

Trabajo de Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Instalación de energía solar térmica para calentamiento  
de agua en una residencia.

Autor: Antonio Rojas Rodríguez

Tutor: José Julio Guerra Macho

Departamento Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

# **Instalación de energía solar térmica para calentamiento de agua en una residencia**

Autor:

Antonio Rojas Rodríguez

Tutor:

D. José Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

Dep. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Grado: Instalación de energía solar térmica para producción de ACS en una residencia estudiantil.

Autor: Antonio Rojas Rodríguez

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019



*A mi familia por haber hecho posible esta travesía.*

*A mis compañeros con los que tanto he disfrutado y aprendido.*

*A mi tutor, Pepe, que tanto me ha enseñado.*

*Gracias de corazón.*

*Antonio Rojas,  
Sevilla, 2019.*



# RESUMEN

Este trabajo de fin de grado estudia el aprovechamiento, dimensionado y viabilidad de una instalación de captación de energía solar que tiene como fin la generación de agua caliente sanitaria (ACS) para consumo humano, concretamente en la residencia de estudiantes de Pino Montano, Sevilla.

Dicho estudio consta de cinco partes: Memoria descriptiva, memoria de cálculo, pliego de condiciones técnicas y administrativas, presupuesto y planos del proyecto. Al inicio de cada parte se expone de manera breve el contenido de las mismas.

Para llevar a cabo el siguiente estudio, se ha tenido en cuenta en todo momento el cumplimiento de la normativa vigente aplicable a este tipo de instalaciones, principalmente el RITE y el CTE. Añadir también, que el estudio se ha enfocado de la manera más eficiente posible, en todos sus ámbitos: técnico, social, económico y ambiental.

Para la simulación se ha usado el programa llamado CHEQ4, desarrollado en conjunto por el IDAE y la ASIT para facilitar a los participantes del sector de la energía solar térmica de baja temperatura a evaluar posibles instalaciones y cumplir en todo momento con las exigencias de ahorro de energía recogidas en el CTE.



# ABSTRACT

This thesis studies the use, size and viability of a solar thermal system which purpose is to generate domestic hot water (DHW) for human consumption, specifically at a students residence in Pino Montano, Seville.

The named study consists of five parts: descriptive memory, calculations, technical and administrative requirements, budget and plans and designs. Each of one is briefly explained later.

In order to achieve the study, the current Spanish regulations have been taken into consideration in every aspect of the project, being the most notorious the RITE and the CTE. They study has also been sharpened to be the most efficient in every potential aspect: technical, social, economic and environmental.

The program used for the simulations made is called CHEQ4, developed in tandem by IDAE and ASIT, two spanish entities in order to provide a useful tool for everyone linked to the solar thermal energy sector and fulfill every requirement made by the existing regulations concerning energy savings.



# Índice

<b>1. MEMORIA DESCRIPTIVA .....</b>	<b>18</b>
1.1. OBJETO DEL PROYECTO .....	18
1.2. ANTECEDENTES .....	18
1.3. MÉTODO DE CÁLCULO .....	19
1.4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO .....	23
1.4.1. <i>Sistema auxiliar existente</i> .....	25
1.5. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN .....	27
1.5.1. FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN .....	29
1.5.1.1. <i>Captador solar plano</i> .....	29
1.5.1.2. <i>Depósito interacumulador</i> .....	30
1.5.1.3. <i>Bomba</i> .....	31
1.5.1.4. <i>Vaso expansión</i> .....	31
1.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS .....	31
1.6.1. <i>Captador solar</i> .....	31
1.6.2. <i>Interacumulador</i> .....	32
1.6.3. <i>Bomba de circulación</i> .....	34
1.6.4. <i>Vaso de expansión</i> .....	34
1.6.5. <i>Sistema de control</i> .....	35
1.7. NORMATIVA .....	35
1.7.1. <i>CTE HE-4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria</i> .....	36
1.7.2. <i>RITE: Reglamento Instalaciones Térmicas en la Edificación</i> .....	37
1.7.3. <i>Normas UNE</i> .....	39
1.8. BIBLIOGRAFÍA .....	39
<b>2. MEMORIA DE CÁLCULO .....</b>	<b>43</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	43
2.2. DATOS DE PARTIDA .....	43
2.2.1. <i>Ubicación</i> .....	43
2.2.2. <i>Datos climatológicos</i> .....	43
2.3. CÁLCULO DE LA DEMANDA .....	45
2.3.1. <i>Cálculo de la demanda de ACS</i> .....	45
2.3.2. <i>Cálculo de la demanda energética</i> .....	46
2.4. CÁLCULO SUPERFICIE DE CAPTACIÓN Y VOLUMEN DE ACUMULACIÓN .....	48
2.5. CÁLCULO DE LA DISTANCIA ENTRE CAPTADORES .....	51
2.6. CÁLCULO DE LA RED DE TUBERÍAS .....	52
2.6.1. <i>Porcentaje de glicol en mezcla</i> .....	53
2.6.2. <i>Dimensionado de las tuberías</i> .....	54
2.6.3. <i>Dimensionado de la bomba</i> .....	60
2.6.4. <i>Dimensionado del vaso de expansión</i> .....	61
2.6.5. <i>Cálculo de aislamientos</i> .....	63
2.6.6. <i>Selección de accesorios</i> .....	64
ANEXO I: INFORME RESULTADOS CHEQ4 .....	67
<b>3. PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>71</b>
3.1. OBJETO .....	71
3.2. NORMATIVA APLICABLE .....	71
3.3. CONDICIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS .....	72
3.3.1. <i>Captadores solares</i> .....	72
3.3.2. <i>Tuberías</i> .....	73
3.3.3. <i>Accesorios</i> .....	73
3.3.4. <i>Valvulería</i> .....	74
3.3.5. <i>Aislamiento</i> .....	75
3.3.6. <i>Interacumuladores</i> .....	76
3.3.7. <i>Vasos de expansión</i> .....	76

3.3.8.	<i>Bombas</i>	77
3.3.9.	<i>Sistema de control</i>	78
3.3.10.	<i>Sistemas de medida</i>	78
3.4.	PROVISIÓN DE MATERIAL	79
3.5.	CONDICIONES DE MONTAJE	79
3.6.	PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES	80
3.7.	PUESTA EN MARCHA, PRUEBAS Y RECEPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	80
3.7.1.	<i>Pruebas parciales</i>	80
3.7.2.	<i>Pruebas finales</i>	81
3.7.3.	<i>Equilibrado y ajustes</i>	81
3.7.4.	<i>Recepción</i>	82
3.8.	MANTENIMIENTO	83
3.8.1.	<i>Vigilancia</i>	83
3.8.2.	<i>Mantenimiento preventivo</i>	83
3.8.3.	<i>Mantenimiento correctivo</i>	85
<b>4.</b>	<b>MEDICIONES Y PRESUPUESTO</b>	<b>89</b>
4.1.	SISTEMA DE CAPTACIÓN	89
4.2.	SISTEMA DE ACUMULACIÓN	89
4.3.	SISTEMA HIDRÁULICO	90
4.4.	SISTEMA DE CONTROL	91
4.5.	AISLAMIENTO	91
4.6.	PRESUPUESTO TOTAL	92
<b>5.</b>	<b>PLANOS</b>	<b>2</b>



## Índice de Figuras:

Figura 1: Localización. CHEQ4.....	19
Figura 2: Configuración CHEQ4 .....	20
Figura 3: Demanda CHEQ4 .....	21
Figura 4: Solar/Apoyo CHEQ4 .....	21
Figura 5: Otros parámetros CHEQ4 .....	22
Figura 6: Resultados CHEQ4.....	23
Figura 7: Emplazamiento de la Residencia Pino Montano .....	24
Figura 8: Vista aérea del edificio .....	24
Figura 9: Vista aérea ampliada.....	25
Figura 10: Esquema caldera auxiliar .....	25
Figura 11: Acumuladores auxiliares .....	26
Figura 12: Esquema de principio .....	29
Figura 13: Esquema captador solar plano .....	29
Figura 14: Depósito interacumulador.....	30
Figura 15: Bomba circulación.....	31
Figura 16: Vasos de expansión.....	31
Figura 17: Detalle captador el elegido .....	32
Figura 18: Esquema de conexiones del interacumulador .....	33
Figura 19: Imagen de la bomba.....	34
Figura 20: Sistema de control.....	35
Figura 21: Zonas climáticas en España .....	44
Figura 22: Demanda energética mensual .....	47
Figura 23: Variación de la demanda según el número de captadores .....	48
Figura 24: Variación de la demanda según el volumen de acumulación .....	49
Figura 25: Variación de demanda según el número de captadores conectados en serie .....	50
Figura 26: Variación demanda para distinto número de captadores en serie .....	51
Figura 27: Distancia mínima entre filas de captadores, IDAE.....	52
Figura 28: Gráfica de temperaturas máximas y mínimas registradas AEMET .....	53
Figura 29: Porcentaje de Glicol en agua según temperatura .....	54
Figura 30: Pérdida de presión del captador plano en función del caudal .....	57
Figura 31: Pérdida de carga en función del caudal .....	58
Figura 32: Curva de operación de la bomba.....	60
Figura 33: Presupuesto total instalación.....	92



## Índice de Tablas:

Tabla 1: Principales parámetros caldera auxiliar .....	26
Tabla 2: Datos acumulador auxiliar .....	27
Tabla 3: Principales parámetros captador .....	32
Tabla 4: Características técnicas interacumulador .....	33
Tabla 5: Características de la bomba escogida.....	34
Tabla 6: Características del vaso de expansión .....	35
Tabla 7: Contribución solar mínima.....	36
Tabla 8: Pérdidas admitidas por el CTE.....	37
Tabla 9: Espesor aislamiento interior edificio.....	38
Tabla 10: Espesor aislamiento exterior edificio .....	38
Tabla 11: Ubicación y datos meteorológicos principales.....	43
Tabla 12: Radiación media global diaria según zona .....	44
Tabla 13: Radiación, temperatura ambiente y de red. Media mensual. Sevilla .....	45
Tabla 14: Consumo estimado CTE HE4 .....	46
Tabla 15: Demanda energética mensual.....	47
Tabla 16: Parámetros ensayo captador.....	48
Tabla 17: Valores diseño escogidos y contribución solar .....	51
Tabla 18: Registro de temperaturas de AEMET .....	53
Tabla 19: Pérdida de presión para distintos diámetros y caudales .....	56
Tabla 20: Velocidad del fluido para distintos diámetros y caudales .....	56
Tabla 21: Equivalencias entre accesorios y distancias equivalentes .....	57
Tabla 22: Cálculo de pérdida de carga por tramos .....	58
Tabla 23: Pérdidas de carga por circuitos .....	59
Tabla 24: Resultados dimensionado y pérdida de carga .....	60
Tabla 25: Cálculo de volumen de fluido en las tuberías .....	61
Tabla 26: Espesores mínimos en interior de edificios.....	63
Tabla 27: Espesores mínimos en exterior de edificios .....	63
Tabla 28: Aislamiento de tuberías.....	64
Tabla 29: Plan de vigilancia de la instalación .....	83
Tabla 30: Mantenimiento sistemas de captación.....	84
Tabla 31: Mantenimiento sistemas de acumulación.....	84
Tabla 32: Mantenimiento sistema de intercambio .....	84
Tabla 33: Mantenimiento sistema de distribución .....	85
Tabla 34: Mantenimiento sistema control .....	85
Tabla 35: Mantenimiento sistema auxiliar .....	85
Tabla 36: Presupuesto total instalación.....	92



# GLOSARIO

- ACS: Agua Caliente Sanitaria
- RITE: Reglamento instalaciones térmicas en los edificios
- CTE: Código Técnico en la Edificación.
- IDAE: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía
- ASIT: Asociación Solar de la Industria Térmica
- DHW: Domestic hot wáter
- GEI: Gases de Efecto Invernadero
- HFC: Hidrofluorocarbono
- DB HE: Documento básico ahorro energía
- AEMET: Agencia estatal de meteorología
- DN: Diámetro nominal



# **MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

# 1. Memoria descriptiva

## 1.1. Objeto del proyecto

El objeto de este proyecto es el dimensionado y estudio de viabilidad tanto técnica como económica de una instalación de energía solar térmica cuyo fin es la producción de ACS en una residencia de estudiantes en el barrio sevillano de Pinomontano. Para lograr dicho fin se realizará un análisis histórico de las condiciones climatológicas de la zona y de la radiación solar recibida en la zona en los últimos años.

Además, para ajustar en todo lo posible la producción de energía con su consumo, se estudia la ocupación máxima y media del edificio durante el año, consiguiendo de esa forma una demanda orientativa de consumo de ACS a cubrir por la nueva instalación.

Por último, señalar que la integración de este tipo de instalaciones contribuye a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero de los edificios, aumentando de esta forma su eficiencia y reduciendo costes asociados al consumo de combustibles utilizados con fines energéticos, suplantando los mismos por el sol como principal aporte.

## 1.2. Antecedentes

Es evidente que en los tiempos actuales hay una preocupación general por el medio ambiente y su conservación, desde el protocolo de Kioto hasta los objetivos europeos de 2020. El primero es un acuerdo internacional cuyo fin es reducir considerablemente las emisiones de los principales GEI (gases de efecto invernadero), destacando entre ellos el dióxido de carbono, el metano y los HFC (hidrofluorocarbonos).

Los objetivos de Europa para el año 2020 son ambiciosos y prometedores: reducir las emisiones de GEI en un 20%, ahorrar en un 20% el consumo de energía y promover las energías renovables hasta llegar al 20% del total, todo esto partiendo de los datos energéticos del año 1990 de cada país.

Como la mayoría de producción de ACS se produce mediante el uso de calderas convencionales (mediante la combustión de metano u otros combustibles que generan GEI) o son de efecto Joule, calentando mediante una resistencia el agua, es visible el papel que juega la producción de ACS mediante el uso de energía solar.

Por último y no por ello menos importante es la nueva sección del CTE, en concreto la que trata sobre el ahorro de energía (DBHE). Dicho documento exige una eficiencia energética para los edificios de nueva construcción o para la rehabilitación de los ya existentes. En concreto la sección HE 4 “Contribución solar mínima de ACS” en la cual se marcan pautas para el diseño y construcción de instalaciones de captación, almacenamiento y uso de energía solar específicas para distintas demandas y emplazamientos del edificio.

A continuación, se listan los argumentos de mayor peso por los que la generación de ACS mediante la energía solar en una zona como es Andalucía es la mejor opción:

- Aprovechamiento de una zona climática privilegiada. En Andalucía, disponemos de la zona con más radiación solar anual de todo el País. Por ello se nos exige más aprovechamiento de la energía solar.

- Reducción de emisiones de GEI y disminución de la dependencia al precio de los combustibles fósiles, consiguiendo de esta forma una mayor estabilidad económica.
- Aumento de eficiencia energética intrínseca del edificio, al aprovechar de forma pasiva la energía del sol durante todo el año.
- Ahorro económico al reducir o eliminar el consumo de combustibles fósiles y de electricidad para producir ACS.
- Uso de energía renovable, contribuyendo a la conservación del planeta y el medio ambiente.

### 1.3. Método de cálculo

Para el cálculo del presente proyecto se ha utilizado una herramienta denominada CHEQ4. Creada, y disponible de forma gratuita, bajo los esfuerzos del IDAE y la ASIT, para fomentar la industria de la energía solar de baja temperatura. Dicha herramienta facilita enormemente los cálculos relacionados con el dimensionado de instalaciones de captadores solares para así asegurar el cumplimiento de la sección HE4 recogida bajo la exigencia básica en el CTE. Una de las ventajas del uso del CHEQ4 frente a otros métodos de cálculo como el f-chart es la posibilidad de elegir la configuración del sistema, además de su fácil y versátil manejo al poder variar múltiples datos y observar y estudiar las variaciones que se obtienen en términos de consumo y fracción solar cubierta.

A continuación, se muestran y se explican brevemente las distintas pestañas que componen la herramienta CHEQ4:

#### I. Localización:

En primer lugar, es necesario seleccionar la zona a estudio. El programa muestra los valores medios mensuales de la radiación, temperatura ambiente y temperatura de la red de agua. Además, muestra la zona climática a la que pertenece, su latitud y altura del municipio seleccionado. Véase Figura 1.

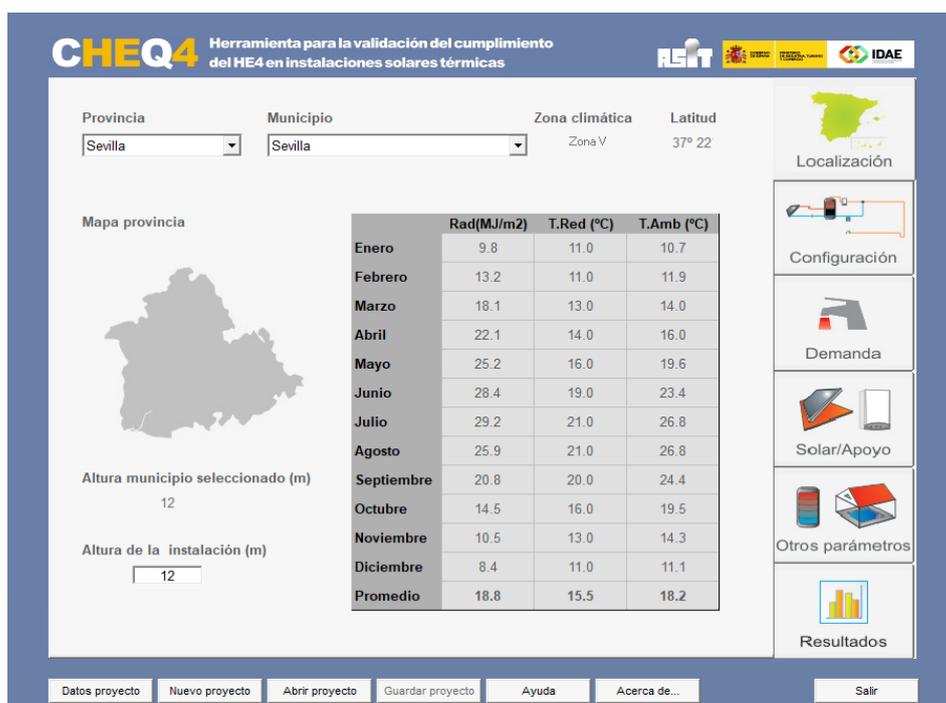


Figura 1: Localización. CHEQ4

## II. Configuración:

Tras haber elegido la localización de la instalación, se pasa a seleccionar la configuración de la misma. La herramienta recoge numerosas configuraciones distintas, discerniendo principalmente entre consumo único y múltiple. Véase Figura 2.

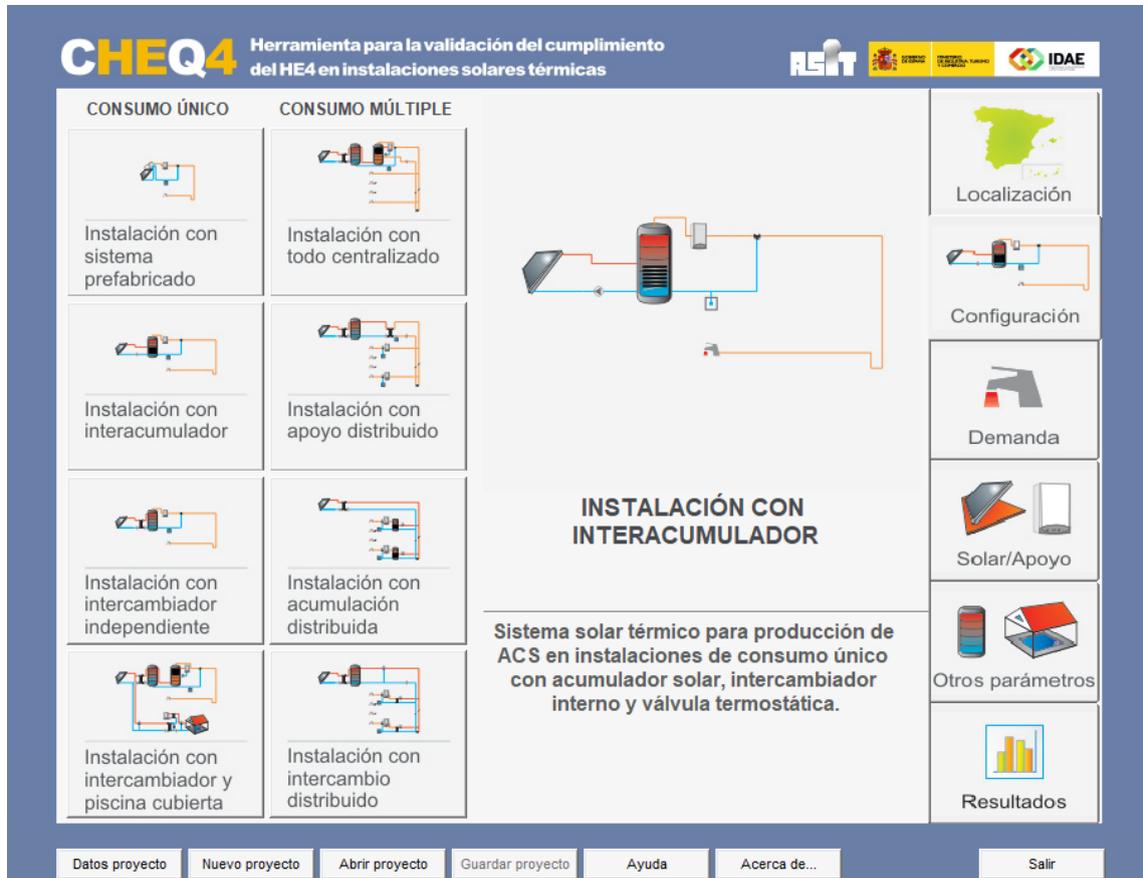


Figura 2: Configuración CHEQ4

## III. Demanda:

Lo siguiente es uno de los cálculos más importantes y que caracteriza la dimensión de la instalación de captadores, se trata de la demanda. Hay que seleccionar el tipo de edificio en el que se va a realizar el estudio, ya que, según el HE4 el consumo por personal varía principalmente según el tipo de aplicación que sea. También es importante la estimación de la ocupación del edificio a lo largo del año, esto es crítico para dictaminar si la futura instalación cumple o no con la normativa vigente. Véase Figura 3.

