpo en latón/fundición, tamiz de acero inox, diámetro DN65 (2-1/2") o similar.	1	82.50	82.50
4.30	Grupo de llenado automático IVAR MUL 11 o similar, con manómetro incorporado, válvula de retención y filtro, conexión 1/2" - 3/4" o similar.	1	115.00	115.00
4.31	Bomba de llenado manual/eléctrica (tipo bomba de pruebas) o similar.	1	145.00	145.00
4.32	Válvula de corte de esfera 1/2" para independizar el llenado o similar.	1	6.40	6.40
	Cantidad (m)	Cantidad (m)	Precio (€/m)	
4.33	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (3/4") o similar	177.04	7.95	1407.47
4.34	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (1") o similar	73.71	8.90	656.02
4.35	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (1-1/4") o similar	134.69	10.40	1400.77
4.36	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (1-1/2") o similar	47.43	12.30	583.39
4.37	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (2") o similar	162.06	16.25	2633.47

4.48	Tubería de Cobre Rígida: Wieland (SANCO) (2-1/2") o similar	40.12	21.10	846.53
TOTAL SISTEMA HIDRÁULICO				44791.84

Tabla 28. Presupuesto sistema hidráulico

5. Sistema de Control

Nº Orden	Concepto	Cantidad(ud)	Precio (€/ud)	Precio (€)
5.1	Centralita solar digital de alto rendimiento , modelo tipo Resol DeltaSol o Sorel LTDC con gestión de 2 campos de captadores y 2 acumuladores. Incluye 6 entradas de temperatura. O similar	1	455.00	455.00
5.2	Sonda de temperatura PT1000 (alta precisión), con cable de silicona para captadores Solaria y vaina de inmersión para acumuladores. O similar	2	23.90	47.80
5.3	Termómetro bimetálico con vaina, Salvador Escoda o similar, escala 0-120°C. O similar	55	15.20	836.00
5.4	Manómetro de escala 0-10 bar, marca Salvador Escoda o similar, para control de presión en primario y secundario. O similar	9	12.50	112.50
TOTAL SISTEMA DE CONTROL				1451.3

Tabla 29. Presupuesto sistema de control

TOTAL SISTEMA DE CAPTACIÓN	93121.00
TOTAL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	18194.00
TOTAL SISTEMA DE INTERCAMBIO	837.00
TOTAL SISTEMA HIDRÁULICO	44791.84
TOTAL SISTEMA DE CONTROL	1451.3
TOTAL (€)	158395.14
BENEFICIO INDUSTRIAL (10%)	15839.51
IVA (21%)	33262.97
PRESUPUESTO TOTAL (€)	207497.63