## IV. Solar/Apoyo:

Este apartado es de vital importancia ya que en él se selecciona el modelo, distribución, orientación, inclinación y pérdidas por sombra de los captadores. También se elige el tipo de aislantes y los metros de circuito primario y secundario que existen. Véase Figura 4.

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

ASIT

**CONSUMO ÚNICO**

Aplicación:

Número de personas:

Demanda calculada (l/día a 60 °C): 10.250

**CONSUMO MÚLTIPLE**

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo B	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo C	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo D	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		

Demanda calculada (l/día a 60 °C):

**CONSUMO TOTAL**

Otras demandas (l/día a 60°C):

Demanda total (l/día a 60°C): 10.250

**OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Jul	100	100	100	100	100	100
Aug	100	100	100	100	100	100
Sep	100	100	100	100	100	100
Oct	100	100	100	100	100	100
Nov	100	100	100	100	100	100
Dic	100	100	100	100	100	100

**CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA**

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

Figura 3: Demanda CHEQ4

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

ASIT

**CAPTADORES**

Empresa:

Marca/Modelo:

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

**Datos de ensayo**

Área (m2)	2,4
n0 (-)	0,813
a1 (W/m2K)	3,674
a2 (W/m2K2)	0,019
Qtest(l/hm2)	68,4
k50	0,85
Laboratorio	CENER
Certificación	NPS-3713

**CAMPO DE CAPTADORES**

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

Orientación (°):  Inclinación (°):  Área total captadores (m2): 180,00

**CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO**

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

Diám. tubería (mm):  Esp. aislante (mm):  Aislante:

**SISTEMA DE APOYO**

Tipo de sistema:

Tipo de combustible:

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

Figura 4: Solar/Apoyo CHEQ4

## V. Otros parámetros:

En esta pestaña es en la última en la que tendremos posibilidad de elegir algún dato o característica de la instalación. En ella se elige el volumen de acumulación con el que se va a trabajar y alguna de las características del circuito de distribución. Importante mencionar la restricción establecida por el HE4 para el volumen de acumulación, que es la siguiente:

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

Es decir, el cociente entre el volumen total de acumulación (medido en litros) y el área total de captación (medida en  $m^2$ ) no debe superar el valor de 180 ni ser inferior a 50.

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

**VOLUMEN DE ACUMULACIÓN**

Volumen total (l)

Vol/Área (l/m<sup>2</sup>) 55,56

**DISTRIBUCIÓN**

Long. circuito (m)

Diám. tubería (mm)

Esp. aislante (mm)  T. imp.(°C)

Aislante

**PISCINA CUBIERTA**

Altura (m)

Apertura diaria (h)

Superficie lámina (m<sup>2</sup>)

Humedad relativa (%)

Temp. ambiente (°C)

Temp. piscina (°C)

Renov. volumen día (%)

Ocupación (pers/m<sup>2</sup>)

**VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES**

Tipo A (l)  Tipo C (l)

Tipo B (l)  Tipo D (l)

Volumen total (l) 0 Vol/Área (l/m<sup>2</sup>)

**DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES**

Long. total (m)

Diám. tubería (mm)

Esp. aislante (mm)

Aislante

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

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

Figura 5: Otros parámetros CHEQ4

## VI. Resultados:

Por último, encontramos la pantalla de resultados. Esta una pestaña es solo de lectura, no pudiendo incluir ni modificar dato alguno. Los resultados que nos muestra la herramienta incluyen datos tanto gráficos como numéricos.

Entre los resultados numéricos destacan la fracción solar cubierta, la demanda (bruta y neta, la diferencia entre estas es que la demanda bruta tiene en cuenta las pérdidas en acumulación y distribución, mientras que la neta no), el aporte solar, el consumo auxiliar esperado, todo expresado en kWh salvo la fracción solar que se representa como un tanto por ciento. Además, se muestra la reducción de CO2 esperada, medida en kg de gas no emitidos. Véase Figura 6.

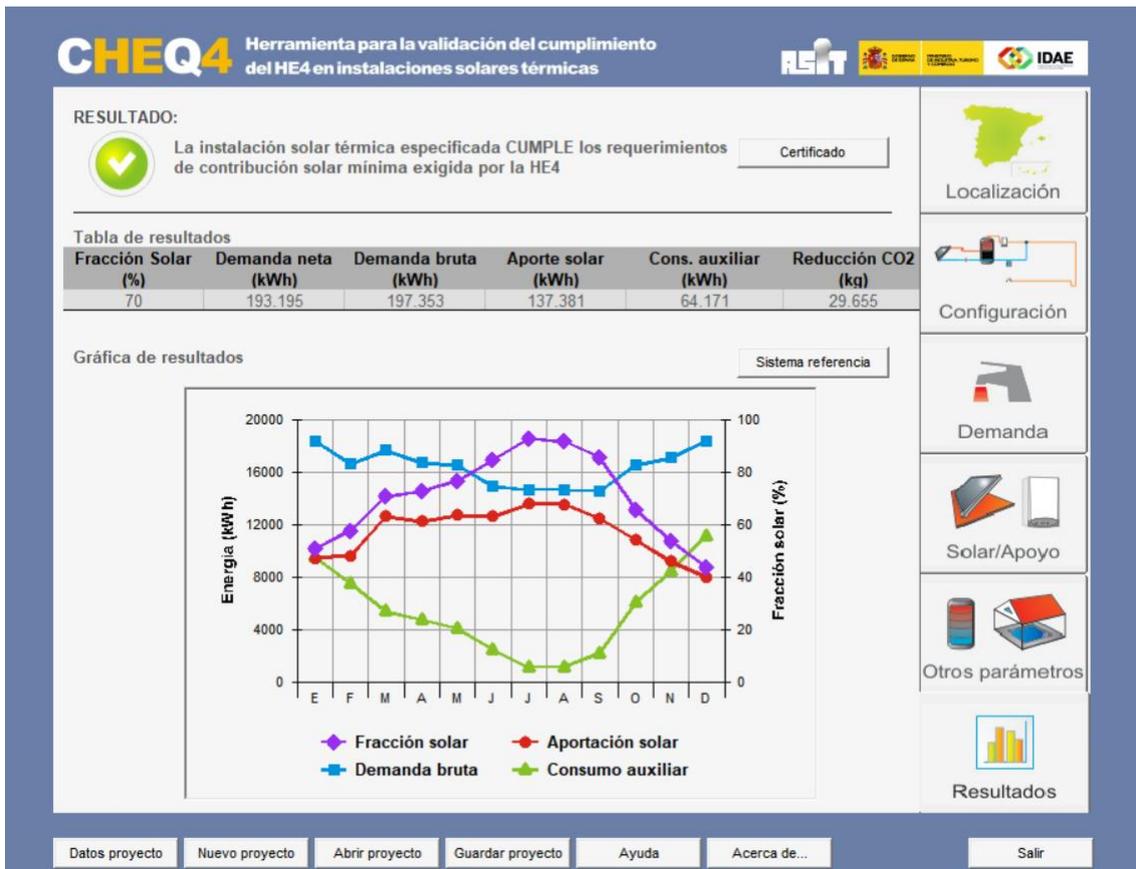


Figura 6: Resultados CHEQ4

Finalmente, la herramienta emite un informe certificando que la instalación diseñada cumple con los requerimientos de contribución solar mínima tal y como exige el H4E, dicho certificado se puede consultar en el Anexo I de este proyecto.

## 1.4. Descripción del edificio

El edificio a estudiar se trata de la residencia de estudiantes Pino Montano, situada en la Avenida Manuel del Valle S/N en el sevillano barrio de Pino Montano.



La ocupación residencial del edificio durante todo el año es de 250 personas repartidas en diferentes plantas y alas del complejo. Los aseos son compartidos, habiendo varias duchas y tomas de ACS concentradas en distintos puntos.

El actual sistema de producción de ACS consiste en una caldera DUAL marca REX con doble cámara de combustión de 600 kW de potencia la cual se va a aprovechar como consumo auxiliar en caso de necesidad. Dicha caldera se encuentra situada en la sala de calderas, en la cara norte del exterior del edificio conectada a 4 interacumuladores de 200 litros marca WOLF.

En el apartado 1.4.1. de este proyecto, se describe el sistema auxiliar existente en el edificio.

En la Figura 8 se muestra una vista aérea del edificio en la cual se puede apreciar la gran cubierta que posee para la instalación de captadores solares:

*Figura 7: Emplazamiento de la Residencia Pino Montano*



*Figura 8: Vista aérea del edificio*

En concreto se ha elegido la cubierta orientada al norte, por diversos factores:

- Altura superior al resto de cubiertas: esto evitaría posibles sombras a ciertas horas o temporadas del año sobre los captadores.
- Óptima orientación: La mitad de la zona de cubierta mencionada está orientada al sur, lo cual es idóneo para la instalación.
- Cercanía a la zona de calderas: De esta forma evitamos sobrecostes en materiales y pérdidas de energía debidas a largos trayectos de los fluidos.
- Área suficiente: El área de cubierta elegida es suficiente para la instalación de todos los captadores necesarios.

En la Figura 9 se puede observar otra imagen de la cubierta del edificio en la cual se señala

específicamente la zona de captadores y la sala de calderas.



Figura 9: Vista aérea ampliada

### 1.4.1. Sistema auxiliar existente

Como es evidente, se va a provechar la actual caldera existente en la instalación de ACS actual. Dicha caldera es una REX Dual 60 F, caldera alimentada por gas natural, teniendo la posibilidad de quemar combustible líquido para su funcionamiento. Es una caldera de dos módulos, uno apilado encima del otro. A continuación, se muestra un esquema de dicha caldera:

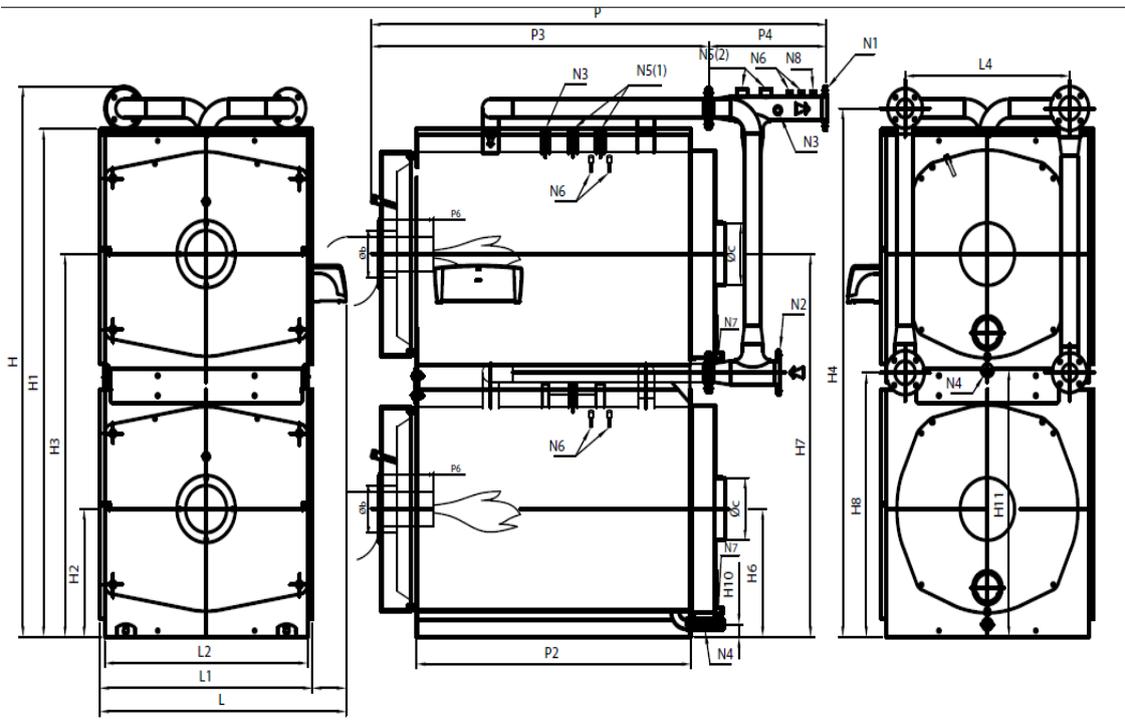


Figura 10: Esquema caldera auxiliar

La caldera está diseñada con una potencia nominal de 600 kW, tiene una capacidad de 600 litros y un peso que ronda los 1000 kg. Pese a que dicha caldera disponible está un poco sobredimensionada para usarla como apoyo al sistema de captación solar, es lo más lógico debido a que ya se encuentra instalada y con toda la infraestructura a su alrededor en funcionamiento.

En la Tabla 1 podemos observar las principales características de la caldera existente en el edificio.

Characteristics	Code product	Nominal Power Temp. Medium 70°C kW	Flow Thermal kW	100% efficiency (ref. C.O.P.) Temp. Medium 70°C %	30% efficiency (ref. C.O.P.) Temp. Medium 70°C %	Fumes pressure drop mbar	Fluid pressure drop ( $\Delta T=12^{\circ}C$ ) mbar	Volume H <sub>2</sub> O lt	Total weight kg	
Model	REX DUAL 60	83805030	600	650	92,31	91,90	2,0	86	600	986

Dimensions	H	H1	H2	H3	H4	H6	H7	H8	H10	H11	L	L1	L2	L4	P	P2	P3	P4	P6	Øb	Øc	N1	N2	N1/N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	DN/in	DN/in	PN	DN/in	DN/in	DN/in	DN/in	DN/in	DN/in
REX DUAL 60	1993	-	490	1470	1910	490	1470	930	54,5	1034,5	1089	906	850	690	2049	1250	1651	398	200-250	180	250	80	80	6	1"	1"	1"	1/2"	1/2"	1/2"

Tabla 1: Principales parámetros caldera auxiliar

Al igual que ocurre con la caldera auxiliar, disponemos en la instalación de una serie de acumuladores que vamos a aprovechar para la conexión del sistema auxiliar con el sistema de captación a implementar. A continuación, se muestra un esquema de los acumuladores auxiliares acompañado de una imagen real de los mismos:

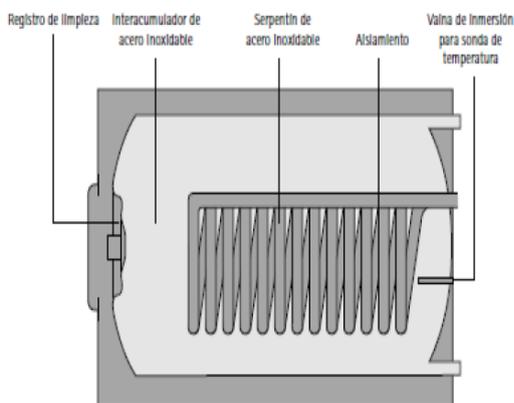


Figura 11: Acumuladores auxiliares

Cada interacumulador tiene una potencia nominal de hasta 80.6 kW, según la diferencia de temperatura disponible en su interior. Cada módulo tiene una capacidad de 200 litros, consiguiendo en total 800 litros entre todos ellos. En la Tabla 2 se puede observar las principales características de los interacumuladores descritos.

<b>Datos técnicos</b>		
Capacidad del interacumulador	Ltr.	200
Producción continua a 90°C / 70°C	l/h *	2015
	Kw *	80,6
Producción continua a 80°C / 60°C	l/h *	1225
	Kw *	50
Producción continua a 70°C / 50°C	l/h *	730
	Kw *	29
Producción continua a 55°C / 50°C	l/h *	490
	Kw *	19,6
Índice de Rendimiento	NL60	5
Caudal primario a 80°C / 60°C	m <sup>3</sup> /h *	2,15
Perdida de carga primario	mbar	100
Temperatura máxima de servicio en secundario	°C	95
Temperatura máxima de servicio en primario	°C	110
Presión máxima de servicio en secundario	bar	10
Presión máxima de servicio en primario	bar	10
* A 10°C / 45°C Agua Fría / Agua Caliente		
<b>Dimensiones y Peso</b>		
Medidas con revestimiento Longitud	mm	1240
Ancho	mm	620
Altura	mm	625
Peso	Kg	83
<b>Conexiones</b>		
Agua Caliente	(exterior) R	¾"
Agua Fría	(exterior) R	¾"
Recirculación	(exterior) R	¾"
Impulsión Primario	(exterior) R	¾"
Retorno Primario	(exterior) R	¾"

Tabla 2: Datos acumulador auxiliar

## 1.5. Descripción de la instalación

Como la mayoría de instalaciones de energía solar térmica, está compuesta por seis grupos principales que desarrollaremos a continuación:

- Sistema de captación: Conjunto de captadores encargados de absorber toda la radiación solar posible y transmitirla a un fluido caloportador (usualmente agua y alguna sustancia anticongelante para evitar heladas) que posteriormente será conducido a otro sistema para extraer dicha energía absorbida. En el proyecto presente se contemplan un total de 75 captadores de la marca Termicol, modelo T25MS. Estos captadores estarán conectados todos en paralelo, en baterías de 5 captadores cada una, formándose así 15 baterías en total.
- Sistema de intercambio: Tras absorber la energía procedente del sol, el fluido caloportador es llevado a un depósito de acumulación donde se produce el intercambio de energía entre el fluido previamente mencionado y el ACS para su futuro uso en un intercambiador. En nuestro caso, la distribución escogida implica un interacumulador, es decir, el intercambiador se encuentra en el interior del tanque donde se almacena el agua para su consumo.
- Sistema de acumulación: Como se ha mencionado previamente, disponemos de dos interacumuladores conectados en serie entre sí, de esta forma el agua sufre un precalentamiento en el primer acumulador para recibir el resto de energía en el segundo, previo al consumo. El fluido caloportador tiene una distribución inversa, primero circula por el interacumulador más cercano a consumo.

En el proyecto se contempla un volumen de acumulación de 10000. Además, se dispone de otro sistema de interacumulación de unos 1000 L en total ya existente, con este depósito (que forma parte del sistema auxiliar del que ya se dispone) podremos afinar la temperatura del ACS que va a consumo y controlar el agua de retorno del mismo.

- Sistema hidráulico: Este apartado se ha tenido en cuenta debido a la importancia que tienen sus componentes en el correcto funcionamiento en el sistema completo. Con sistema hidráulico se intenta hacer referencia a todos los elementos que controlan, dirigen y aseguran el correcto y más eficiente flujo del agua en todo momento.
- Sistema auxiliar: Como la energía solar no es un recurso continuo, para asegurar el aporte de ACS en todo momento, es necesario un aporte distinto del sol. Para ello lo más común es una caldera. En nuestro caso, vamos a utilizar la caldera ya existente en la residencia. De esta forma se cubre la demanda incluso en los días más nubosos. En el punto 1.5.1 de este proyecto se describen los equipos auxiliares existentes en la instalación.
- Sistema de control: El sistema de control es el cerebro de la instalación, controlando en todo momento la valvulería y bombas para que el funcionamiento de los equipos sea el esperado. Este sistema tiene dos principales funciones: control de las bombas del sistema y protección de los equipos frente a extremas temperaturas.

Para el control de bombas del circuito primario, se instalarán dos sondas específicas: una a la salida del campo de captadores (punto más caliente de la instalación) y otra en el primer depósito de acumulación, en la parte inferior del mismo, próximo a la salida del agua hacia el campo de captadores. Con estas temperaturas podremos controlar de manera eficiente el funcionamiento de las bombas, siguiendo las siguientes consignas:

- La bomba se pondrá en marcha cuando la diferencia de temperatura entre el campo de captadores y el acumulador sea mayor de 7°C.
- La bomba se detendrá si la diferencia de temperatura anterior es menor o igual a 2°C.

Para el control de bombas y caldera del sistema auxiliar, se tomarán datos de las sondas ya existentes en los acumuladores de la propiedad y seguirán las siguientes consignas:

- Cuando la temperatura en el acumulador auxiliar sea inferior de 50°C, se activará el conjunto de bomba y caldera del sistema auxiliar.
- Cuando la temperatura en el acumulador auxiliar alcance los 60°C, el conjunto bomba caldera se detendrá.

Pese a que en Sevilla el riesgo de heladas es muy pequeño, el control asegurará en todo momento que no se den temperaturas en la instalación por debajo de 3°C más de la temperatura de congelación del fluido caloportador. En el momento que la sonda de temperatura a la salida del campo de captadores sea inferior a -5°C, entrará en funcionamiento la bomba del circuito de captación, circulando el fluido hasta que la temperatura a la salida del campo sea de 0°C.

En la Figura 12 se muestra el esquema de principio de la instalación, mostrando los principales equipos y accesorios pertenecientes a la instalación y sus conexiones.

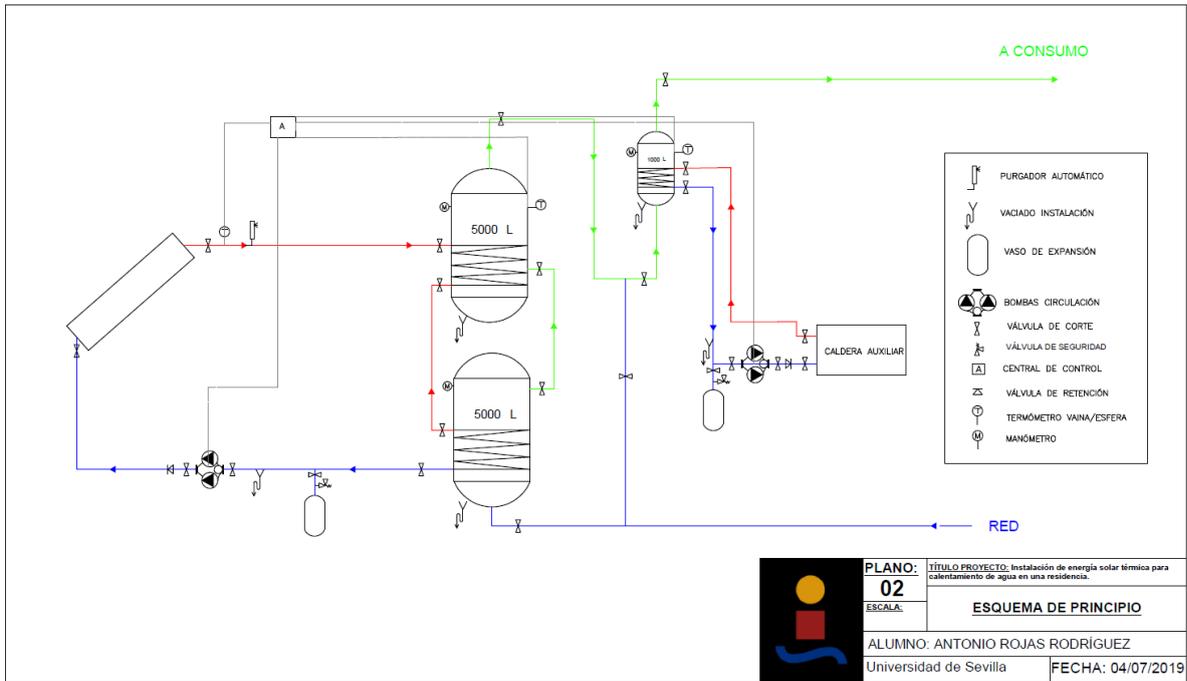


Figura 12: Esquema de principio

## 1.5.1. Funcionamiento y características principales elementos de la instalación

A continuación, se describe y se analiza el funcionamiento de los principales elementos que forman parte de una instalación de captadores solares, estos son los siguientes:

### 1.5.1.1. Captador solar plano

Es el principal elemento de cualquier instalación solar ya que es el encargado de absorber el máximo de energía posible de la fuente (el Sol). De forma simplificada, un captador solar no es más que un intercambiador de energía entre un fluido caloportador (receptor) y la energía radiante del Sol, transformando esta energía radiante en térmica, más fácil de controlar y aprovechar.

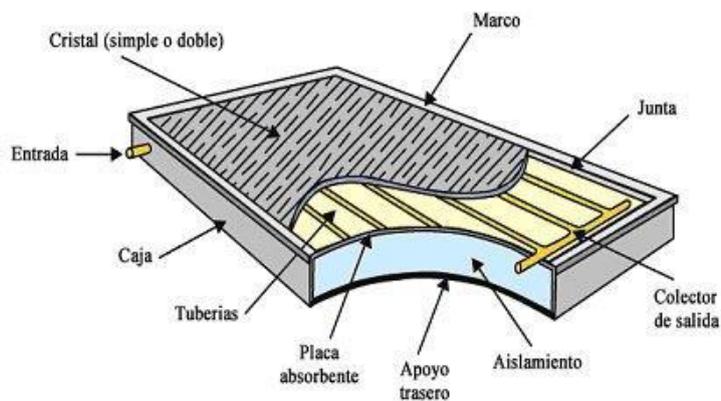


Figura 13: Esquema captador solar plano

Los captadores solares planos tienen la capacidad de absorber tanto la radiación directa que reciben como la difusa. Como se observa en la figura, un captador tiene tres principales capas de diferentes materiales y funciones:

- **Cristal:** Encargado de que atraviese toda la radiación posible y evitar que escape energía térmica existente en el interior del captador.
- **Capa absorbente:** Principal responsable de que el fluido caloportador reciba la energía procedente del sol. Todas son de color negro (u oscuro) debido a que es el color que más radiación absorbe de todos.
- **Aislamiento:** Para evitar pérdidas por la parte posterior del captador, el mismo dispone de una capa aislante que evita la transmisión de la energía existente en dicha dirección.

### 1.5.1.2. Depósito interacumulador

Debido a que la demanda y producción de energía procedente del sol están siempre desfasadas, es necesario en toda instalación de captación de energía solar contar con un depósito que almacene y distribuya cuando sea necesario el ACS.

En nuestra instalación hemos optado por un depósito interacumulador. Este tipo de acumulador consiste en un depósito que contiene en su interior un intercambiador de energía. De esta forma, tanto acumulación como transmisión se realizan en el mismo equipo, reduciendo costes y pérdidas de energía.



*Figura 14: Depósito interacumulador*

Se puede apreciar en la figura la gran cantidad de aislamiento que se instala en estos equipos. Esto es debido a que pasan muchas horas del día con ACS, debido al desfase existente entre consumo y producción de la misma, es por ello que se aíslan lo mejor posible para evitar en gran medida las pérdidas posibles por conducción hacia el exterior del depósito.

### 1.5.1.3. Bomba

Las bombas son las encargadas de crear una diferencia de presión en los puntos deseados del circuito para conseguir que el fluido circule de la forma deseada.



*Figura 15: Bomba circulación.*

### 1.5.1.4. Vaso expansión

Otro vital componente de toda instalación con fluidos caloportadores es el vaso de expansión. Es el encargado de que no se produzcan daños en el circuito cuando el fluido dilata o contrae según los cambios de temperatura que experimenta. El vaso absorbe esa sobrepresión o depresión y permite que el sistema funcione lo más parecido posible a condiciones de diseño.



*Figura 16: Vasos de expansión*

Como se aprecia en la figura, hay múltiples tamaños y rangos de presión de funcionamiento.

## 1.6. Características de los equipos

### 1.6.1. Captador solar

La instalación estará compuesta de 75 captadores en total, conectados entre sí en baterías de 5 captadores cada una con una distribución de 1 en serie, es decir, todos ellos conectados en paralelo entre sí. El captador escogido es el captador solar plano selectivo Termicol T25MS. Los captadores tendrán todos una disposición vertical, debido a que por características de la fachada facilita el aprovechamiento del espacio y de la inclinación de la misma.

El sistema de apoyo y sujeción de los captadores será de una aleación de acero galvanizado electrolítico diseñado para la instalación de baterías de captadores de varias unidades.

En la figura 17 se muestra un esquema del captador escogido y de sus principales medidas.



Modelos Verticales		
Modelos	T20MS	T25MS
Longitud (mm)	2130	2130
Anchura (mm)	970	1200
Long. Absorb. (mm)	2088	2057
Espesor (mm)	83	83
Área bruta (m <sup>2</sup> )	2,1	2,6
Área de apertura (m <sup>2</sup> )	1,9	2,4
Peso en vacío (kg)	32	39
Capacidad (litros)	1,29	1,27

Figura 17: Detalle captador el elegido

En la tabla siguiente se muestran los principales parámetros del captador:

Modelos Verticales		
Modelos	T20MS	T25MS
<b>Ajustes de Segundo Orden Tm</b>		
$\eta$	0,812	0,813
$K_1$ (W/ Km <sup>2</sup> )	3,812	3,674
$K_2$ (W/ K <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )	0,021	0,019
Potencia pico (Wp)	1518	1911

Tabla 3: Principales parámetros captador

### 1.6.2. Interacumulador

Los dos interacumuladores escogidos son de la marca Lapesa, en concreto el modelo MXV 5000 SSB que posee una capacidad de 5000 litros y cuenta con un gran serpentín con una superficie de intercambio de 10 m<sup>2</sup>. También posee una brida de gran tamaño para facilitar el acceso al interior del equipo y con ello su mantenimiento. El material es acero inoxidable, con aislamiento de lana mineral y revestimiento exterior de aluminio, con un peso en vacío de 745 Kg. En la figura 18 y 19 se muestran un esquema con las principales conexiones que posee el acumulador y sus características técnicas respectivamente.

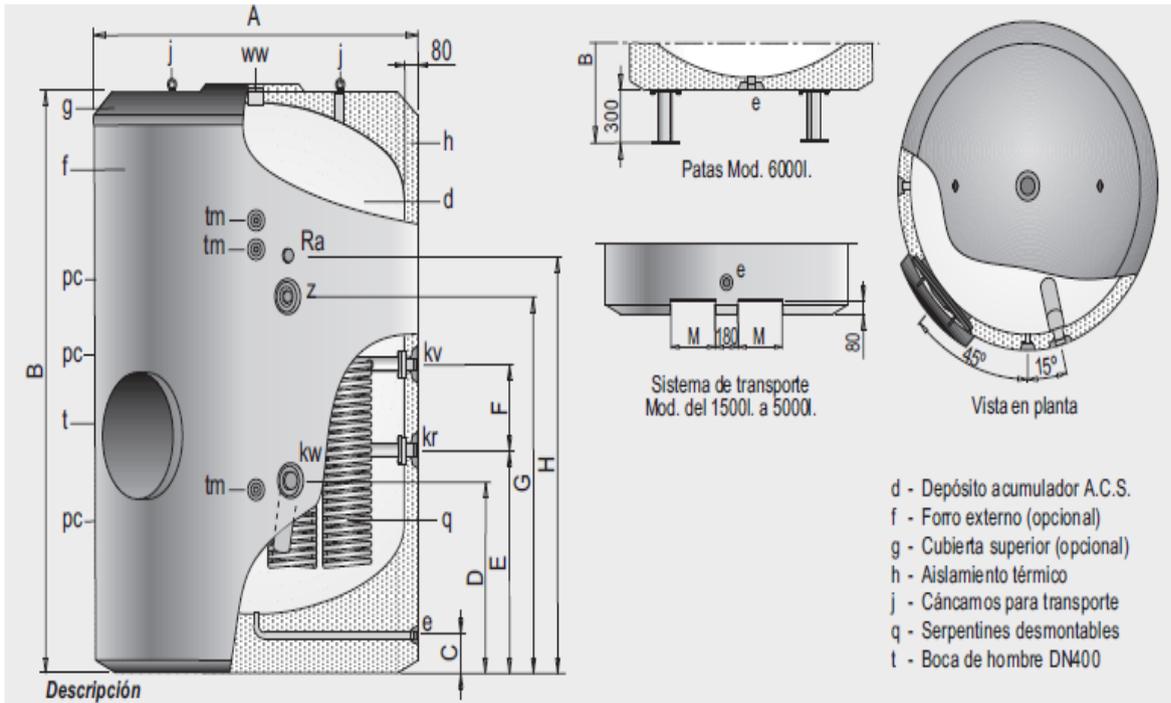


Figura 18: Esquema de conexiones del interacumulador

Características técnicas /Conexiones /Dimensiones		MXV5000 SB/ SSB
Capacidad de A.C.S	l	5000
Temperatura máx.* depósito de A.C.S	°C	90
Presión máx. depósito de A.C.S. (*)	bar	8
Temperatura máx. circuito de calentamiento (**)	°C	120
Presión máx. circuito de calentamiento	bar	25
Número de serpentines -SB / -SSB	und	5 / 6
Capacidad de serpentines -SB / -SSB	l	48 / 56
Superficie de intercambio-SB / -SSB	m <sup>2</sup>	8.4 / 10.0
Peso en vacío aprox. -SB / -SSB	Kg	720 / 745
Cota A: diámetro exterior	mm	1910
Cota B: longitud total	mm	2710
Cota C:	mm	175
Cota D:	mm	880
Cota E:	mm	1055
Cota F:	mm	400
Cota G:	mm	1580
Cota H:	mm	1770
Cota M:	mm	350
kw: entrada agua fría	"GAS/M	3
e: desagüe	"GAS/M	1
ww: salida agua caliente	"GAS/M	3
z: recirculación	"GAS/M	2
kv: avance caldera	"GAS/M	2
kr: retomo caldera	"GAS/M	2
Ra: conexión resistencia de apoyo	"GAS/H	2
tm: conexión sensores laterales	"GAS/H	1/2
pc: conexión protección catódica	"GAS/H	3/4
nº conexiones protección catódica	und.	5

Tabla 4: Características técnicas interacumulador

### 1.6.3. Bomba de circulación

Las bombas elegidas para generar flujo en la instalación son del modelo CEAM 120/3, del fabricante LOWARA. El equipo es capaz de bombear hasta  $9.6 \frac{m^3}{h}$  y vencer una presión de hasta  $22.5 \text{ m.c.a.}$ , con una potencia de 0.75 CV. A continuación, se muestran los parámetros de la bomba:



Figura 19: Imagen de la bomba

Código	Artículo	C. máx. (l/h)	H. máx. mts.	CV
<b>Trifásicas 3x220/400V</b>				
EB 20 122	CEA 70/3	4.800	22	0,5
EB 20 124	CEA 70/5	4.800	31	0,75
EB 20 126	CEA 80/5	6.000	31,5	1
EB 20 128	CEA 120/3	9.600	22,5	0,75
EB 20 130	CEA 120/5	9.600	32	1,2
EB 20 142	CEA 210/2	18.000	17,5	1
EB 20 144	CEA 210/3	18.000	21,5	1,5
EB 20 146	CEA 210/4	18.000	26	2
EB 20 148	CEA 210/5	18.000	30	2,5
EB 20 162	CEA 370/1	24.000	16	1,5
EB 20 164	CEA 370/2	27.000	20	2
EB 20 166	CEA 370/3	30.000	24	2,5
EB 20 168	CEA 370/5	31.000	30	4
<b>Monofásicas 1x230</b>				
EB 20 252	CEAM 70/3	4.800	22	0,5
EB 20 254	CEAM 70/5	4.800	31	0,75
EB 20 256	CEAM 80/5	6.000	31,5	1
EB 20 258	CEAM 120/3	9.600	22,5	0,75
EB 20 260	CEAM 120/5	9.600	32	1,2
EB 20 272	CEAM 210/2	18.000	17,5	1
EB 20 274	CEAM 210/3	18.000	21,5	1,5
EB 20 276	CEAM 210/4	18.000	26	2
EB 20 292	CEAM 370/1	24.000	16	1,5
EB 20 294	CEAM 370/2	27.000	20	2

Tabla 5: Características de la bomba escogida

### 1.6.4. Vaso de expansión

El vaso de expansión seleccionado para la instalación es el 50 AMR-P del fabricante Salvador Escoda, cuya presión máxima de trabajo es de  $10 \text{ bar}$  y tiene un volumen de  $50 \text{ l}$ . En la Tabla 6 se pueden observar los principales parámetros del vaso.

	Código	Artículo	Capacidad lts.	Presión máx. trabajo	Presión precarga bar	D mm	H mm	H1 mm	Conexión de agua Ø DIN 259
	AC 04 001	<b>5 AMR-E</b>	5	10	1,5	200	265	–	¾"
	AC 04 008	<b>5 AMR-E</b>	5	10	1,5	200	265	–	1"
	AC 04 005	<b>24 AMR-E</b>	24	8	1,5	350	410	–	¾"
	AA 15 205	<b>24 AMR-E</b>	24	8	1,5	350	410	–	1"
	AC 04 016	<b>8 AMR</b>	8	10	1,5	200	350	–	1"
	AC 04 017	<b>15 AMR</b>	15	10	1,5	270	320	–	1"
	AC 04 018	<b>20 AMR</b>	20	10	1,5	270	425	–	1"
	AC 04 020	<b>50 AMR</b>	50	10	1,5	360	620	–	1"
	AC 04 021	<b>50 AMR-P</b>	50	10	1,5	360	760	–	1"
	AC 04 025	<b>80 AMR-P</b>	80	10	1,5	450	750	–	1"
	AC 04 063	<b>100 AMR-P</b>	100	10	1,5	450	870	–	1"

Tabla 6: Características del vaso de expansión

### 1.6.5. Sistema de control

Para el sistema de control de la instalación, se ha elegido el sistema de control TDS 100-2 del fabricante Junkers, el sistema incluye tres puntos de medida, modo anti hielo y regulación de velocidad en la bomba.



- 3 entradas para sondas de temperatura NTC
- Display LCD iluminado y animado
- Antihielo electrónico
- Regulación de velocidad en bomba
- Dimensiones: 190 x 170 x 50 mm
- Montaje sobre pared
- Incluye dos sondas de temperatura NTC

Figura 20: Sistema de control

### 1.7. Normativa

En este apartado se recoge la normativa y reglamentación vigente en el ámbito de las instalaciones de captación de energía solar para producción de ACS. Estas instalaciones se acogen a dos normativas principalmente: RITE y CTE, en concreto de este último al apartado HE4.

### 1.7.1. CTE HE-4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria

Esta norma es aplicable para todo edificio nuevo, o existente en el cual se vaya a modificar íntegramente la instalación térmica existente y cuya demanda de ACS sea superior a 50 l/día.

- Contribución solar mínima:

En función de la zona climática o de la demanda de ACS del edificio, el CTE exige una contribución mínima de aporte solar a la demanda energética anual del edificio.

Demanda total de ACS del edificio (l/d) a 60 °C	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 -5.000	30	30	40	50	60
5.000 -10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Tabla 7: Contribución solar mínima

Ya que la ciudad de Sevilla pertenece a la zona climática definida como zona V y su demanda total diaria es poco mayor de 10000 litros, nos encontramos con que el porcentaje de demanda cubierta tiene que ser superior o igual al 70 por ciento del total. Tras los cálculos efectuados por la herramienta CHEQ4, comprobamos que se cubre un 70% exactamente de toda la demanda.

- Protección frente a sobrecalentamientos:

Según la normativa, en ningún mes la instalación podrá generar un 110% de la demanda total mensual ni 3 meses seguidos generando un 100% de dicha demanda. Además, si algún mes se supera la contribución solar del 100% respecto de la demanda, habrá que tomar cualquiera de las siguientes medidas:

- a) Disipación excedentes
- b) Tapado parcial campo de captadores, con circulación del fluido
- c) Vaciado parcial campo de captadores
- d) Desvío de excedentes a otras aplicaciones existentes

Ya que nuestra instalación no supera ningún mes del año el 100% de la demanda, cumplimos con este requisito y no sería necesaria ninguna actuación externa ni del sistema de control para paliar con ese supuesto exceso de energía.

- Pérdidas por sombra u orientación:

La instalación está obligada a tener unas pérdidas menores de las que se muestran a continuación, ya sea por sombra o por orientación e inclinación no óptimas. Los captadores no tienen problemas de sombra en nuestro edificio ya que no hay nada que pueda interferirse entre el sol y los mismos, el edificio no está rodeado prácticamente de otras construcciones que puedan tapanlo. Se muestran seguidamente las pérdidas máximas admitidas por el CTE en este tipo de instalaciones:

	<b>Orientación e inclinación OI</b>	<b>Sombras S</b>	<b>Total OI+S</b>
<b>General</b>	<b>10 %</b>	<b>10 %</b>	<b>15 %</b>
<b>Superposición</b>	<b>20 %</b>	<b>15 %</b>	<b>30 %</b>
<b>Integración arquitectónica</b>	<b>40 %</b>	<b>20 %</b>	<b>50 %</b>

*Tabla 8: Pérdidas admitidas por el CTE*

- Volumen de acumulación y conexión de sistema auxiliar:

Para que se pueda aprovechar al máximo la instalación, el volumen de acumulación debe ser acorde con la superficie de captación, de esta forma tendremos la habilidad de acumular la máxima energía posible.

En concreto, la relación entre volumen de acumulación y área de captación es la siguiente:

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

Por otro lado, mencionar que está prohibida la conexión del sistema de generación auxiliar al acumulador solar.

## **1.7.2. RITE: Reglamento Instalaciones Térmicas en la Edificación**

- IT 1.1.4.3.1. Preparación de agua caliente para uso sanitario:

Destacar en este apartado el control y prevención de la legionelosis y el uso de materiales adecuados que resistan la acción del agua sobre los mismos.

- IT 1.2.4.3.4. Control de instalaciones centralizadas de preparación de agua caliente sanitaria:

Esta IT recoge la obligación de controlar la temperatura de acumulación, la temperatura de la red de distribución y que la temperatura del ACS sea segura para los usuarios. Además, también controla los tratamientos de choque térmico necesarios. Por último, obliga a que el control de la circulación forzada del circuito primario de una instalación de captación solar sea de tipo diferencial.

- IT 1.2.4.2.1. Aislamiento térmico de redes de tuberías:

Según esta IT, es obligatorio aislar todo conducto, equipo y accesorio siempre que contengan fluidos a más de 40°C o que estén instalados en el exterior del edificio, debiendo ser en ese caso un aislamiento protegido de la intemperie. El RITE aporta un método simplificado para la elección del espesor del aislamiento a instalar, este método consiste en una serie de tablas de las cuales conciernen principalmente a la instalación dos de ellas:

<b>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</b>			
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 9: Espesor aislamiento interior edificio

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

Tabla 10: Espesor aislamiento exterior edificio

- IT 2.3.4. Control automático:

Los parámetros de control automático serán ajustados según proyecto y se realizará una comprobación del correcto funcionamiento del sistema de control.

- IT 1.3.4.4.5. Medición:

Asegura la correcta medición de parámetros en todos los puntos del sistema además de obligar a implementar dicha medición.

- IT 1.2.4.6.1. Contribución de calor renovable o residual para la producción térmica del edificio:

Donde se expone que, si un edificio nuevo o sometido a reforma tiene previsión de demanda energética, esa demanda deberán cubrirse con la incorporación de sistemas de aprovechamiento de calor renovable o residual.

- IT 2.3.3. Sistemas de distribución de agua:

Se encarga de que el circuito este correctamente equilibrado (tanto el primario como el secundario), el porcentaje de anticongelante sea correcto respecto a proyecto y de que el subsistema de energía solar sea capaz de volver de una situación de estancamiento a la de funcionamiento nominal de manera autónoma.

### **1.7.3. Normas UNE**

- Norma UNE 100155/2004, Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión: Para el correcto dimensionado de los vasos de expansión de nuestra instalación nos acogeremos a la norma 100155.

- Norma UNE 94002/2005, Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica:

Esta norma aporta valores de referencia de consumo de ACS y de temperaturas de diseño para el cálculo de la demanda total de energía térmica en instalaciones de producción de ACS a partir de energía solar.

- Norma UNE 94003/2007, Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas:

Como bien describe su nombre, esta norma tiene como objeto el aporte de datos climáticos históricos de la zona para el correcto dimensionado de instalaciones solares térmicas.

## **1.8. Bibliografía**

- ❖ Apuntes asignatura “Energía Solar”, del profesor José Guerra. 2018. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- ❖ IDAE: Guía técnica agua caliente sanitaria central. 2010.
- ❖ CTE-HE 4: Código técnico de la edificación, sección HE4. Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria. 2013.
- ❖ RITE: Reglamento de instalaciones térmicas en la edificación. 2013.
- ❖ AENOR, Norma UNE 94002/2005, Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica, 2005.
- ❖ AENOR, Norma UNE 94003/2007, Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas, 2007.