Tabla 30. Presupuesto total

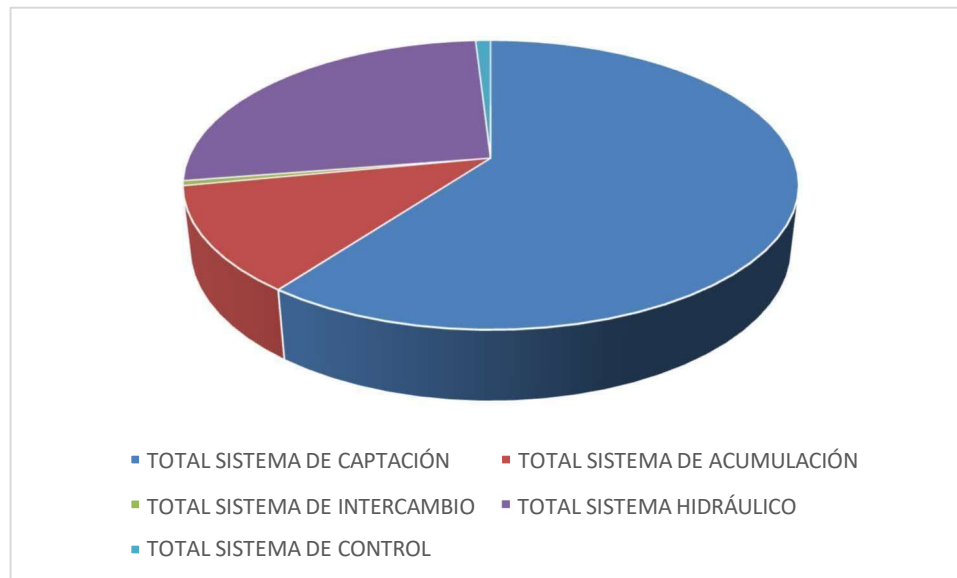
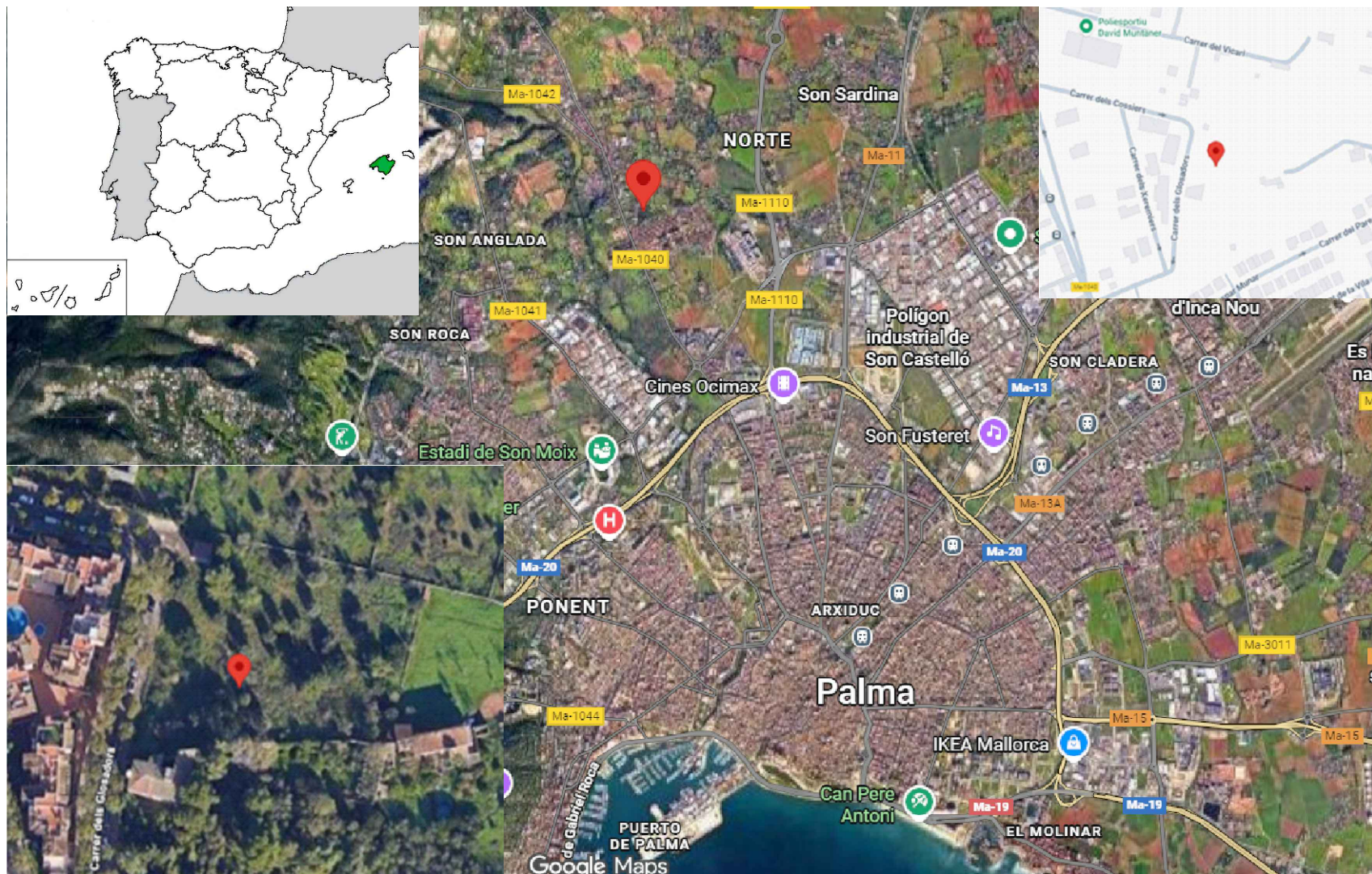