- ❖ AENOR, Norma UNE 100155/2004, Climatización y diseño de sistemas de expansión, 2004.
- ❖ TERMICOL: “<https://termicol.es/>”
- ❖ JUNKERS: “<http://www.junkers.com>”
- ❖ LAPESA: “<http://www.lapesa.es/>”
- ❖ SALVADOR ESCODA: “<https://www.salvadorescoda.com/>”
- ❖ TESI: “<https://tesy.com/>”
- ❖ GOOGLE MAPS: “<https://maps.google.es/>”
- ❖ WOLF: “<https://spain.wolf.eu/productos/sistemas-de-ac-s-acumuladores/>”
- ❖ REX: “[https://www.absorsistem.com/productos/ici\\_caldaie](https://www.absorsistem.com/productos/ici_caldaie)”
- ❖ ROCKWOOL: “<https://www.rockwool.es/>”
- ❖ AEMET: Agencia estatal de meteorología. “<http://www.aemet.es>”
- ❖ Engineering Toolbox : “<https://www.engineeringtoolbox.com>”
- ❖ Apuntes de la asignatura “Instalaciones Térmicas en la Edificación”, 2018. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- ❖ Calculadora Excel para el cálculo de pérdida de carga en tuberías del profesor Juan Francisco Coronel, 2018. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.



# MEMORIA DE CÁLCULO

---

## 2. Memoria de cálculo

### 2.1. Introducción

A continuación, se describen los cálculos realizados a la hora de dimensionar, justificar y diseñar la instalación. Además, se muestran distintas posibles variantes de la instalación, desarrollando las ventajas e inconvenientes y la argumentación de por qué se ha escogido la distribución desarrollada en este escrito.

### 2.2. Datos de partida

#### 2.2.1. Ubicación

El edificio a estudio se encuentra en plena ciudad de Sevilla:

Residencia estudiantes Pino Montano	
Localidad	Sevilla
Provincia	Sevilla
Altitud (m)	24
Latitud	37° 24' 24" N
Longitud	5° 58' 5" O
Zona climática	V

*Tabla 11: Ubicación y datos meteorológicos principales*

#### 2.2.2. Datos climatológicos

Los datos climatológicos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas están recogidos y regulados por la norma UNE 94003:2007, dicha información es también utilizada por el CTE para categorizar las distintas zonas de España en 5 categorías.

Estas categorías van de la primera hasta la quinta, ordenadas de menor a mayor según la cantidad de radiación global media diaria (también llamada H) que reciba dicha zona, medida en  $kWh/m^2$ . Dichas categorías se reflejan en la Tabla 12.

Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Tabla 12: Radiación media global diaria según zona

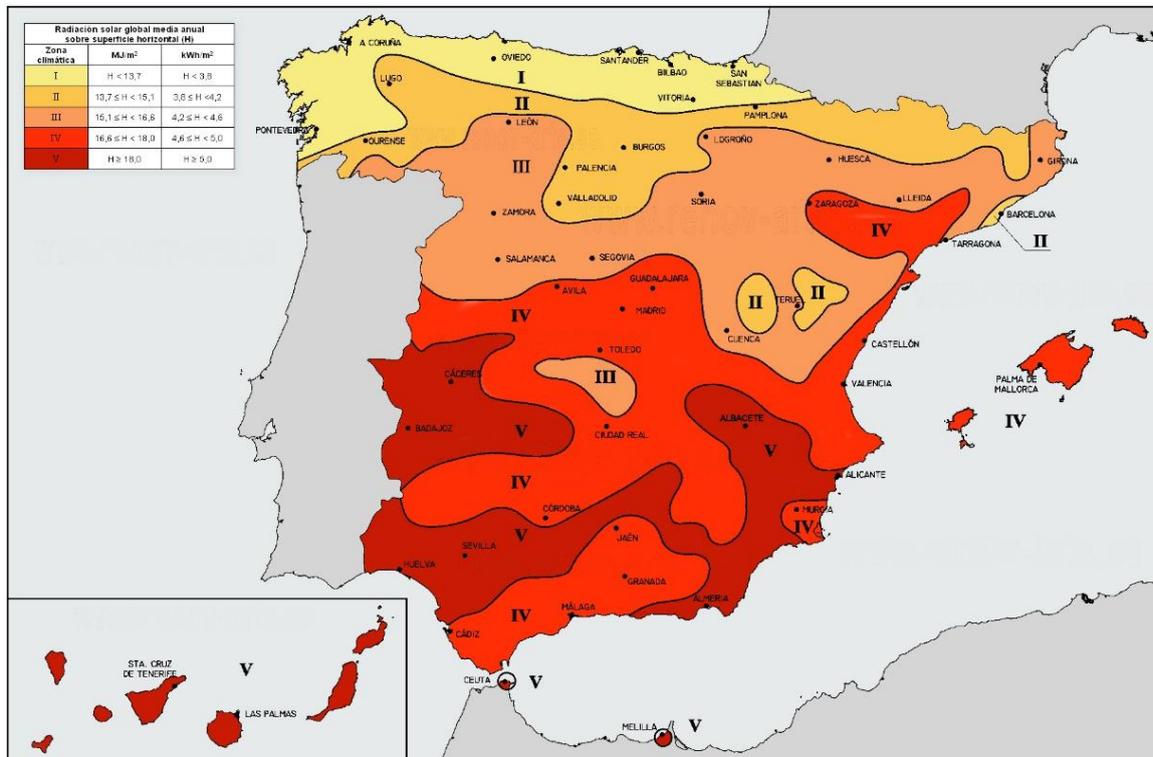


Figura 21: Zonas climáticas en España.

Sevilla pertenece a la zona V, es por ello que las exigencias del CTE son las máximas, acordes con la cantidad de radiación que recibe nuestra área de manera anual.

En la Figura 21 se puede apreciar como Sevilla se encuentra de lleno en la zona V según el CTE. Dicha zona en teoría recibe más de  $5 \text{ kWh/m}^2$ , equivalente a  $18 \text{ MJ/m}^2$ . Véase Tabla 13.

Además, la herramienta CHEQ4 nos proporciona una tabla que refleja los datos medios de manera mensual de tres diferentes variables: Temperatura ambiente, temperatura de la red (de agua) y radiación solar global media (H). Dichos datos son aportados por la amplia base de datos que posee el CHEQ4 y son particulares de cada localidad y provincia escogidas. En la Tabla 12 se aprecian los valores previamente mencionados.

	Radiación (MJ/m <sup>2</sup> )	Temperatura Red (°C)	Temperatura ambiente (°C)
Enero	9.8	11	10.7
Febrero	13.2	11	11.9
Marzo	18.1	13	14
Abril	22.1	14	16
Mayo	25.2	16	19.6
Junio	28.4	19	23.4
Julio	29.2	21	26.8
Agosto	25.9	21	26.8
Septiembre	20.8	20	24.4
Octubre	14.5	16	19.5
Noviembre	10.5	13	14.3
Diciembre	8.4	11	11.1
Promedio	18.8	15.5	18.2

Tabla 13: Radiación, temperatura ambiente y de red. Media mensual. Sevilla

## 2.3. Cálculo de la demanda

Para el correcto dimensionado de la instalación es necesario estimar el consumo que va a tener, de esta forma diseñaremos de manera eficiente y precisa.

### 2.3.1. Cálculo de la demanda de ACS

El cálculo de la demanda es sencillo debido a que está estipulado por el CTE, HE4. El código técnico especifica el consumo medio mensual necesario según el tipo de edificio. Para ello aporta una tabla en la que lista todas esas demandas medidas en litros por persona y día. Esta estimación del agua está realizada suponiendo que el consumo de agua se realiza a 60° C.

En nuestro caso, la Residencia Pino Montano se encuentra siempre con el nivel máximo de ocupación, de 250 residentes. Con ello podemos hacer un simple cálculo para estimar el consumo total diario de ACS:

$$D_{ACS\ Tot} = 250\ per * 41 \frac{l}{pers * día} = 10250 \frac{l}{día}$$

La relación de consumo por persona diario según el tipo de edificio se puede consultar en la Tabla 14.

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

Tabla 14: Consumo estimado CTE HE4

### 2.3.2. Cálculo de la demanda energética

Teniendo ya el cálculo de la demanda en  $\frac{l}{día}$ , ahora es necesario hallar el valor energético en  $\frac{MJ}{mes}$ . En primer lugar, tenemos los siguientes datos:

- Densidad del fluido caloportador (agua): Podemos suponer que el valor de la densidad no varía ya que en el rango de temperaturas en los que trabajamos no existe cambio notable ni cambio de estado alguno.

$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

- Calor específico: Al igual que con la densidad, podremos suponer que el valor del calor específico no varía en el rango de temperatura en el que trabajamos.

$$C_p = 4.186 \frac{kJ}{kg * K}$$

- Temperaturas: Tomaremos como referencia el agua caliente a 60°C y el agua fría según la temperatura del agua de red de cada mes.

Con estos datos y la siguiente fórmula:

$$Q_{ACS} = C_p * \rho * (T_{ACS} - T_{RED})$$

Y multiplicando la energía necesaria por la cantidad de litros diarios y por los días de cada mes:

$$D_{energ} = D_{ACS} * Q_{ACS} * t$$

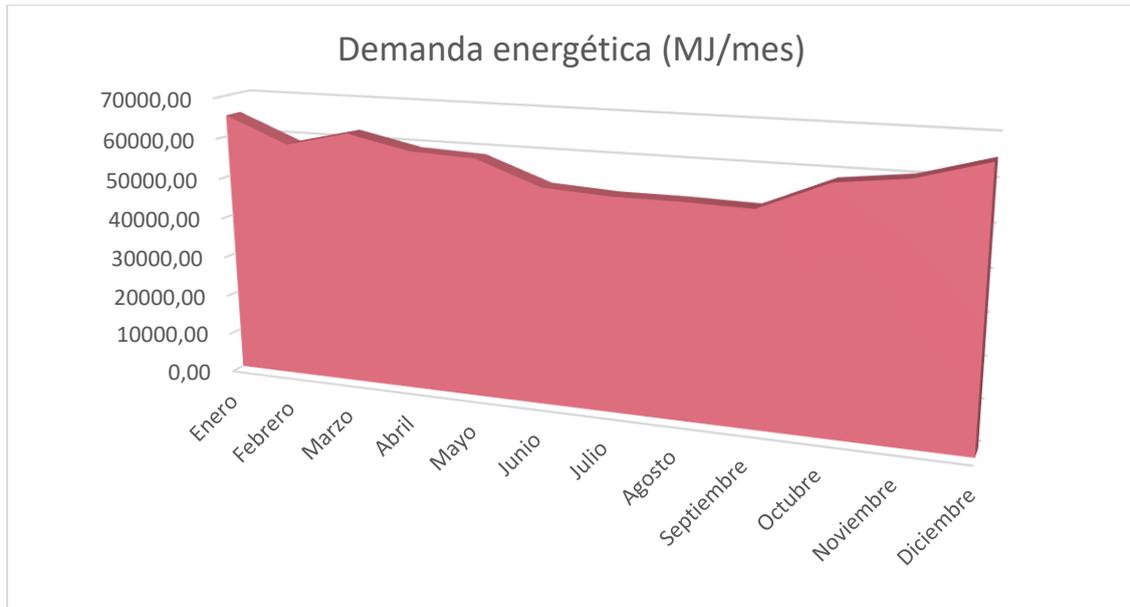


Figura 22: Demanda energética mensual

	Días	Tª RED	Demanda ACS (l/día)	Demanda energética (MJ/mes)	Demanda energética (kWh/mes)
Enero	31,00	11,00	10250,00	65174,97	18104,16
Febrero	28,00	11,00	10250,00	58867,72	16352,14
Marzo	31,00	13,00	10250,00	62514,77	17365,21
Abril	30,00	14,00	10250,00	59210,97	16447,49
Mayo	31,00	16,00	10250,00	58524,47	16256,80
Junio	30,00	19,00	10250,00	52775,00	14659,72
Julio	31,00	21,00	10250,00	51873,96	14409,43
Agosto	31,00	21,00	10250,00	51873,96	14409,43
Septiembre	30,00	20,00	10250,00	51487,80	14302,17
Octubre	31,00	16,00	10250,00	58524,47	16256,80
Noviembre	30,00	13,00	10250,00	60498,17	16805,05
Diciembre	31,00	11,00	10250,00	65174,97	18104,16
Promedio	-	15,50	10250,00	58041,77	16122,71

Tabla 15: Demanda energética mensual

Se aprecia con facilidad en la Figura 24 como en los meses de verano la demanda cae ligeramente debido a una mayor temperatura del agua de la red.

## 2.4. Cálculo superficie de captación y volumen de acumulación

Para poder discernir cual sería la superficie de captación y volumen de acumulación más adecuados, se realiza un estudio paramétrico usando para ello la herramienta principal de este estudio, el CHEQ4. Para ello se plantean distintas superficies de captación (número de captadores) combinadas con distintos volúmenes de acumulación para conocer la mejor opción posible.

El captador utilizado para dicho ensayo es el Termicol T25MS, cuyos parámetros de ensayo son los siguientes:

Parámetros ensayo captador	
Superficie bruta (m <sup>2</sup> )	2.40
Rendimiento óptico (%)	81.30
Coefficiente de pérdida de calor K1 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	3.67
Coefficiente de pérdida de calor K2 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.02
Caudal de ensayo (l/(h·m <sup>2</sup> ))	68.40

Tabla 16: Parámetros ensayo captador

### 1) Número de captadores:

En primer lugar, se procede a estudiar como cambiaría la fracción de demanda cubierta al variar el número total de captadores, suponiendo en todos los casos que están todos en paralelo (es decir, 1 en serie) y un volumen de acumulación constante de 10000 litros se obtiene:

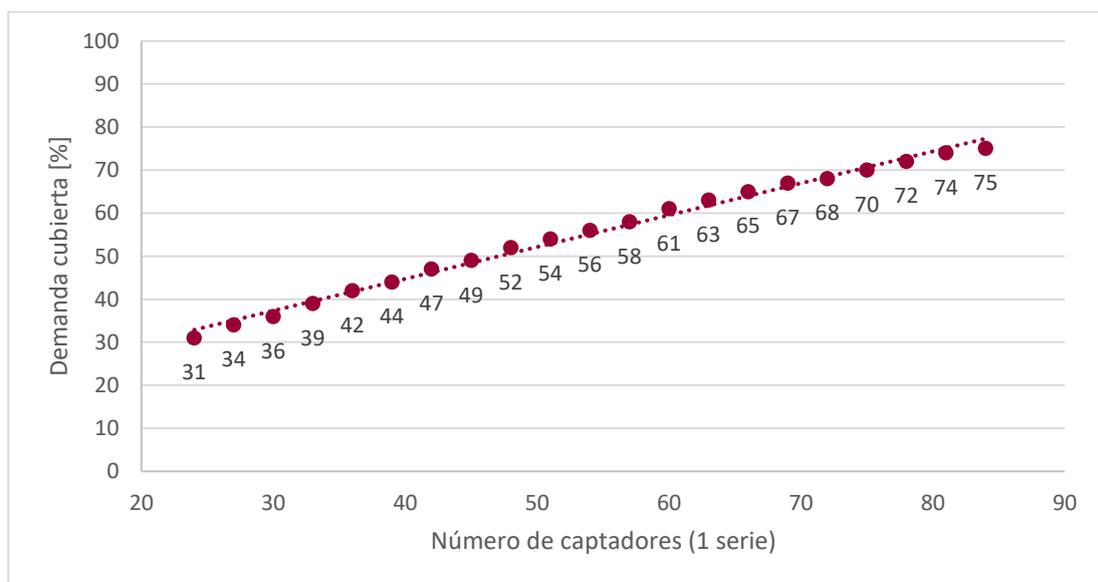


Figura 23: Variación de la demanda según el número de captadores

Se aprecia un claro aumento de la fracción de demanda cubierta al aumentar el número de captadores instalados. Comentar que dicha variación es referente al número de captadores, estando estos en paralelo entre ellos, es decir, 1 en serie.

Para 75 captadores se obtiene una demanda cubierta de justo el 70% por lo que procederemos a seleccionar ese valor como primera opción.

Ya que el número de captadores está ligado al volumen de captación (en el CTE), es necesario evaluar como varía la demanda cubierta según el volumen de acumulación.

Añadir que, en todo momento se cumple la limitación del cociente entre volumen de acumulación y área de captación exigido por el RITE, siendo 173.6 para 24 captadores y 50 para 84 captadores.

## 2) Volumen de acumulación:

En la figura siguiente se puede observar la tendencia que tiene la fracción de demanda cubierta al cambiar el volumen de acumulación manteniendo el número de captadores fijado a 75 y manteniendo además el número de captadores conectados en serie, debido a que previamente para esa cantidad de captadores se conseguía cubrir el mínimo de demanda energética exigido.

Según se aprecia en la Figura 27, es evidente, que la fracción de demanda cubierta varía relativamente poco al aumentar el volumen de acumulación, en torno a un 1% por cada 2000 litros de aumento del volumen. Ya que aumentar el volumen de acumulación implica un sobrecoste importante ya que habría que adquirir un mayor número de interacumuladores o mayores tanques, se decide ceñirse al volumen de acumulación menor posible que satisfaga las necesidades de demanda del edificio. En este caso, eso equivale a 10000 litros, obteniéndose un 70% de demanda cubierta con 75 captadores. Estos 10000 litros de acumulación, se instalarán en forma de 2 interacumuladores de 5000 litros cada uno.

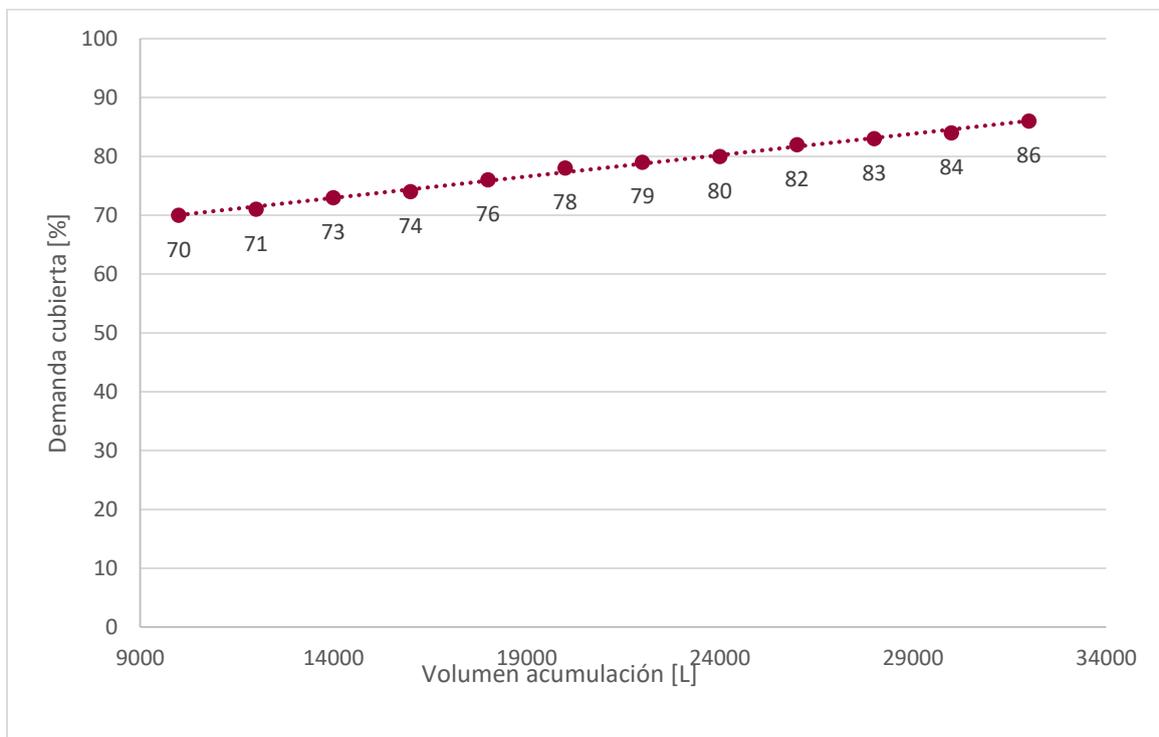


Figura 24: Variación de la demanda según el volumen de acumulación

### 3) Número de captadores en serie:

A continuación, pasamos a estudiar como varía la demanda cubierta al conectar los captadores en serie en lugar de todos en paralelo con una superficie de captación y volumen de acumulación fijos, siendo estos 75 captadores y 10000 litros respectivamente.

Al aumentar el número de captadores en serie se obtienen ciertos beneficios para la instalación: disminuye el caudal del circuito primario, lo que abarata la instalación al necesitar un diámetro menor de tubería y una bomba de menor potencia y capacidad para mover la menor masa de fluido. Al tener menor diámetro de tubería, también se reduce la cantidad de aislamiento necesario. Sin embargo, el aumento del número de captadores en serie, incrementa notablemente la pérdida de carga de la instalación y disminuye de manera señalada el rendimiento de la misma, reflejado claramente en la Figura 25:

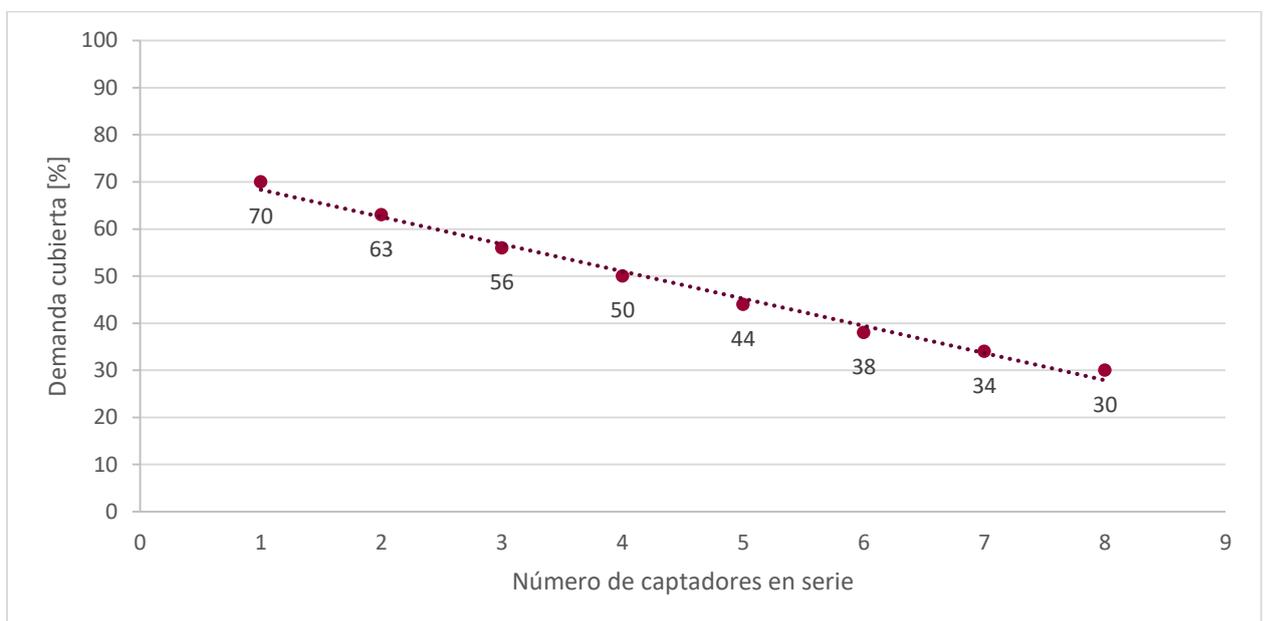


Figura 25: Variación de demanda según el número de captadores conectados en serie

Para arrojar mayor claridad sobre la variación de la demanda al variar el número de captadores con conexión uno tras otro, se analiza como varía la fracción de demanda cubierta según el número de captadores para tres casos distintos: uno, dos y tres captadores en serie, manteniendo las premisas anteriores de superficie de captación y volumen, siendo estos 75 captadores y 10000 litros respectivamente. Dicho análisis se puede observar en la Figura 26.