Figura 30. Peso de cada subsistema en el presupuesto

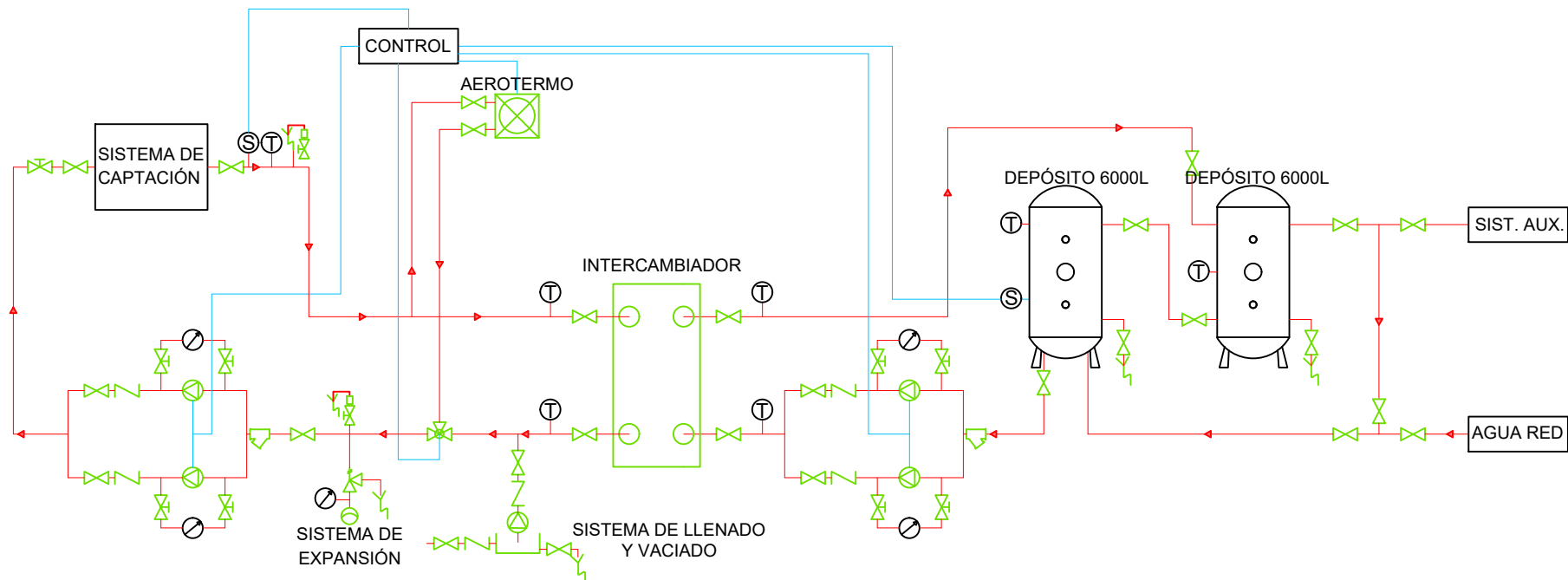
Por tanto, los resultados finales del presupuesto son:

PRESUPUESTO TOTAL (€)	207497.63
RATIO (€ total/m2 superficie Captación)	1008.74

PLANOS



 FIRMA Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA FIRMA	ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UNA RESIDENCIA DE ANCIANOS				
	ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	SIN ESCALA	DICIEMBRE 2025	MLG	TFG - ACS	---
	PLANO DE UBICACIÓN				PLANO Nº
1					
Fdo. Marco Lozano González					