Es notable que, a mayor número de captadores en serie, menor es la fracción de demanda cubierta de la instalación, tal y como habíamos previsto a raíz de los resultados de la anterior figura.

Una vez seleccionados los valores de diseño de 75 captadores y 10000 litros de volumen de acumulación, se comprueba que dicha elección cumple con el requisito impuesto por el CTE-HE respecto a la relación entre dichos valores:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \left[ \frac{l}{m^2} \right]$$

Esta relación pretende diseñar la instalación de la forma más eficiente posible adecuando y siempre manteniendo una relación coherente entre área de captación y volumen de acumulación, de nada nos sirve la sobreproducción de energía sin capacidad de almacenarla ni un gran volumen de acumulación sin capacidad de generar la energía.

Para los valores seleccionados obtenemos un valor de 55.56, dentro del rango permitido por la normativa, por lo que damos por válidos dichos datos.

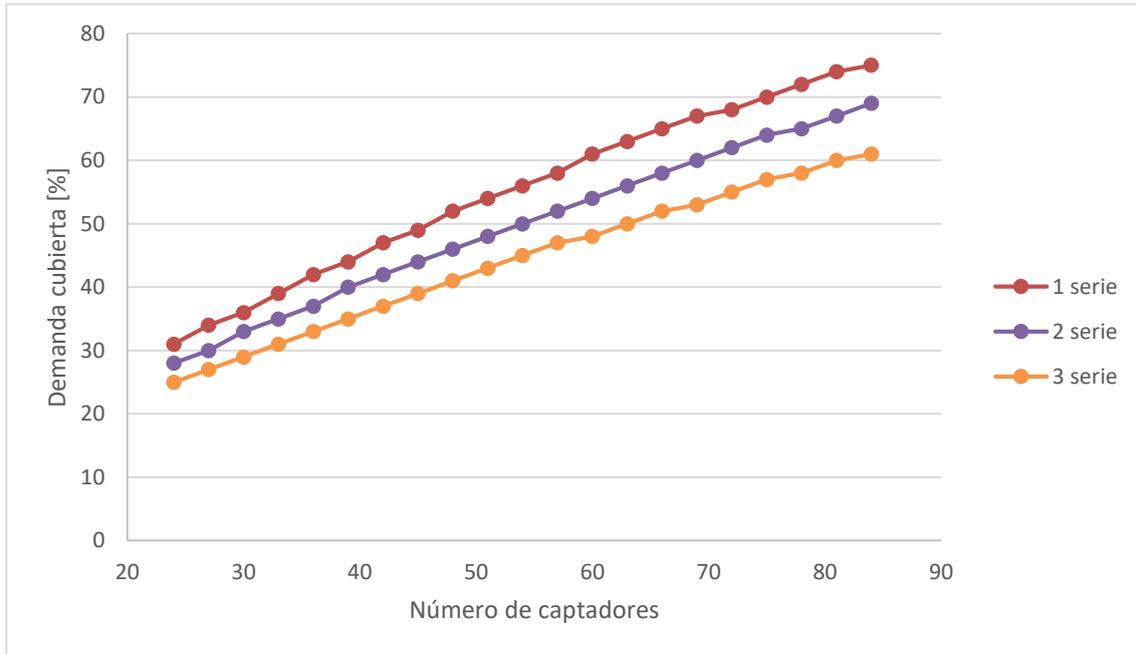


Figura 26: Variación demanda para distinto número de captadores en serie

A modo de síntesis, se lista a continuación los valores de diseño escogidos y la contribución solar obtenida:

Número de captadores	75
Área total de captación (m <sup>2</sup> )	180
Número de captadores en serie	1
Volumen de acumulación (litros)	10000
Contribución solar	70%
Contribución solar mínima según HE4	70%

Tabla 17: Valores diseño escogidos y contribución solar

## 2.5. Cálculo de la distancia entre captadores

Antes del dimensionado de la superficie de captación y por tanto del volumen de acumulación (ya que están ligados), es necesario discernir la distancia mínima a la que deben de estar las distintas filas de captadores solares unas de otras para evitar que se produzcan pérdidas por sombra entre ellos.

Según la siguiente fórmula proporcionada por el IDAE, tenemos que:

$$d = h * k$$

Siendo,  $d$  la distancia entre las distintas filas,  $h$  la altura del captador que pueda producir sombra y  $k$  un parámetro adimensional que sigue la siguiente fórmula:

$$k = \frac{1}{\text{tg}(61 - \text{lat})}$$

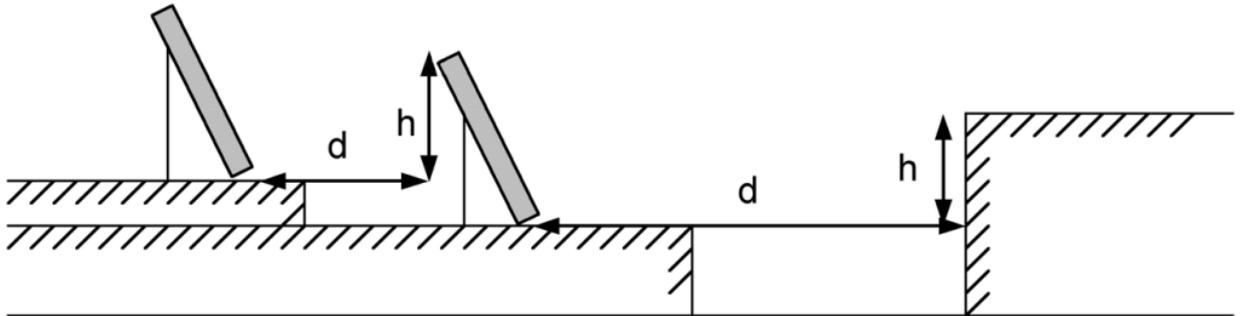


Figura 27: Distancia mínima entre filas de captadores, IDAE.

Sabiendo que la latitud del emplazamiento es de  $37.24^\circ$  y que la altura del captador es de 1.37 metros (dada la longitud del captador y el ángulo en el que está colocado), podemos asegurar que la distancia entre las distintas filas de captadores debe de ser cómo mínimo de:

$$d > 3.1 \text{ m}$$

En realidad, la distancia mínima debería ser algo menor debido a que los captadores poseen una inclinación impuesta para mejorar su rendimiento de captación más la inclinación intrínseca del tejado del edificio. Sin embargo, ya que disponemos de gran superficie de cubierta, decidimos establecer una mayor distancia de separación entre captadores, situando una parte de ellos en un faldón del tejado y otros en el lado opuesto. Siguiendo esta disposición descrita, existe una separación entre captadores de 4,7 metros, superior a la necesaria.

Otra ventaja que obtenemos al espaciar más la distancia entre las distintas filas de captadores es la facilidad de acceso a los equipos, ya sea para labores de mantenimiento como de reparación y limpieza de los equipos.

Debido a esta restricción, los captadores se colocarán en los dos faldones de los que dispone la cubierta. La diferencia de inclinación que se experimenta entre los captadores de un faldón y de otro se corrige ajustando la estructura de soporte de los captadores, posicionando los captadores del faldón sur de la cubierta a  $35^\circ$  mientras que los del faldón norte se colocarán a  $40^\circ$ , compensando de esta manera el ángulo propio del faldón.

## 2.6. Cálculo de la red de tuberías

En este apartado se analiza el dimensionado de las tuberías de la instalación. En primer lugar, hay que analizar qué fluido circulará por el circuito primario, es decir por el circuito de captadores y demás equipos auxiliares.

## 2.6.1. Porcentaje de glicol en mezcla

Es evidente que la mayor parte del fluido será agua, sin embargo, habrá que discernir que aditivo se le añade para evitar problemas de congelación de las tuberías en épocas de invierno. Normalmente en instalaciones solares se añade el Glicol como anticongelante, en mayor medida cuanto más bajas se esperen las temperaturas. Para saber en qué rango de temperaturas se alcanza en la provincia de Sevilla se recurre a la extensa base de datos que proporciona la agencia estatal de meteorología (AEMET).

En dicho recurso, se registran temperaturas desde 1951 hasta el presente por lo que tendremos una buena idea de cuál será la temperatura mínima jamás registrada en la capital hispalense.

CARACTERISTICA / VALOR	(Temperatura °C)	FECHA
Temperatura Máxima más alta Registrada:	46.6	23-07-1995
Temperatura Máxima más baja Registrada:	4.0	10-01-2010
Temperatura Mínima más alta Registrada:	29.3	25-07-2004
Temperatura Mínima más baja Registrada:	-5.5	12-02-1956
Mayor diferencia de temperaturas en un mismo día (Tmax-Tmin):	27	05-07-1956
Mayor ascenso de temperaturas Máximas en 24 h:	12.3	entre 10-10-2001 y 11-10-2001
Mayor ascenso de temperaturas Mínimas en 24 h:	13.2	entre 20-10-1967 y 21-10-1967
Mayor descenso de Temperaturas máximas en 24h:	17.2	entre 10-05-1958 y 11-05-1958
Mayor descenso de Temperaturas mínimas en 24 h:	11.7	entre 19-10-1967 y 20-10-1967

Tabla 18: Registro de temperaturas de AEMET

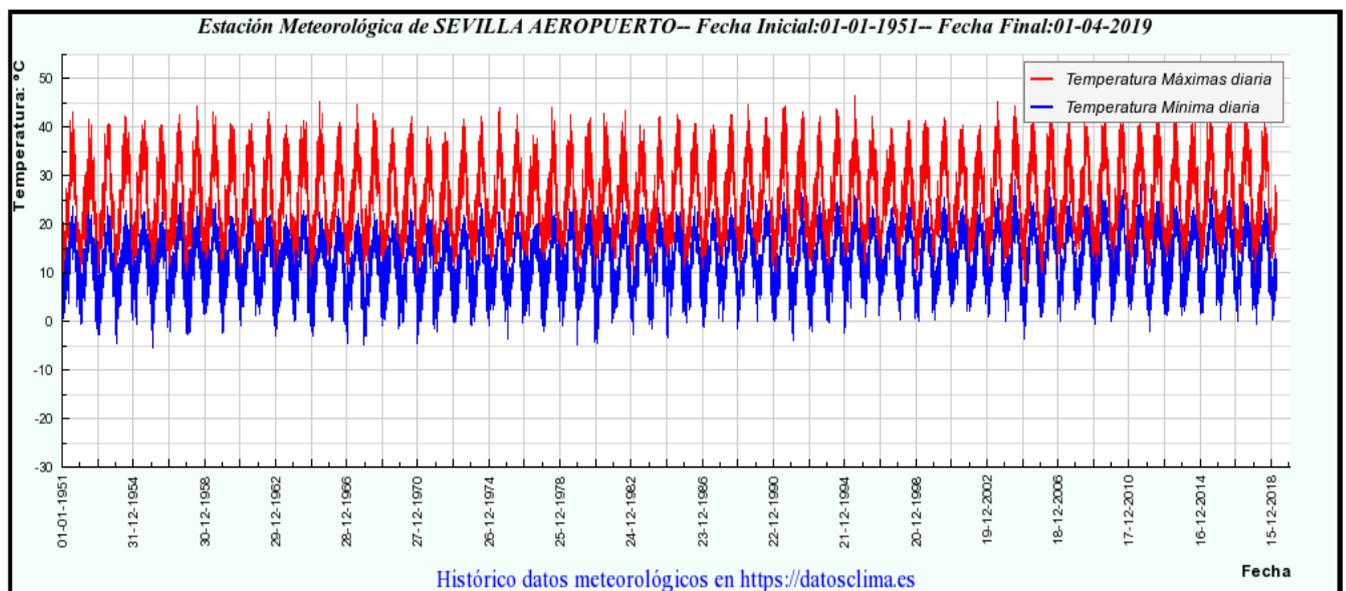


Figura 28: Gráfica de temperaturas máximas y mínimas registradas AEMET

Tal y como se observa en las figuras, la máxima temperatura registrada en la historia de Sevilla es de 46.6°C, sin embargo, se toma como temperatura de diseño un rango de entre -8 a -10°C para evitar contratiempos inesperados.

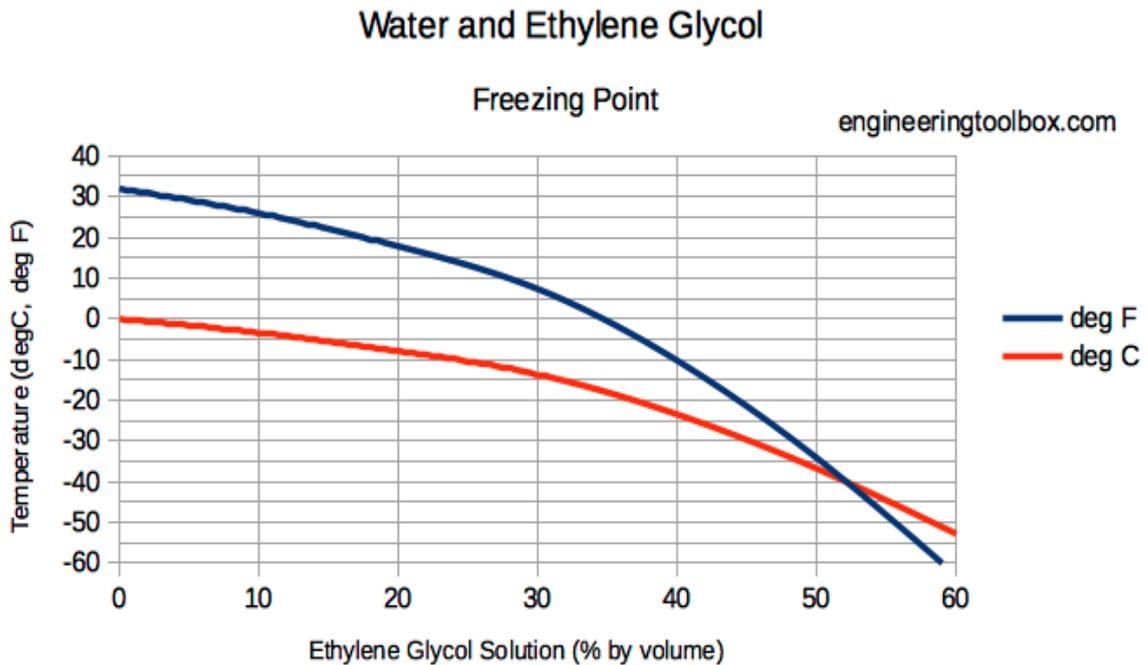


Figura 29: Porcentaje de Glicol en agua según temperatura

Para el valor estimado como referencia se observa que se recomienda un porcentaje de glicol en torno a un 20% en volumen, lo que equivale a unos 85 litros en la instalación.

### 2.6.2. Dimensionado de las tuberías

A continuación, es necesario calcular el diámetro necesario que tendrán las tuberías de la instalación. Para dicho dimensionado hay que cumplir dos premisas básicas estipuladas por el IDAE:

- La velocidad del fluido en las tuberías interiores deberá ser menor de 2 m/s, siendo el valor permitido inferior a 3 m/s si la tubería se encuentra en el exterior del mismo. En el caso a estudiar, las tuberías discurren por la cubierta del edificio por lo que podremos tomar 3 m/s como valor límite en el diseño.
- La pérdida de carga admisible debe de ser menor de 40 mm columna de agua por metro ( $\frac{mmca}{m}$ ). Para fluidos que estén formados de una mezcla entre agua y anticongelante debemos utilizar un factor de corrección de 1.3 ya que la mezcla es más densa que el agua sola. Además, se recomienda que la pérdida de carga tampoco debe de ser menor de 20 mm columna de agua por metro debido a que esto implicaría que la tubería elegida tiene un tamaño mayor del necesario y aumentaría el coste de las mismas.

Además, y aunque en este caso nunca pueda darse la posibilidad, el diámetro nominal (DN) de las tuberías, no debe ser menor nunca de DN15, es decir, 15 mm de diámetro.

Normalmente, el fabricante indica un rango de trabajo adecuado para el captador solar. En nuestro caso, el fabricante TERMICOL recomienda un caudal de  $40 \frac{l}{m^2 \cdot h}$ .

Teniendo en cuenta que cada captador consta de  $2.4 \text{ m}^2$  de superficie de captación, y que hay un total de 75 captadores, se puede afirmar que la cantidad de fluido a impulsar a través de la instalación, teniendo en cuenta que todos los captadores están conectados en paralelo y en baterías de 5 captadores.

$$Q_{pri} = 40 \frac{l}{m^2 * h} * 2.4 \text{ m}^2 * 75 = 7200 \frac{l}{h}$$

Una vez conocemos el caudal total, debemos calcular las pérdidas de presión existentes en las tuberías y que está, producidas por distintos factores:

- Pérdidas por tuberías: Debido al contacto del fluido con las paredes del conducto.
- Pérdidas por accesorio: Cada accesorio que interviene en la instalación produce una pequeña pérdida de carga cuando el fluido pasa a través de él.
- Pérdidas por equipos: Como es evidente, el fluido también se ve entorpecido con su paso a través de los equipos. Esta es la pérdida más importante debido a que la caída de presión al circular a través de un captador o por un interacumulador es notablemente mayor al resto.

Con esto dicho, las pérdidas de presión se pueden expresar como:

$$\Delta P_{Tot} = \Delta P_{Tub} + \Delta P_{Acc} + \Delta P_{eq}$$

Para calcular la pérdida de presión por las tuberías, se recurre a la herramienta Excel proporcionada en la asignatura “Instalaciones térmicas en la edificación” impartida por los profesores D. Luis Pérez-Lombard y D. Juan Francisco Coronel y facilitada por este último para el cálculo de pérdidas de presión en conductos para el proyecto de la asignatura.

Para las pérdidas por accesorios se consulta una tabla expuesta en la misma asignatura previamente mencionada en la que aparecen las equivalencias entre accesorios y longitud adicional a la que corresponde para un diámetro y accesorio proporcionado, siempre en tuberías de cobre soldadas.

Por último, las pérdidas de los equipos se consultan en los catálogos de los mismos.

Como mencionado anteriormente, se recurre a la herramienta Excel proporcionada. Inicialmente, es necesario evaluar qué velocidad tendrá el fluido para los distintos diámetros posibles de diseño para evaluar si cumple o no con las normas citadas previamente.

A continuación, es necesario evaluar que pérdida de carga se experimenta en diversos diámetros con variados caudales de fluido. Con los dos resultados anteriores, es posible seleccionar el diámetro de tubería que mejor se ajuste a la instalación a estudio.

Para dicho estudio se realiza una tabla con la herramienta en la que aparecen las distintas velocidades y pérdidas de presión según las variables seleccionadas y con ello, es posible seleccionar el diámetro correcto:

	DIAMETRO(")	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
<b>Q (L/h)</b>	<b>DIAMETRO(mm)</b>	12.70	19.05	25.40	31.75	38.10	44.45	50.80	57.15
480.00	<b>DELTA P (Pa/m)</b>	1392.27	205.28	53.06	18.62	7.75	3.17	1.32	0.74
960.00		4652.22	677.25	173.48	60.49	25.62	12.41	6.63	3.81
1440.00		9504.18	1373.56	350.14	121.62	51.35	24.80	13.21	7.59
1920.00		15836.97	2276.83	578.44	200.41	84.43	40.70	21.65	12.42
2400.00		23583.47	3376.37	855.55	295.84	124.45	59.91	31.83	18.23
2880.00		32697.32	4664.68	1179.48	407.22	171.08	82.27	43.67	25.00
3360.00		43144.06	6136.10	1548.70	533.99	224.11	107.68	57.12	32.67
3840.00		54896.79	7786.12	1962.00	675.73	283.34	136.04	72.11	41.22
4320.00		67933.83	9611.08	2418.38	832.07	348.62	167.28	88.62	50.63
4800.00		82237.30	11607.89	2917.01	1002.72	419.83	201.32	106.60	60.88
5280.00		97792.09	13773.92	3457.15	1187.41	496.84	238.13	126.04	71.95
5760.00		114585.32	16106.88	4038.18	1385.92	579.57	277.65	146.89	83.83
6240.00		132605.81	18604.77	4659.55	1598.04	667.92	319.84	169.15	96.50
6720.00		151843.80	21265.80	5320.75	1823.61	761.82	364.66	192.79	109.95
7200.00		172290.65	24088.40	6021.35	2062.44	861.19	412.07	217.79	124.17

Tabla 19: Pérdida de presión para distintos diámetros y caudales

En la tabla superior se aprecia que los diámetros recomendados varían entre 3/4 y 2 pulgadas, lo que equivalen a diámetros entre 19-50 mm aproximadamente. Con estos valores en mente, pasamos a evaluar qué velocidades se desarrollarán en dichos conductos con los diámetros mencionados.

La equivalencia es del orden de 10 veces mayor aproximadamente, por lo que el diámetro debe garantizar una pérdida de presión menor de  $400 \frac{Pa}{m}$ .