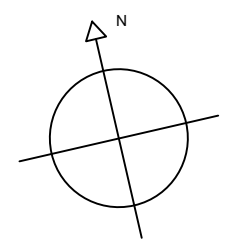
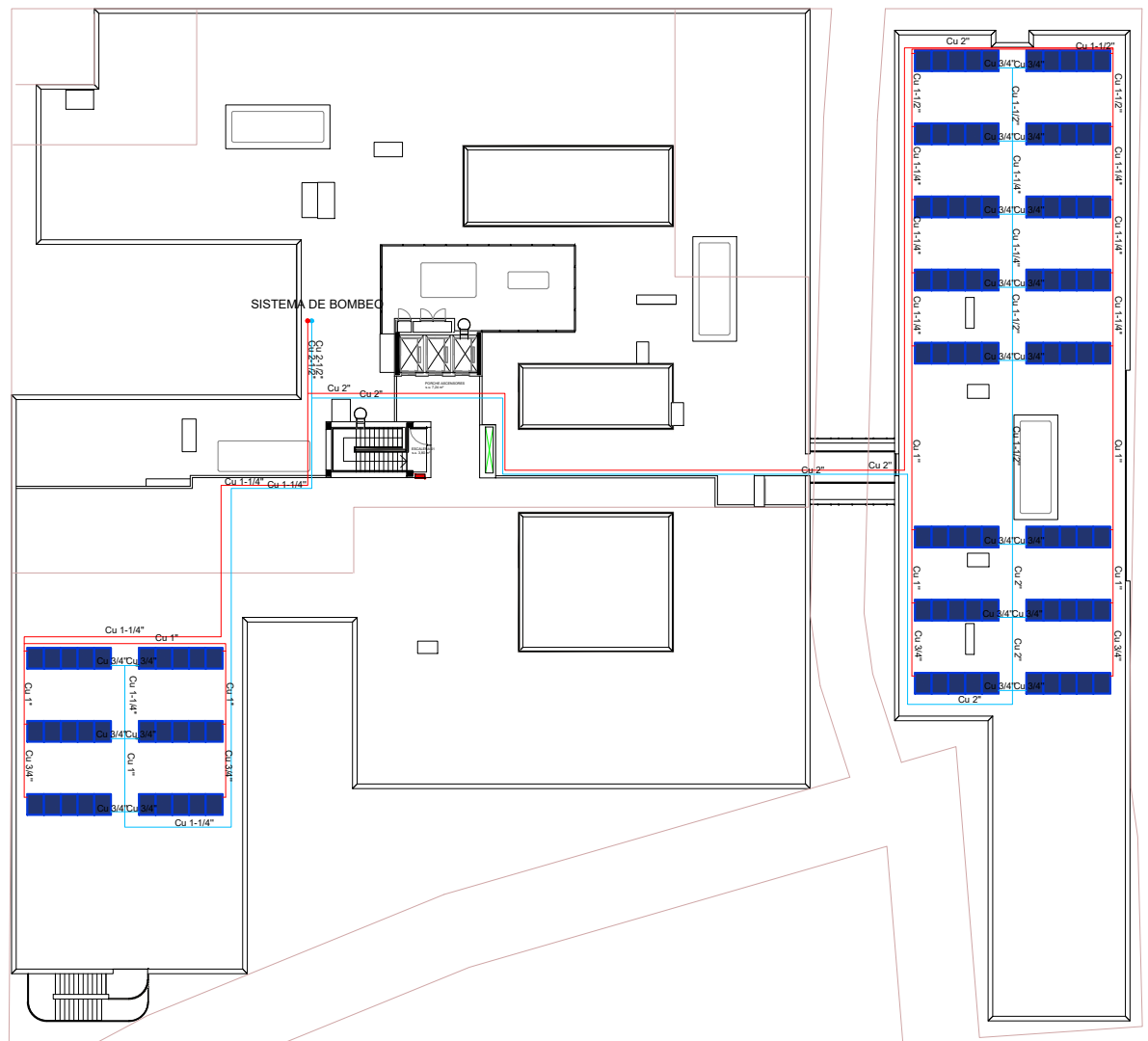


LEYENDA

-  VÁLVULA DE CORTE
-  VÁLVULA DE RETENCIÓN
-  VÁLVULA DE EQUILIBRADO
-  VÁLVULA DE ASIENTO
-  VÁLVULA DE SEGURIDAD
-  VÁLVULA DE TRES VÍAS PROPORCIONAL
-  FILTRO DE MAYA EN "Y"
-  UNIDAD DE DESAGÜE
-  TERMÓMETRO
-  Sonda de temperatura
-  MANÓMETRO DE ESFERA EN BAÑO GUCERINA
-  PURGADOR AUTOMÁTICO Y MANUAL
-  BOMBA
-  LINEAS DE CONTROL
-  TUBERÍA DE AGUA CALIENTE

 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA FIRMA	ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UNA RESIDENCIA DE ANCIANOS				
	ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	SIN ESCALA	DICIEMBRE 2025	MLG	TFG - ACS	----
	ESQUEMA DE PRINCIPIO				PLANO Nº
					2