	DIAMETRO(")	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
<b>Q (L/h)</b>	<b>DIAMETRO(mm)</b>	12.70	19.05	25.40	31.75	38.10	44.45	50.80	57.15
480.00	<b>VEL (m/s)</b>	1.05	0.47	0.26	0.17	0.12	0.09	0.07	0.05
960.00		2.11	0.94	0.53	0.34	0.23	0.17	0.13	0.10
1440.00		3.16	1.40	0.79	0.51	0.35	0.26	0.20	0.16
1920.00		4.21	1.87	1.05	0.67	0.47	0.34	0.26	0.21
2400.00		5.26	2.34	1.32	0.84	0.58	0.43	0.33	0.26
2880.00		6.32	2.81	1.58	1.01	0.70	0.52	0.39	0.31
3360.00		7.37	3.27	1.84	1.18	0.82	0.60	0.46	0.36
3840.00		8.42	3.74	2.11	1.35	0.94	0.69	0.53	0.42
4320.00		9.47	4.21	2.37	1.52	1.05	0.77	0.59	0.47
4800.00		10.53	4.68	2.63	1.68	1.17	0.86	0.66	0.52
5280.00		11.58	5.15	2.89	1.85	1.29	0.95	0.72	0.57
5760.00		12.63	5.61	3.16	2.02	1.40	1.03	0.79	0.62
6240.00		13.68	6.08	3.42	2.19	1.52	1.12	0.86	0.68
6720.00		14.74	6.55	3.68	2.36	1.64	1.20	0.92	0.73
7200.00		15.79	7.02	3.95	2.53	1.75	1.29	0.99	0.78

Tabla 20: Velocidad del fluido para distintos diámetros y caudales

Tal y como se observa en la Tabla 18 no deberíamos de tener problemas a la hora de que la velocidad del fluido sea menor de 3 m/s en ningún punto de la instalación, por ello el valor del que partiremos será el de la pérdida de carga y a posteriori comprobaremos la restricción de la velocidad.

Se puede apreciar que en ningún momento las tuberías de la instalación podrán tener un diámetro menor de 3/4 de pulgada, por lo que la restricción de que el diámetro sea mayor de DN15 se

presupone correcta a partir de ahora.

Para calcular las pérdidas producidas por accesorios, recurrimos a la siguiente tabla:

Diámetro nominal (")	Codo 90°	Curva 90°	Curva 45°	Codo doble 180°	Curva doble 180°	T en ramas alineadas	T en rama derivada	Válvula esférica	Válvula de compuerta	Válvula en ángulo	Válvula de retención
1/4	0.07	0.07	0.04	0.07	0.07	0.05	0.17	2.13		0.68	0.33
3/8	0.12	0.12	0.06	0.12	0.12	0.08	0.28	3.53		1.12	0.55
1/2	0.17	0.16	0.09	0.17	0.17	0.11	0.40	5.01	0.17	1.59	0.80
3/4	0.29	0.26	0.15	0.29	0.27	0.17	0.66	8.05	0.27	2.56	1.34
1	0.40	0.36	0.21	0.40	0.37	0.24	0.92	11.11	0.37	3.52	1.93
1-1/4	0.52	0.46	0.27	0.52	0.47	0.31	1.19	14.09	0.46	4.47	2.55
1-1/2	0.64	0.56	0.33	0.64	0.57	0.37	1.45	16.96	0.55	5.38	3.20
2	0.87	0.74	0.46	0.87	0.74	0.49	1.98	22.27	0.70	7.06	4.57
2-1/2	1.10	0.89	0.59	1.10	0.90	0.59	2.48	26.95	0.83	8.56	6.01
3	1.32	1.03	0.72	1.32	1.03	0.68	2.96	31.01	0.91	9.86	7.52
3-1/2	1.53	1.14	0.85	1.53	1.14	0.76	3.40	34.48	0.97	10.99	9.07
4	1.73	1.24	0.97	1.73	1.22	0.83	3.83	37.46	1.00	11.99	10.68
5	2.10	1.38	1.22	2.10	1.35	0.92	4.60	42.32	0.98	13.71	14.00

Tabla 21: Equivalencias entre accesorios y distancias equivalentes

Se puede observar que, a mayor diámetro de tubería mayor será la pérdida de carga producida por el accesorio.

A continuación, hallaremos las pérdidas de carga de los equipos. El fabricante de los captadores solares, aporta en su ficha técnica los términos lineales y cuadráticos para calcular la pérdida de carga del captador en función del caudal que pase por el mismo. Representando dicha función, obtenemos lo siguiente:

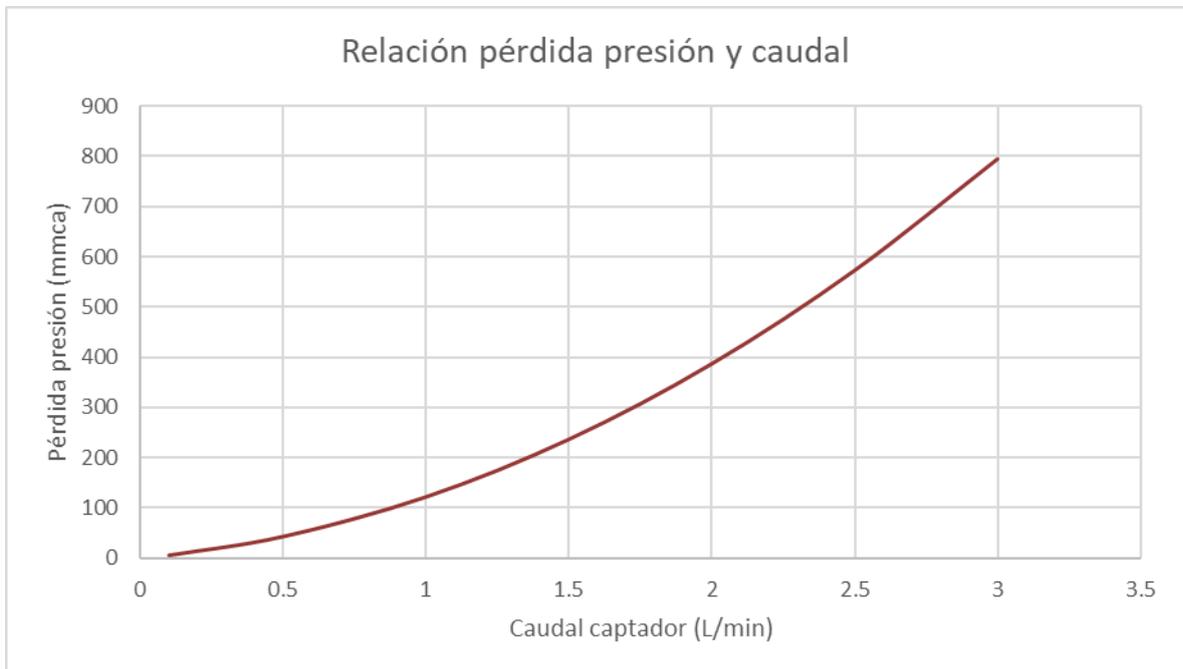


Figura 30: Pérdida de presión del captador plano en función del caudal

Tomando como referencia el caudal de diseño de  $40 \frac{l}{min}$  aportado por el fabricante y hallando el resultado de la función, obtenemos que cada captador produce una pérdida de carga de 2.6 kPa aproximadamente, resultando en que cada batería de 5 captadores, equivaldría a unos 13 kPa.

Para el cálculo de pérdida de presión producida por los interacumuladores, recurrimos a una gráfica facilitada por el fabricante que muestra la pérdida de carga en función del caudal que pase por el equipo. Véase Figura 31.

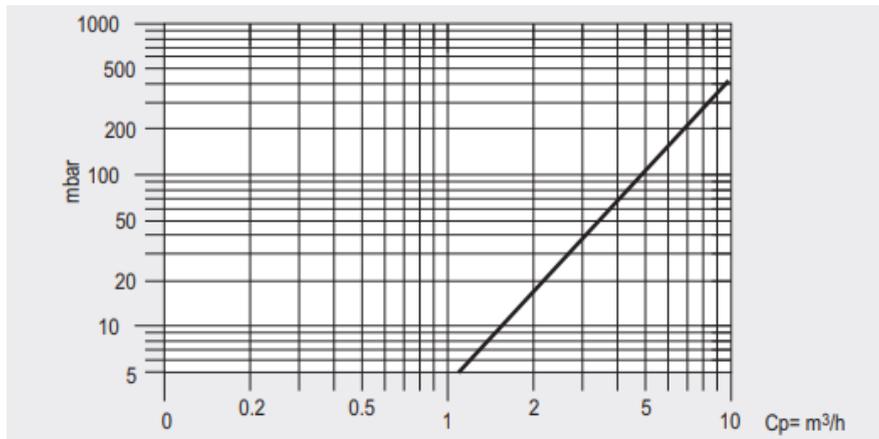


Figura 31: Pérdida de carga en función del caudal

En la Figura 31 se puede apreciar que, para un caudal de  $7.2 \frac{m^3}{h}$ , se produce una pérdida de carga de aproximadamente unos 250 mbar, equivalente a 25 kPa. Ya que en la instalación se encuentran 2 interacumuladores conectados en serie, se producirá una pérdida de carga de unos 50 kPa.

Por último, conociendo las pérdidas producidas por tuberías, accesorios y equipos, se calcula con el conjunto la pérdida de carga total en cada tramo. A continuación, se muestra la tabla resumen del cálculo de pérdidas de presión. Se ha tomado un tramo para referirse al paso por una batería de captadores, incluyendo la tubería de conexionado y los accesorios de entrada y salida a cada conjunto de los mismos.

#	m	L/h	"	mm	m/s	Pa/m	kPa	m	kPa	kPa	kPa
TRAMO	LONGITUD	CAUDAL	DIAMETRO	Diametro	Velocidad	Dp	Dp_TUB	L_eq	Dp_ACC	Dp_EQUIP	Dp_TOTAL
1 2	21.48	7200.00	1.75	44.45	1.29	412.07	8.85	10.49	4.32	0.00	13.17
2 3	10.68	6720.00	1.75	44.45	1.20	364.66	3.89	1.82	0.66	0.00	4.56
3 4	10.47	6240.00	1.75	44.45	1.12	319.84	3.35	1.82	0.58	0.00	3.93
4 5	10.00	5760.00	1.75	44.45	1.03	277.65	2.78	1.82	0.51	0.00	3.28
5 6	19.58	5280.00	1.75	44.45	0.95	238.13	4.66	1.82	0.43	0.00	5.10
6 7	10.11	4800.00	1.50	38.10	1.17	419.83	4.24	1.69	0.71	0.00	4.95
7 8	9.90	4320.00	1.50	38.10	1.05	348.62	3.45	1.69	0.59	0.00	4.04
8 9	10.20	3840.00	1.50	38.10	0.94	283.34	2.89	5.10	1.45	0.00	4.34
9 10	16.00	3360.00	1.50	38.10	0.82	224.11	3.59	2.70	0.61	0.00	4.19
10 11	10.14	2880.00	1.25	31.75	1.01	407.22	4.13	1.96	0.80	0.00	4.93
11 12	11.30	2400.00	1.25	31.75	0.84	295.84	3.34	1.96	0.58	0.00	3.92
12 13	19.28	1920.00	1.25	31.75	0.67	200.41	3.86	1.96	0.39	0.00	4.26
13 14	11.40	1440.00	1.00	25.40	0.79	350.14	3.99	1.29	0.45	0.00	4.44
14 15	12.04	960.00	1.00	25.40	0.53	173.48	2.09	1.29	0.22	0.00	2.31
15 16	9.68	480.00	0.75	19.05	0.47	205.28	1.99	1.09	0.22	0.00	2.21
BAT	0.70	480.00	0.75	19.05	0.47	205.28	0.14	1.10	0.23	12.94	13.31
31 30	10.70	480.00	0.75	19.05	0.47	205.28	2.20	1.64	0.34	0.00	2.53
30 29	10.58	960.00	1.00	25.40	0.53	173.48	1.84	1.29	0.22	0.00	2.06
29 28	10.69	1440.00	1.00	25.40	0.79	350.14	3.74	1.29	0.45	0.00	4.19
28 27	19.87	1920.00	1.25	31.75	0.67	200.41	3.98	1.41	0.28	0.00	4.26
27 26	10.15	2400.00	1.25	31.75	0.84	295.84	3.00	1.41	0.42	0.00	3.42
26 25	10.40	2880.00	1.25	31.75	1.01	407.22	4.24	1.41	0.57	0.00	4.81
25 24	10.60	3360.00	1.50	38.10	0.82	224.11	2.38	2.15	0.48	0.00	2.86
24 23	18.60	3840.00	1.50	38.10	0.94	283.34	5.27	3.10	0.88	0.00	6.15
23 22	10.80	4320.00	1.50	38.10	1.05	348.62	3.77	1.69	0.59	0.00	4.35
22 21	9.87	4800.00	1.50	38.10	1.17	419.83	4.14	1.69	0.71	0.00	4.85
21 20	18.65	5280.00	1.75	44.45	0.95	238.13	4.44	1.82	0.43	0.00	4.87
20 19	9.85	5760.00	1.75	44.45	1.03	277.65	2.73	1.82	0.51	0.00	3.24
19 18	11.02	6240.00	1.75	44.45	1.12	319.84	3.52	1.82	0.58	0.00	4.11
18 17	10.42	6720.00	1.75	44.45	1.20	364.66	3.80	1.82	0.66	0.00	4.46
17 32	24.40	7200.00	1.75	44.45	1.29	412.07	10.05	11.45	4.72	50.00	64.77

Tabla 22: Cálculo de pérdida de carga por tramos

En el Plano 04 recogido en este proyecto, se pueden observar los distintos tramos del circuito y su diámetro, además de un esquema de los captadores.

Una vez se tiene calculada la pérdida de carga por tramos de la instalación, es necesario calcular la pérdida de carga total de cada circuito, es decir la pérdida de carga del fluido que pase por cada batería de captadores y vuelva a la bomba. Para ello se han numerado las baterías de captadores en orden ascendente en el sentido del agua fría del circuito primario, siendo la primera batería la más cercana al calo que accede al cuarto de calderas.

Para calcular la pérdida de carga de cada circuito se suman las pérdidas de carga de todos los tramos por los que pase fluido desde inicio hasta el fin, pasando por la batería de captadores correspondiente a cada circuito, por lo tanto, tendremos un total de 15 circuitos.

El objetivo del estudio de pérdida de carga es conseguir que la instalación esté lo más cerca de ser completamente equilibrada, es decir, que exista la misma pérdida de carga en todo circuito de la instalación. Para conseguir dicho fin, se recurre a un diseño de retorno invertido. El retorno invertido consiste en una distribución en la que, las baterías estén conectadas a una distancia de tubería similar, es decir, la primera batería del conducto de fluido frío, deberá ser la última del conducto caliente, de esta sencilla forma se consigue un equilibrio casi perfecto entre los componentes del sistema.

A continuación, se muestran las pérdidas de carga totales de cada circuito, que fracción de cada circuito corresponde al total de pérdida de carga y que desequilibrio existe con el circuito de mayor pérdida:

	kPa	%	kPa	%
BATERIA	D_p	PORCEN	DESEQ	DESEQ %
1	147.437	6.656	4.545	2.991
2	147.532	6.660	4.451	2.928
3	147.356	6.652	4.626	3.044
4	147.397	6.654	4.585	3.017
5	147.619	6.664	4.363	2.871
6	147.720	6.669	4.263	2.805
7	147.406	6.655	4.576	3.011
8	145.593	6.573	6.390	4.204
9	146.926	6.633	5.056	3.327
10	147.044	6.638	4.938	3.249
11	147.547	6.661	4.435	2.918
12	151.982	6.861	0.000	0.000
13	147.788	6.672	4.195	2.760
14	148.041	6.683	3.941	2.593
15	147.719	6.669	4.264	2.805
TOTAL	2215.106	100		

*Tabla 23: Pérdidas de carga por circuitos*

Se observa que la batería que sufre mayor pérdida de carga es la número 12. A raíz de ese dato, se calculan los porcentajes en los que difieren el resto de circuitos, vemos que el que menor pérdida sufre es el número 8, siendo esta diferencia de un 4% aproximadamente, por lo tanto podemos asumir que la instalación está correctamente diseñada.

Se muestra a continuación, a modo de resumen, los resultados del estudio de dimensionado de tuberías y pérdida de carga:

Caudal en tubería principal (l/h)	7200
Pérdida de carga máxima (kPa)	152
Batería con pérdida de carga máxima	12
Mayor desequilibrio instalación (%)	4,2

Tabla 24: Resultados dimensionado y pérdida de carga

### 2.6.3. Dimensionado de la bomba

Para grandes instalaciones como esta, es recomendable instalar dos equipos en paralelo, siendo uno de ellos el equipo de reserva, entrando en juego tan solo si la principal falla. Además, esto facilita las labores de mantenimiento ya que el sistema puede seguir funcionando correctamente mientras una de las bombas esta parada. Como es evidente, el grupo de presión estará conectado en el lado frío del circuito, evitando así altas temperaturas a las bombas.

La bomba deberá poder cumplir con el gradiente de presión más desfavorable de la instalación, siendo en este caso el circuito 12, como se ha demostrado previamente. Dicho gradiente de 152 kPa aproximadamente, equivalente a 15.51 m.c.a.

Además hay que calcular el caudal que deberá mover dicho equipo, en nuestro caso, es de  $7.2 \frac{m^3}{h}$ . Con estos dos valores, ya podemos seleccionar el equipo que más convenga a la instalación.

La bomba elegida para originar movimiento y presión es la instalación es la CEAM 120/3, del fabricante LOWARA. A continuación, se muestra la curva de operación de la bomba:

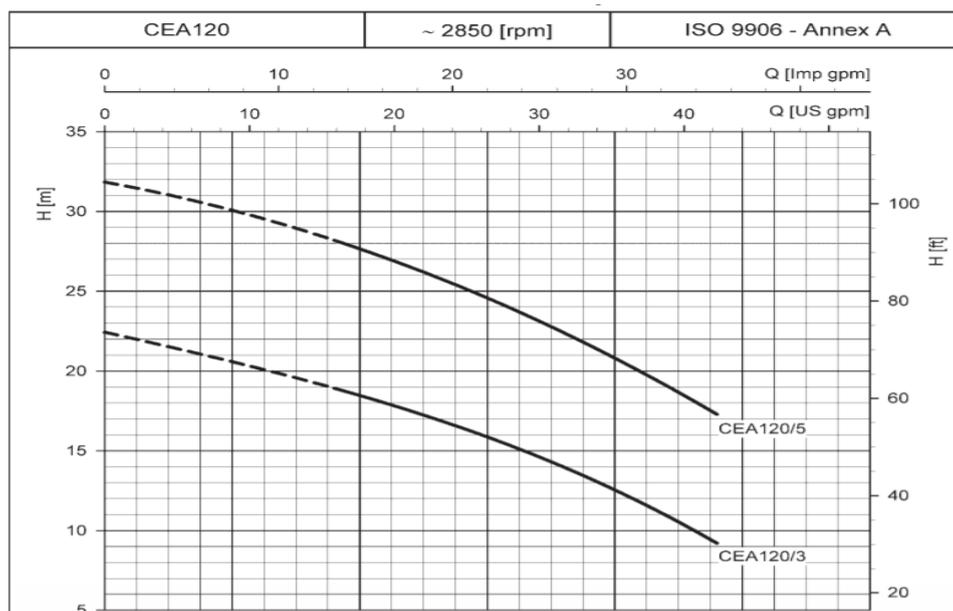


Figura 32: Curva de operación de la bomba

## 2.6.4. Dimensionado del vaso de expansión

Posterior a la bomba, es necesario dimensionar el vaso de expansión que brinda estabilidad a la instalación. Para diseñarlo, nos regimos por la norma previamente mencionada en este escrito. Dicha norma expone que para un vaso de expansión cerrado con membrana el volumen del mismo sigue la siguiente expresión:

$$V_{ve} = V * C_e * C_p$$

Donde,

- $V$  : representa el volumen total de fluido caloportador en la instalación. En litros.
- $C_e$ : equivale al coeficiente de expansión del fluido.
- $C_p$ : Coeficiente de presión.

Para calcular el volumen total de fluido caloportador que se encuentra en la instalación debemos sumar el volumen total de: captadores, tuberías e interacumuladores.

Según el fabricante, el captador escogido tiene un volumen interior de 1.42 litros. Ya que disponemos de un total de 75 captadores, en total habrá:

$$V_{captadores} = 1.42 * 75 = 106.5 \text{ l}$$

Ahora pasamos a calcular el volumen total que pueden albergar las tuberías:

Diámetro (")	Diámetro (mm)	Metros tubería	Volumen (litros)
0.75	19.05	21	6
1	25.4	44.7	22.65
1.25	31.75	81.1	64.2
1.5	38.1	92.2	105.1
1.75	44.45	146.55	227.4
		<b>TOTAL</b>	<b>425.35</b>

Tabla 25: Cálculo de volumen de fluido en las tuberías

Por último, calculamos el volumen total que albergan los interacumuladores. Según las características técnicas del interacumulador, su serpentín dispone de un volumen de 56 litros. Ya que en la instalación hay 2 interacumuladores idénticos, tendremos:

$$V_{inter} = 56 * 2 = 112 \text{ l}$$

Con todo esto, obtenemos que:

$$V_T = V_{cap} + V_{inter} + V_{tub} = 643.91 \text{ l}$$

A continuación, pasamos a calcular los coeficientes tanto de expansión como de presión, empezamos por el primero.

El coeficiente de expansión es siempre menor que 1 y de valor positivo y sigue la siguiente fórmula:

$$C_e = f_e * (-1,75 + 0,064 * T + 0,0036 * T^2) * 10^{-3}$$

Donde T es la temperatura del fluido y  $f_e$  representa el factor corrector al tratarse la mezcla de agua y glicol. La temperatura de diseño del fluido caloportador es de 60°C ya que se encontrará en el lado frío del circuito, en concreto en la aspiración de la bomba que es el lugar de menor presión del circuito. Respecto al factor corrector, se calcula de la siguiente manera:

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

Donde:

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

$$b = 3,5 * 10^{-4} * (G^2 - 94,57 * G + 500)$$

El factor G se refiere al porcentaje de glicol existente en el fluido caloportador, en este caso equivale a 20. Dicho esto, obtenemos lo siguiente:

$$f_e = 1.34$$

Una vez conocido el factor corrector:

$$C_e = 0.0202$$

Para el cálculo de presión es necesario conocer dos presiones vitales de la instalación, la máxima y la mínima que puedan desarrollarse en la instalación:

$$C_p = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n}}$$

La presión máxima equivale a la presión de mayor valor que vaya a producirse en la instalación, es decir, la presión a la cual la válvula de seguridad dispara. Esta presión está regida por la presión máxima soportada por los equipos. En la instalación comprobamos que los equipos soportan una presión de 8 bares de media.

La presión mínima equivale a la presión estática existente en la instalación. Para estimar dicha presión, evaluaremos la diferencia de altura máxima entre los puntos de mayor y menor altura del circuito. En la residencia la diferencia de altura entre sala de calderas y cubierta es de unos 13 mts. Dicha presión estática se refiere siempre y cuando el fluido se encuentre en la parte fría del circuito ya que su presión será menor. Para una diferencia de 13 metros equivalen unos 1.274 bar. Dicha presión equivale a la presión manométrica de la instalación, para obtener la absoluta debemos sumar 1 bar referente a la atmósfera terrestre. Por último, se suma 0.5 bar como factor de seguridad. Con esto tenemos que:

$$P_{m\acute{i}n} = 2.774 \text{ bar}$$

Con ello obtenemos que:

$$C_p = 1.531$$

Con todos estos datos, podemos finalmente calcular el volumen del vaso de expansión necesario para la instalación:

$$V_{ve} = 20.38 \text{ l}$$

Según la norma referente al diseño de sistemas de expansión, el vaso debe ser como mínimo un 6% del volumen total de la instalación:

$$643.91 * 0.06 = 38.6 \text{ l}$$

Por lo que debemos regirnos por dicha norma y ajustarnos al volumen exigido de aproximadamente unos 40 litros.

Con esta premisa, escogemos el modelo 50 AMR-P del fabricante Salvador Escoda, cuya presión máxima de trabajo es de 10 *bar* y tiene un volumen de 50 l.

## 2.6.5. Cálculo de aislamientos

El cálculo de aislamientos de la instalación está regulado directamente por el RITE, en concreto por la "IT 1.2.4.2.1 Aislamiento térmico de redes de tuberías" en la que se estipula que, cualquier tubería, depósito, equipo y demás accesorios deberá estar aislado si el fluido que circula por el mismo supera una temperatura de 40°C, esto quiere decir que toda nuestra instalación deberá de estar correctamente aislada.

Se supone que los accesorios y resto de equipos están debidamente aislados de fábrica y que no es necesario instalar aislamiento adicional.

Dicho esto, se muestran los espesores mínimos exigido por el RITE para aislamientos de tuberías y accesorios que trasportan fluidos calientes:

<b>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</b>			
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 26: Espesores mínimos en interior de edificios

<b>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</b>			
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 27: Espesores mínimos en exterior de edificios

Para la instalación a estudio, se considera que el circuito de distribución está aislado desde su construcción, por lo que siempre vamos a referirnos al circuito primario.

Las temperaturas de la parte fría del circuito estarán entre 40 y 60°C, mientras que en la parte caliente rondarán entre los 60 y 100°C. Una vez mencionado esto, se analizan los metros, diámetros y ubicación de las tuberías del circuito primario a estudio.

Hacemos referencia a la tabla 20 que muestra los tramos existentes y su diámetro y longitud. Los únicos tramos que discurren por el interior del edificio (sala de calderas) son los tramos: 1-2 y 17-32, el resto se encuentra en el exterior.

Con la relación de tuberías y los requisitos del RITE, tenemos la siguiente relación de tuberías con su respectivo aislante adecuado.

c	Fluido	Diámetro (")	Diámetro (mm)	Metros tubería	Diámetro de aislante (mm)
Exterior	Caliente	0,75	19,05	11,4	35
Exterior	Frio	0,75	19,05	9,7	35
Exterior	Caliente	1	25,4	21,3	35
Exterior	Frio	1	25,4	23,4	35
Exterior	Caliente	1,25	31,75	40,4	35
Exterior	Frio	1,25	31,75	40,7	35
Exterior	Caliente	1,5	38,1	49,9	40
Exterior	Frio	1,5	38,1	46,2	40
Exterior	Caliente	1,75	44,45	67,9	40
Exterior	Frio	1,75	44,45	66,0	40
Interior	Caliente	1,75	44,45	6,4	30
Interior	Frio	1,75	44,45	6,2	30

Tabla 28: Aislamiento de tuberías

Para los distintos aislamientos, se ha escogido utilizar coquillas del fabricante ROCKWOOL. Para las tuberías exteriores se instalará la coquilla TECLIT PS200, formada por lana de roca con un recubrimiento de aluminio para proteger de los rayos solares y demás inclemencias. Para tuberías interiores no es necesario la instalación de coquilla revestida, por lo que se instalará el modelo 880, del mismo material pero sin recubrimiento, más económico.

Según el RITE, dichas tablas de espesores son válidas siempre y cuando el aislante sea de una conductividad de  $0.040 \frac{W}{k \cdot m}$  a una temperatura de 10°C. Ambos modelos escogidos, presentan una conductividad de 0.033 por lo que cumplen los requerimientos del RITE.

### 2.6.6. Selección de accesorios

A continuación, se nombran los accesorios a incluir en la instalación:

- Válvula de retención: Para asegurar el correcto sentido del flujo por el campo de captadores. Se colocará aguas debajo del grupo de bombeo.

- Válvulas de corte: Se instalan válvulas de esfera a la entrada y salida de todos los equipos de la instalación. Vitales para sectorizar y ejecutar un correcto mantenimiento de los equipos. Además, se instalarán a la salida del campo de captadores y de los tanques para evitar que la presión existente conduzca el fluido a lugares no deseados.
- Purgadores de aire: Se instalan en el campo de captadores para evitar posibles burbujas de aire en la instalación. Se instalará uno por cada batería de captadores, quince en total.
- Válvula de vaciado: Para realizar un correcto vaciado del circuito, se instalará en la aspiración de las bombas del circuito primario.
- Válvulas de seguridad: Para evitar sobrepresiones en el circuito, se instalarán dos válvulas, una a la salida del campo de captadores y la otra en la conexión entre la tubería principal y el vaso de expansión.
- Sensores temperatura: Para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y para aportar parámetros al control del sistema. Se instalarán en total dos sondas, una a la salida del campo de captadores y otra a la salida del sistema de acumulación.



## Anexo I: Informe resultados CHEQ4



La instalación solar térmica especificada CUMPLE los requerimientos mínimos especificados por el HE4

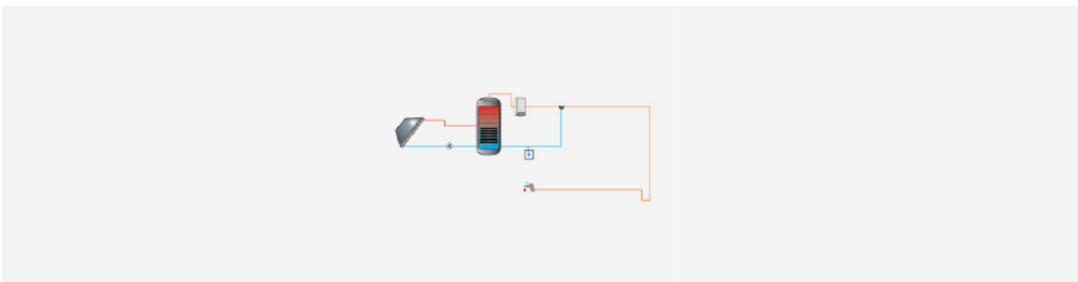
### Datos del proyecto

Nombre del proyecto	
Comunidad	
Localidad	
Dirección	

### Datos del autor

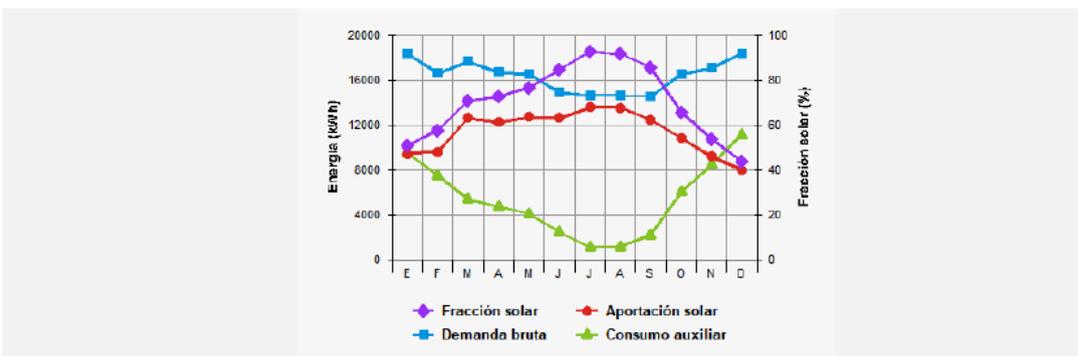
Nombre	
Empresa o institución	
Email	
Teléfono	

### Características del sistema solar



Localización de referencia	Sevilla (Sevilla)											
Altura respecto la referencia [m]	0											
Sistema seleccionado	Instalación de consumidor único con interacumulador											
Demanda [l/día a 60°C]	10.250											
Ocupación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

### Resultados



Fracción solar [%]	70
Demanda neta [kWh]	193.195
Demanda bruta [kWh]	197.353
Aporte solar [kWh]	137.381
Consumo auxiliar [kWh]	64.171
Reducción de emisiones de [kg de CO2]	29.655

La instalación solar térmica especificada CUMPLE los requerimientos mínimos especificados por el HE4

Parámetros del sistema		Verificación en obra
<b>Campo de captadores</b>		
Captador seleccionado	T25MS ( Termicol )	<input type="checkbox"/>
Contraseña de certificación	NPS-3713 - Verificar vigencia	<input type="checkbox"/>
Número de captadores	75,0	<input type="checkbox"/>
Número de captadores en serie	1,0	<input type="checkbox"/>
Pérdidas por sombras (%)	0,0	<input type="checkbox"/>
Orientación [°]	18,0	<input type="checkbox"/>
Inclinación [°]	35,0	<input type="checkbox"/>
<b>Circuito primario/secundario</b>		
Caudal circuito primario [l/h]	12.312,0	<input type="checkbox"/>
Porcentaje de anticongelante [%]	20,0	<input type="checkbox"/>
Longitud del circuito primario [m]	309,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	57,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	45,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	lana mineral	<input type="checkbox"/>
<b>Sistema de apoyo</b>		
Tipo de sistema	Caldera convencional	<input type="checkbox"/>
Tipo de combustible	Gas natural	<input type="checkbox"/>
<b>Acumulación</b>		
Volumen [l]	10.000,0	<input type="checkbox"/>
<b>Distribución</b>		
Longitud del circuito de distribución [m]	1.000,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	37,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	40,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	espuma de poliuretano	<input type="checkbox"/>
Temperatura de distribución [°C]	60,0	<input type="checkbox"/>



# **PLIEGO DE CONDICIONES**

---

## **3. Pliego de condiciones**

### **3.1. Objeto**

El pliego de condiciones desarrollado a continuación, estipula los criterios y necesidades generales a cumplir al llevar a cabo la instalación descrita en este proyecto. Se listarán detalladamente todos los componentes y materiales a utilizar, procedimiento de montaje de los equipos y puesta en marcha de los mismos.

Por último, se listarán unas medidas de seguridad básicas de prevención de riesgos laborales y el plan de mantenimiento necesario a seguir para el correcto funcionamiento y conservación de la instalación.

### **3.2. Normativa aplicable**

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

- Pliego de Especificaciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Térmica a Baja Temperatura.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE). Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones Complementarias MI.BT, incluidas las hojas de interpretación.
- Código Técnico de la Edificación - Acciones en la Edificación (CTE-DB-AE).
- Código Técnico de la Edificación – Seguridad en caso de incendio (CTE-DBSI).
- Código Técnico de la Edificación – Protección frente al ruido (CTE-DB-HR)
- Norma UNE-EN 12975-1:2006. “Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares.”
- Igualmente, se cumplirá con toda la normativa de carácter regional y local (Ordenanzas, etc.).

Aparte de la Normativa de carácter obligatorio antes mencionada, se utilizarán otras normas como las UNE de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), normas NTE del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo o de las Compañías suministradores de energía eléctrica, etc. En ocasiones, a falta de normativa española, podrán utilizarse de organismos internacionales, como CER, ISO, etc.

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

### 3.3. Condiciones de materiales y equipos

#### 3.3.1. Captadores solares

El captador deberá estar provisto de una etiqueta o pegatina informativa con los siguientes datos y parámetros:

- Nombre fabricante
- Modelo
- Número de serie/fabricación
- Año de fabricación
- Superficie
- Dimensiones
- Presión y temperatura máximas de trabajo
- Temperatura de estancamiento a  $1000 \frac{W}{m^2}$  y  $30^{\circ}C$
- Peso del captador vacío
- Volumen del fluido de transferencia de calor

Se exige el uso de captadores que se ajusten a las siguientes especificaciones técnicas:

- El material de la cubierta transparente sea vidrio templado de espesor no inferior a 3 mm y transmisividad mayor o igual a 0,8.
- La distancia media entre el absorbedor y la cubierta transparente será de entre 2 y 4 cm.
- Absorbedor construido completamente por materiales metálicos.
- La instalación de sistemas integrados en cubierta se debería realizar mediante un procedimiento acreditado por el fabricante y de forma que se garanticen las características funcionales y de durabilidad del conjunto.
- Los datos para la caracterización térmica, hidráulica y mecánica del captador solar deberán proceder de los resultados del ensayo realizado conforme a la norma UNE 12975.

Todos los captadores de la instalación deberán ser del mismo tipo, modelo y especificaciones.

Si en una futura ampliación, reforma o rehabilitación de la instalación, fuera imposible mantener el mismo captador:

- Se dispondrá de un sistema de regulación de caudal por baterías que permita que las nuevas baterías presenten el mismo caudal (diferencia máxima del 10%) que las existentes cuando circule por el circuito primario el caudal de diseño.
- Los nuevos captadores deberán ser estéticamente similares.

La estructura de sujeción y apoyo del captador deberá cumplir con los requisitos establecidos en el CTE-SE.

Los materiales de la misma deberán estar preparados para su durabilidad frente a la exposición de los agentes ambientales, presentando especial resistencia frente a la radiación solar, el viento y el agua.

Las estructuras de acero deberán ser de acero galvanizado y/o protegidas por pinturas o tratamientos anticorrosión que protejan frente a las inclemencias. Cualquier modificación a la estructura deberá realizarse previa al tratamiento a someter a los materiales o realizar un tratamiento posterior a la modificación.

Por último, la tornillería y demás normales deberán cumplir con los mismos requisitos que la estructura a la que pertenezcan para asegurar una protección total de la misma.

### **3.3.2. Tuberías**

En los distintos circuitos de la instalación, deberán utilizarse tuberías de cobre, de acero inoxidable. Si fuese necesario la elección de algún otro material, se debe asegurar previamente que dicho material es válido para las temperaturas y presiones de diseño. Todos los materiales deberán estar autorizados 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.

En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero según Norma UNE 100050.

### **3.3.3. Accesorios**

- Conexiones a equipos:

Se utilizarán tipos de uniones que permitan una fácil conexión y desconexión de los elementos de la red de tuberías de la instalación. Se facilitará la sectorización para el correcto mantenimiento de los equipos y el fácil desmontaje de las tuberías.

Las conexiones tendrán además, la función de evitar la transmisión de esfuerzos provenientes de las tuberías hacia los equipos.

- Juntas:

Prohibida la utilización de juntas de amianto. Además, las juntas deberán estar preparadas para aguantar condiciones de PN10 y hasta 200°C de trabajo.

- Lubricante de roscas:

Se utilizará lubricante no venenoso. Tampoco podrá ser endurecedor.

- Compensadores de dilatación:

Su uso deberá ser en los circuitos de fluido caliente. Serán instalados en los puntos donde se esperen mayores resultados de dichas dilataciones. Se deben colocar en dos puntos fijos de forma

que resista tanto la presión como las dilataciones esperadas.

- Derivaciones:

Las terminaciones deberán ser precisas y correctamente conectadas. Se utilizarán empalmes soldados salvo que la situación no lo permite.

- Codos en bombas:

En el caso de que sea necesaria una conexión directa de un codo a la bomba, este deberá ser largo suficiente y con curvatura no muy agresiva para facilitar aspiración y descarga de la bomba.

- Termómetro:

Para el control de temperatura en la instalación, se deberán usar sondas de temperatura que soporten temperaturas de hasta 200°C. Las conexiones eléctricas y cableado de las mismas deberán estar protegidas por tubos corrugados o similar para evitar el desgaste producido por la radiación solar y las altas temperaturas.

- Manómetros:

Se instalarán dos tipos de manómetros, físicos y electrónicos. Los de tipo sonda, deberán estar protegidos de igual manera que los de temperatura.

Los manómetros físicos serán de aguja inmersa en glicerina. Se colocarán en tramos representativos de las tuberías o en importantes equipos si no disponen de uno incorporado de fábrica.

- Purgadores de aire:

Se instalarán purgadores en los puntos más elevados de la instalación para evitar acumulaciones de aire en las tuberías. Los purgadores deberán soportar temperaturas de hasta 200°C y presiones PN10.

Los materiales de los purgadores deberán seguir las siguientes especificaciones: Cuerpo y tapa de fundición de hierro o latón. Mecanismo de acero inoxidable. Flotador y asiento de acero inoxidable o de plástico. Obturador de goma sintética.

- Vaciados:

Se instalarán vaciados en los puntos más bajos de la instalación y serán derivados hacia el desagüe más cercano. También se instalarán puntos de vaciado en equipos como interacumuladores.

### **3.3.4. Valvulería**

Los principales parámetros que definen una válvula son su diámetro, su presión y su temperatura.

Para los distintos usos o situaciones de instalación de válvulas se seguirán los siguientes criterios:

- Seguridad: Válvula de resorte
- Retención: Válvula de disco.
- Purga de aire: Válvula de esfera.

- Aislamiento: Válvula de esfera.
- Llenado: Válvula de esfera.
- Equilibrado: Válvula de asiento
- Vaciado: Válvula de esfera

Las válvulas de seguridad, al ser la protección más importante de la instalación, deberán ser especialmente resistentes, aguantando temperaturas de hasta 200°C y presiones de hasta PN20. De esta forma aseguramos integridad de los equipos de la instalación en todo momento.

Los materiales de la valvulería deberán seguir las siguientes especificaciones:

- Válvulas de esfera:

Cuerpo de fundición de hierro o acero. Esfera y eje de acero duro cromado o acero inoxidable. Asientos, estopada y juntas de teflón. Podrán ser de latón estampado para diámetros inferiores a 1 1/2 con esfera de latón duro cromado.

- Válvulas de asiento:

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

- Válvulas de seguridad de resorte:

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

- Válvulas de retención de carpeta:

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

- Válvulas de retención de muelle:

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

### **3.3.5. Aislamiento**

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

El material aislante situado a la intemperie debería protegerse adecuadamente frente a los agentes atmosféricos

de forma que se evite su deterioro. Como protección del material aislante se podrá utilizar una cubierta o revestimiento de escayola protegido con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio.

### **3.3.6. Interacumuladores**

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

El interacumulador especificará:

- Tipo
- Volumen cúbico real
- Dimensiones
- Presión de trabajo máximo
- Temperatura máxima de almacenaje
- Ubicación y diámetro de las bocas de conexión
- Ubicación y características de los puntos de apoyo.
- Material y espesor del aislamiento incorporado

Además, para reconocimiento inmediato, el depósito dispondrá de una placa de identificación en la que se recogerá la siguiente información:

- Nombre del fabricante
- Número de fabricación
- Volumen neto de acumulación, en litros
- Presión máxima de servicio, en bares

### **3.3.7. Vasos de expansión**

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

- Fabricante
- Modelo
- Número de fabricación

Se recomienda que los vasos utilizados en los circuitos primarios tengan una temperatura máxima de funcionamiento superior a 100°C, en cualquier caso, se adoptarán las medidas necesarias (vaso tampón,

tubería de enfriamiento, etc.). Para que no llegue al vaso fluido a temperatura superior a la que el mismo pueda soportar.

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

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

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

### **3.3.8. Bombas**

La bomba de circulación llevará una placa donde debe ir grabado con claridad:

- Fabricante
- Modelo
- Características eléctricas
- Número de fabricación

Respecto a materiales y especificaciones técnicas, las bombas deberán seguir las siguientes:

- Cuerpo en fundición o bronce. Partidos, o no, según planos. Se incluirán conexiones para cebado, venteo, drenaje y manómetros en impulsión y descarga.
- Rodete de fundición/ polysulfone o bronce.
- Eje en acero inoxidable AISI 316.
- Tubo de estanqueidad en acero inoxidable.
- Cojinete a bolas de carbono, a prueba de polvo y humedad.
- Cierres mecánicos: todas las bombas deberán de estar provistas con cierres mecánicos y separadores de sedimentos.
- Juntas torcas de EPDM.
- Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.
- Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto.

- Motor de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220V/1 o 220/380V/3, 50 Hz, IP.44 clase F.
- Presión de aspiración 2 maca, para 82°C.
- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, número de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

### **3.3.9. Sistema de control**

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

Se construirá un cuadro eléctrico específico para la instalación solar, debidamente etiquetado todo elemento y sus protecciones correspondientes.

El sistema de control consistirá en un controlador digital programable e incorporará una adquisición de datos de la instalación en tiempo real.

Los datos a tomar serán: caudales, temperaturas en captadores, acumuladores, potencia y energía inyectada en cada servicio y número de horas de funcionamiento de las bombas y de la instalación.

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

- Activar la bomba de circulación en función del salto de temperatura entre la salida de la batería de captadores y la parte baja del acumulador.
- La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que detecten exactamente las temperaturas que se desean, instalándose los sensores en el interior de vainas.
- La precisión de los sistemas de control y la regulación de los puntos de consigna asegurará que en ningún caso las bombas estén en marcha con diferencias de temperaturas menores de 2°C ni paradas con diferencias superiores a 7°C.
- La diferencia de temperatura entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial no será inferior a 2°C.
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.

### **3.3.10. Sistemas de medida**

Los sistemas de medida informan sobre temperaturas, presiones y demás parámetros de funcionamiento para asegurar y comprobar de qué forma está trabajando la instalación. A raíz de estos datos, se puede evaluar y mejorar la instalación.

Se distinguen los siguientes equipos de medida:

- Medida de la temperatura:

Se realizarán mediante sondas si es posible. Si no lo es, se recurrirá a otras alternativas como

termopares o termómetros de resistencia.

Las sondas que se utilizarán deberán de inmersión. Si no es posible que sean de inmersión se deben poner a una distancia menor de 5 cm del fluido.