Fdo. Marco Lozano González



LEYENDA

 TUBERÍA DE IMPULSIÓN DE COBRE

 TUBERÍA DE RETORNO DE COBRE



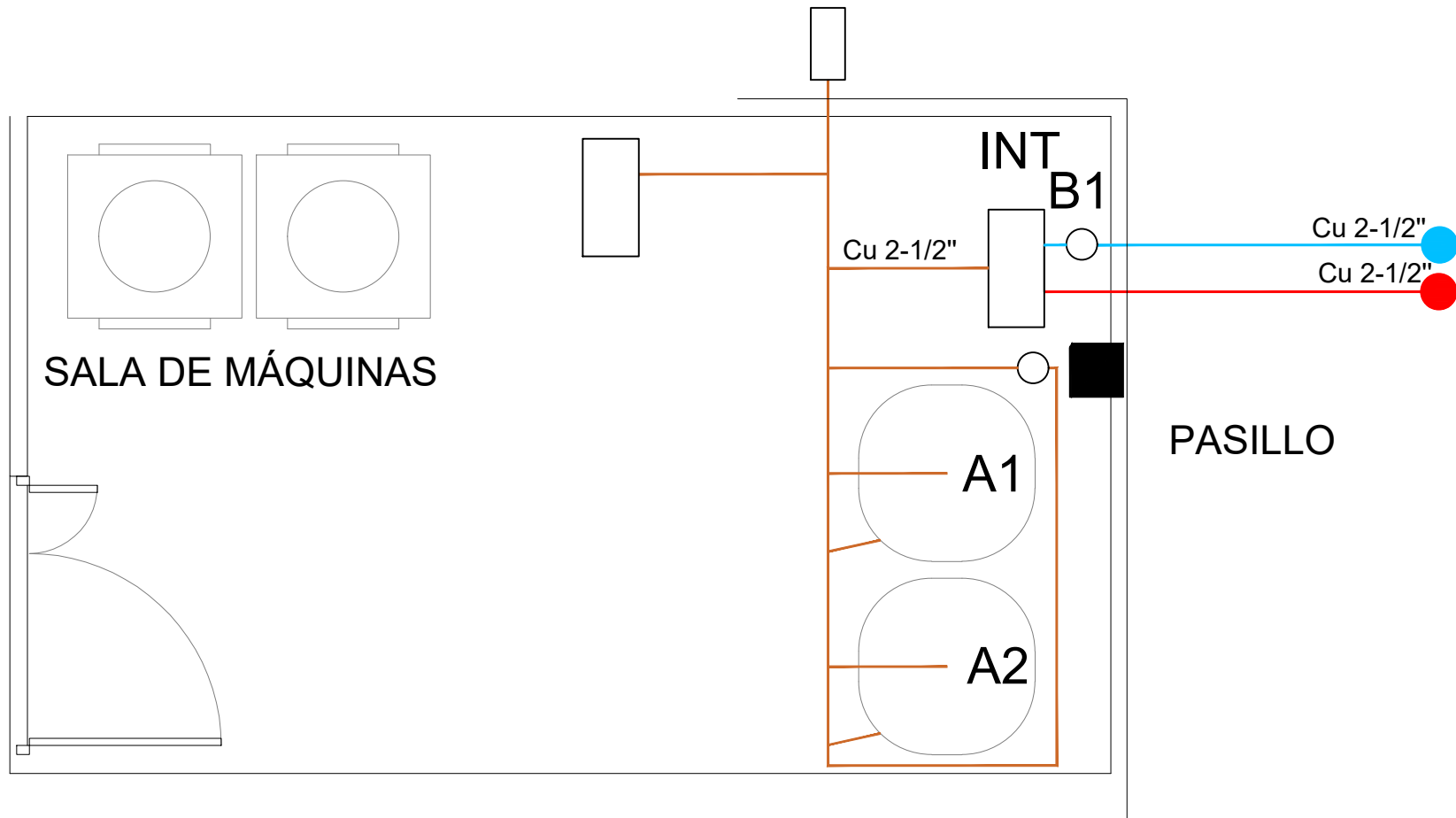
FIRMA
Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA
FIRMA

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

ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
1:200 PARA A3	DICIEMBRE 2025	MLG	TFG - ACS	---
CAPATADORES EN CUBIERTA				PLANO Nº

3

Fdo. Merco Lozano González



LEYENDA

- ▶ TUBERÍA DE IMPULSIÓN DE COBRE
- ▶ TUBERÍA DE RETORNO DE COBRE
- TUBERÍA DE CIRCUITO SECUNDARIO
- A X DEPÓSITO DE ACUMULACIÓN
- B X BOMBAS DEL PRIMARIO Y SECUNDARIO
- INT INTERCAMBIADOR DE CALOR

 FIRMA Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA	ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UNA RESIDENCIA DE ANCIANOS				
	ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	SIN ESCALA	DICIEMBRE 2025	MLG	TFG - ACS	---
FIRMA	CIRCUITOS EN SALA DE MÁQUINAS				PLANO Nº
Fdo. Marco Lozano González					4