- Medida de caudal:

Para controlar que flujo discurre por las distintas zonas de la instalación, se instalarán una serie de contadores repartidos por los distintos tramos del circuito. Los caudalímetros deberán estar provistos de acoplamiento para sondas de pulsos mediante las cuales se recogerán las lecturas de dichos caudales.

Todo caudalímetro deberá estar provisto de una etiqueta informativa que contenga los siguientes datos del equipo:

- Calibre del contador
- Dimensiones
- Temperatura y presión máxima del fluido de trabajo
- Tipos de caudales: máximo, mínimo, de operación y de arranque.
- Diámetro y tipo de conexión

El caudalímetro tendrá que tener una precisión que difiera tan solo un 3% de la real.

- Medida de la energía térmica:

Para el cálculo de energía térmica se recurrirá a la central elegida, dicha central con los datos de temperatura (diferencia entre estas) y caudales que discurren por las tuberías calculará que cantidades de energía está transmitiendo la instalación hacia consumo y entre elementos.

### **3.4. Provisión de material**

Todos los componentes a instalar deberán estar homologados y cumplir con las normativas vigentes que les conciernan. De esta forma se garantizará la calidad de los equipos y su futuro correcto funcionamiento.

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

Para el suministro de captadores, se exigirá que se haga mediante el uso de palets de madera, siendo la descarga lo más cuidadosa posible para evitar daños.

En el caso de que sea necesario desembalar los captadores y dejarlos expuestos a la intemperie, se colocaran con un Angulo mínimo de 20° y máximo de 80°.

### **3.5. Condiciones de montaje**

Los fabricantes de cada equipo deberán especificar la correcta forma de montaje de sus equipos o materiales. Estas condiciones deberán ser seguidas en todo momento.

Si la normativa vigente fuese más restrictiva que las instrucciones del fabricante, serán estas las condiciones a seguir.

Durante el montaje de los equipos se prestará atención a toda instrucción provista tanto de normativa como de fabricante para asegurar la correcta instalación.

### **3.6. Prevención de riesgos laborales**

Las tareas de montaje, pruebas de funcionamiento y puesta en marcha, así como el mantenimiento de la instalación se realizarán siempre respetando las condiciones que se establecen en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales en materia de seguridad.

Antes de realizar cualquier operación de instalación deberá de cerciorarse que dispone todos los equipos de seguridad necesarios y que están en buen estado. Además, es necesario asegurar que el personal está capacitado para realizar trabajos bajo tensión y en alturas según la reglamentación donde se ejecute la instalación y que conoce las consignas de seguridad, así como los medios de prevención.

En caso de que el personal que vaya a formar parte del equipo de instalación no tenga experiencia sobre los riesgos de los trabajos que se van a realizar y sus medios de prevención, deberán de ser dichos trabajadores formados por la empresa que vaya a ejecutar dichos trabajos.

El montaje del presente proyecto deberá de ser realizado por una empresa cualificada y homologada en instalaciones térmicas en los edificios.

Deberá de tener presente siempre que todos los elementos de seguridad personal (EPIs) deben de estar homologados, en buen uso y bien conservados.

### **3.7. Puesta en marcha, pruebas y recepción de la instalación**

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

En el documento de Control de Ejecución se recogerán las pruebas parciales, finales y funcionales realizadas, así como la fecha en la que tuvieron lugar, los resultados obtenidos y el grado de cumplimiento de las expectativas. Al objeto de la recepción de la instalación se entenderá que el funcionamiento de esta es correcto, cuando la instalación satisfaga como mínimo las pruebas parciales incluidas en el presente capítulo.

#### **3.7.1. Pruebas parciales**

Todas las pruebas estarán precedidas de una comprobación de los materiales al momento de su recepción a obra. Durante la ejecución de obra, todos los tramos de tubería, uniones o elementos que vayan a quedar ocultos, deberían ser expuestos para su inspección y debería quedar expresamente aprobado su montaje antes de quedar ocultos.

- Pruebas a equipos:

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

- Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas:

Todas las redes de circulación de fluidos portadores deberán ser probadas hidrostáticamente, a fin de asegurar su estanqueidad, antes de quedar ocultas por obras de albañilería, material de relleno o por el material aislante. Son aceptables las pruebas realizadas de acuerdo con la UNE--EN 14336:2005, según el fluido a transportar.

- Pruebas de libre dilatación:

Una vez se hayan realizado las pruebas anteriores, las instalaciones equipadas con captadores solares se llevarán hasta la temperatura de estancamiento de los elementos de seguridad. Una vez la instalación se haya enfriado hasta la temperatura normal, se comprobarán que todos los elementos de expansión hayan funcionado correctamente y que no se hayan producido daños y/o deformaciones en ningún elemento.

### **3.7.2. Pruebas finales**

Las pruebas finales son las que garantizan la calidad, funcionamiento y confianza en la instalación.

Las pruebas finales se realizarán siguiendo la norma UNE--EN 12599. Es aconsejable realizarse en un día sin demanda y soleado para asegurar así las condiciones futuras de funcionamiento.

### **3.7.3. Equilibrado y ajustes**

Se realizarán de acuerdo con lo establecido en la Norma UNE 100.010 (partes 1, 2 y 3), "Climatización. Pruebas de ajuste y equilibrado", particularizando para el tipo de instalación a comprobar.

- Sistemas de distribución de agua:

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

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

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

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

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

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

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

- Control automático

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

### **3.7.4. Recepción**

Una vez concluida la instalación, se realiza la recepción de la misma, existiendo dos tipos de recepciones:

- Recepción provisional:

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

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

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

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

- Recepción definitiva:

Tras la revisión de la instalación por parte de la propiedad y si no se encuentra falta alguna sobre la misma, se procede a la recepción definitiva. Desde ese momento el acta provisional deja de tener valor y el acta de recepción definitiva es el documento que garantiza la recepción de la misma.

Tras la recepción definitiva, comienza el periodo de garantía de la instalación, siendo este de la duración acordada con el cliente y receptor.

### 3.8. Mantenimiento

El mantenimiento de una instalación de este tipo puede dividirse en tres tipos:

#### 3.8.1. Vigilancia

El plan de vigilancia es una comprobación de que las funcionalidades principales de la instalación están en correcto estado, puede realizarse por el usuario.

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia (meses)	Descripción
<b>CAPTADORES</b>	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	Cristales	3	IV condensaciones en las horas centrales del día
	Juntas	3	IV Agrietamientos y deformaciones
	Absorbedor	3	IV Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV fugas
	Estructura	3	IV degradación, indicios de corrosión.
<b>CIRCUITO PRIMARIO</b>	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV Ausencia de humedad y fugas.
	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín
<b>CIRCUITO SECUNDARIO</b>	Termómetro	Diaría	IV temperatura
	Tubería y aislamiento	6	IV ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito.

IV: inspección visual

Tabla 29: Plan de vigilancia de la instalación

#### 3.8.2. Mantenimiento preventivo

Este mantenimiento es realizado con idea de prevenir posibles fallos o malfuncionamiento de la instalación. El mantenimiento preventivo incluye operaciones de inspección visual, inspección de correctas maniobras de los actuadores y control de fugas.

El mantenimiento implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con superficie de captación inferior a 20 m<sup>2</sup> y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m<sup>2</sup>.

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general.

A continuación, se muestran las principales operaciones a realizar en los principales elementos de la instalación:

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
<b>Captadores Cristales</b>	6	IV diferencias sobre original
<b>Juntas</b>	6	IV diferencias entre <i>captadores</i>
<b>Absorbedor</b>	6	IV condensaciones y suciedad
<b>Carcasa</b>	6	IV agrietamientos, deformaciones
<b>Conexiones</b>	6	IV corrosión, deformaciones
<b>Estructura</b>	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
<b>Captadores*</b>	6	IV aparición de fugas
<b>Captadores*</b>	6	IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos
<b>Captadores*</b>	12	Tapado parcial del campo de <i>captadores</i>
<b>Captadores*</b>	12	Destapado parcial del campo de <i>captadores</i>
<b>Captadores*</b>	12	Vaciado parcial del campo de <i>captadores</i>
<b>Captadores*</b>	12	Llenado parcial del campo de <i>captadores</i>

Tabla 30: Mantenimiento sistemas de captación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
<b>Depósito</b>	12	Presencia de lodos en fondo
<b>Ánodos sacrificio</b>	12	Comprobación de desgaste
<b>Ánodos de corriente impresa</b>	12	Comprobación del buen funcionamiento
<b>Aislamiento</b>	12	Comprobar que no hay humedad

IV: inspección visual

Tabla 31: Mantenimiento sistemas de acumulación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
<b>Intercambiador de placas</b>	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
<b>Intercambiador de serpentín</b>	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza

CF: control de funcionamiento

Tabla 32: Mantenimiento sistema de intercambio

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	IV degradación protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento al interior	12	IV uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12	CF y limpieza
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6	CF actuación
Válvula de corte	12	CF actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	CF actuación

IV: inspección visual  
CF: control de funcionamiento

Tabla 33: Mantenimiento sistema de distribución

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Verificación del sistema de medida	12	CF actuación

CF: control de funcionamiento

Tabla 34: Mantenimiento sistema control

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Sistema auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

CF: control de funcionamiento

Tabla 35: Mantenimiento sistema auxiliar

### 3.8.3. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo no puede regirse por un plan como tal ya que las averías y fallos de la instalación nunca son contemplados, sino que aparecen durante la vida útil de la misma.

El mantenimiento correctivo, no obstante, si deberá llevar un registro de que operaciones se realizan, quién las realiza y fecha y firma del responsable de la actuación.

Dichas actuaciones correctivas deberán ser realizadas por personal cualificado y con conocimientos en este tipo de instalaciones.

En caso de que el personal que vaya a realizar el mantenimiento no tenga experiencia sobre los riesgos de los trabajos que se van a realizar y sus medios de prevención, deberán de ser dichos trabajadores formados por la empresa que vaya a ejecutar dichos trabajos.



# MEDICIONES Y PRESUPUESTO

---

# 4. Mediciones y presupuesto

## 4.1. Sistema de captación

Referencia	Concepto	Medida	Cantidad	Precio Ud.	Importe
1,1	Captador solar T-MS, fabricante Termicol (301A03T25) o similar: - Dimensiones: 2130x1200x83 (mm) - Area apertura: 2.4 m <sup>2</sup> - $\eta= 0.812$ , $K1= 3.812$ , $k2= 0.021$ - Peso en vacío: 39 kg - Capacidad: 1.27 l - Caudal diseño: 40 l/m <sup>2</sup> *h - Materiales: Marco de aluminio anodizado, cubierta de vidrio solar templado - Aislamiento: lana de vidrio 40 mm - Pérdida de carga: 2.6 kPa - Potencia pico: 1911 Wp	Ud	75	783,00 €	58.725,00 €
1,2	Estructura soporte, fabricante Termicol (401V15) o similar: - Materiales: acero galvanizado electrolítico - Soporte para batería de 5 captadores	Ud	15	541,00 €	8.115,00 €
1,3	Conexiones entre captadores, fabricante Termicol (211RACBAT0) o similar: - Conexiones entre captadores en batería - Packs de 4 unidades, válido para baterías de 5 captadores	Ud	15	11,00 €	165,00 €
1,4	Válvula esfera latón 3/4" HH. Salvador Escoda (AA0380). o similar	Ud	15	7,53 €	112,95 €
1,5	Conjunto accesorios batería, fabricante Termicol (211BATCAP0) o similar: - Purgador automático 3/8" - Válvula de esfera 3/4"	Ud	15	115,00 €	1.725,00 €
1,6	Anticongelante "Fluidosol", fabricante Termicol (707CGF0025) o similar: - Antocongelante a partir del glicol - Formato de 25 litros	Ud	4	180,00 €	720,00 €
				<b>TOTAL:</b>	<b>69.562,95 €</b>

## 4.2. Sistema de acumulación

Referencia	Concepto	Medida	Cantidad	Precio Ud.	Importe
2.1	Interacumulador vertical MXV5000 SSB, fabricante Lapesa o similar: - Capacidad 5000 litros - Acero inoxidable de alta calidad AISI 444/316L - Dimensiones 2710x1910 mm - Aislamiento de espuma de poliuretano inyectada - Brida inspección de gran tamaño DN400 para facilitar mantenimiento - Superficie de intercambio de 10 m <sup>2</sup>	Ud	2	17 823.00 €	35 646.00 €
				<b>TOTAL:</b>	<b>35 646.00 €</b>

### 4.3. Sistema hidráulico

Referencia	Concepto	Medida	Cantidad	Precio Ud.	Importe
3,1	Vaso expansión 50 ARM, fabricante Salvador Escoda (AC 04 020) o similar:  - Capacidad de 50 litros - Presión máxima trabajo 10 bar - Dimensiones: 620x360x - Disposición vertical	Ud	1	146,01 €	146,01 €
3,2	Soporte vaso expansión, fabricante Salvador Escoda (SO 14 212) o similar:  - Soporte 172 mm	Ud	1	55,00 €	55,00 €
3,3	Bomba CEAM 120/3, Fabricante Lowara (EB 20 258) o similar:  - Caudal de 9600 l/h - Potencia de 075 Cv - Presión máxima 22.5 m.c.a - Conexión monofásica 1x230V	Ud	2	415,00 €	830,00 €
3,4	TE cobre HHH 3/4". Salvador Escoda (5130) o similar	Ud	2	2,93 €	5,86 €
3,5	TE cobre HHH 1". Salvador Escoda (5130) o similar	Ud	4	5,33 €	21,32 €
3,6	TE cobre HHH 1.25". Salvador Escoda (5130) o similar	Ud	6	17,66 €	105,96 €
3,7	TE cobre HHH 1.5". Salvador Escoda (5130) o similar	Ud	8	33,17 €	265,36 €
3,8	TE cobre HHH 1.75". Salvador Escoda (5130) o similar	Ud	10	53,21 €	532,10 €
3,9	Tubería cobre 3/4 ". Según norma AENOR EN-12735, fabricante Ynstalia o similar	Mts	25	4,41 €	110,25 €
3,1	Tubería cobre 1 ". Según norma AENOR EN-12735, fabricante Ynstalia o similar	Mts	45	5,33 €	239,85 €
3,11	Tubería cobre 1.25 ". Según norma AENOR EN-12735, fabricante Ynstalia o similar	Mts	82	7,60 €	623,20 €
3,12	Tubería cobre 1.5 ". Según norma AENOR EN-12735, fabricante Ynstalia o similar	Mts	95	9,99 €	949,05 €
3,13	Tubería cobre 1.75 ". Según norma AENOR EN-12735, fabricante Ynstalia o similar	Mts	150	11,36 €	1.704,00 €
3,14	Codo 90° cobre 3/4 ", 90 HH. Salvador Escoda (5002A) o similar	Ud	2	1,98 €	3,96 €
3,15	Codo 90° cobre 1 ", 90 HH. Salvador Escoda (5002A) o similar	Ud	2	3,18 €	6,36 €
3,16	Codo 90° cobre 1.25 ", 90 HH. Salvador Escoda (5002A) o similar	Ud	2	8,81 €	17,62 €
3,17	Codo 90° cobre 1.5 ", 90 HH. Salvador Escoda (5002A) o similar	Ud	4	13,35 €	53,40 €
3,18	Codo 90° cobre 1.75 ", 90 HH. Salvador Escoda (5002A) o similar	Ud	12	37,64 €	451,68 €
3,19	Válvula esfera latón 3/4" HH. Salvador Escoda (AA0380). o similar	Ud	4	7,53 €	30,12 €
3,20	Válvula esfera latón 1" HH. Salvador Escoda (AA0380) o similar	Ud	6	12,53 €	75,18 €

3,21	Válvula esfera latón 1.25" HH. Salvador Escoda (AA0380) o similar	Ud	6	17,30 €	103,80 €
3,22	Válvula esfera latón 1.5" HH. Salvador Escoda (AA0380) o similar	Ud	8	28,59 €	228,72 €
3,23	Válvula esfera latón 1.75" HH. Salvador Escoda (AA0380) o similar	Ud	12	40,60 €	487,20 €
3,24	Válvula seguridad 1/2"x3/4" HH. Apta para mezclas agua-glicol y temperaturas hasta 160°C. Salvador Escoda (SO 07 222) o similar	Ud	2	13,80 €	27,60 €
3,25	Válvula retención BLOCK HH 1.75". Salvador escoda o similar	Ud	2	13,51 €	27,02 €
3,26	Válvula vaciado latón con portagoma y tapón de cierre. 3/4". Salvador Escoda (AA 02 413) o similar	Ud	1	19,70 €	19,70 €
				<b>TOTAL</b>	<b>7.120,32 €</b>

#### 4.4. Sistema de control

Referencia	Concepto	Medida	Cantidad	Precio Ud.	Importe
4.1	Central TDS100-2, fabricante Junkers o similar: - 3 entradas para sondas de temperatura NTC - Display LCD iluminado y animado - Antihielo electrónico - Regulación de velocidad en bomba - Dimensiones: 190 x 170 x 50 mm - Montaje sobre pared - Incluye dos sondas de temperatura NTC	Ud	1	240.00 €	240.00 €
				<b>TOTAL:</b>	<b>240.00 €</b>

#### 4.5. Aislamiento

Referencia	Concepto	Medida	Cantidad	Precio Ud.	Importe
5.1	Aislamiento coquilla TECLIT PS200 o similar, de lana de roca revestida de aluminio. 3.4". Espesor 35 mm	Mts	25	7.84 €	196.00 €
5.2	Aislamiento coquilla TECLIT PS200 o similar, de lana de roca revestida de aluminio. 1". Espesor 35 mm	Mts	45	8.96 €	403.20 €
5.3	Aislamiento coquilla TECLIT PS200 o similar, de lana de roca revestida de aluminio. 1.25". Espesor 35 mm	Mts	82	10.15 €	832.30 €
5.4	Aislamiento coquilla TECLIT PS200 o similar, de lana de roca revestida de aluminio. 1.5". Espesor 40 mm	Mts	95	10.45 €	992.75 €
5.5	Aislamiento coquilla TECLIT PS200 o similar, de lana de roca revestida de aluminio. 1.75". Espesor 40 mm	Mts	135	13.39 €	1 807.65 €
5.6	Aislamiento coquilla TECLIT PS200 o similar, de lana de roca revestida de aluminio. 1.75". Espesor 30 mm	Mts	15	9.77 €	146.55 €
				<b>TOTAL:</b>	<b>4 378.45 €</b>

## 4.6. Presupuesto total

Tras analizar los distintos costos de la instalación, se exponen los costos totales de la misma:

PRESUPUESTO COMPLETO	
Sistema captación	69.562,95 €
Sistema acumulación	35.646,00 €
Sistema hidráulico	7.120,32 €
Sistema de control	240,00 €
Aislamiento	4.378,45 €
<b>TOTAL (sin impuestos)</b>	<b>116.947,72 €</b>
IVA (21%)	24.559,02 €
<b>TOTAL (impuestos incluidos)</b>	<b>141.506,74 €</b>

Tabla 36: Presupuesto total instalación

Se muestra en el siguiente diagrama la distribución de los gastos de manera gráfica y porcentual:

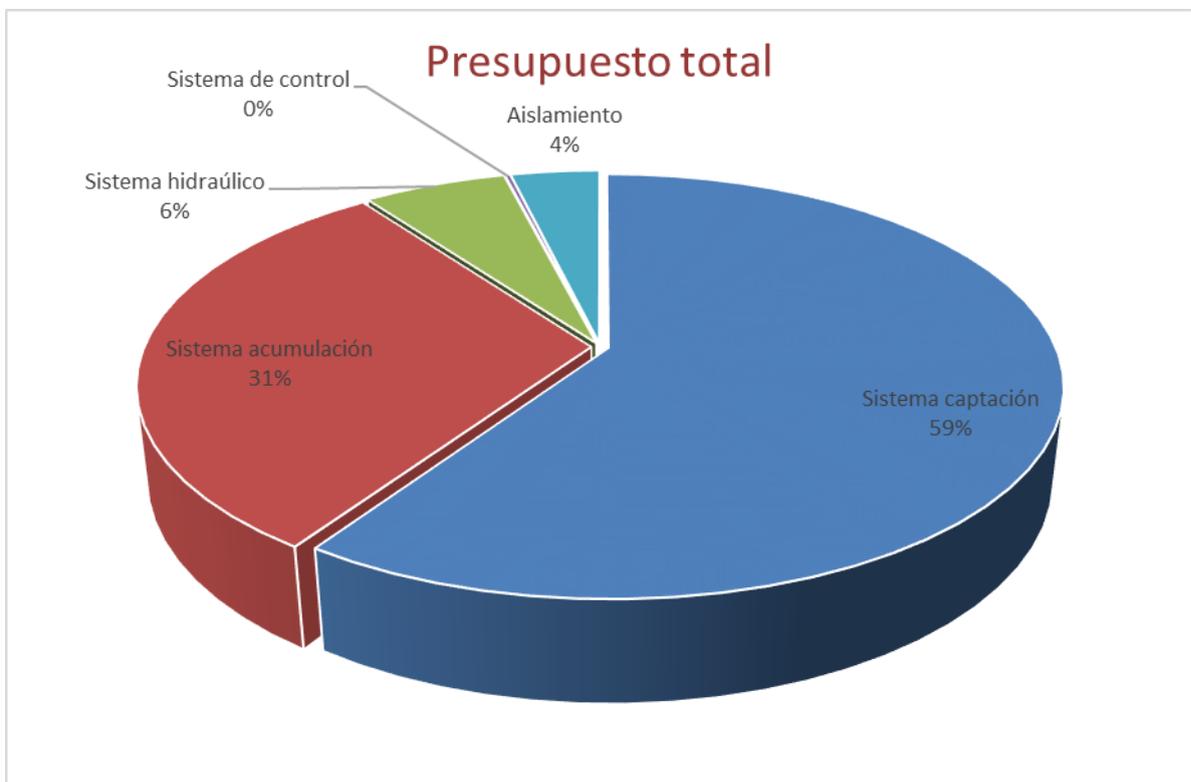


Figura 33: Presupuesto total instalación

A continuación, se procede a calcular un factor muy común en las instalaciones solares térmicas, este es el precio por metro cuadrado de captación (PMC):

$$PMC = \frac{\text{Coste total instalación (€)}}{\text{Superficie total instalación (m}^2\text{)}} = \frac{141370}{2.4 * 75} = 785.4 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$$

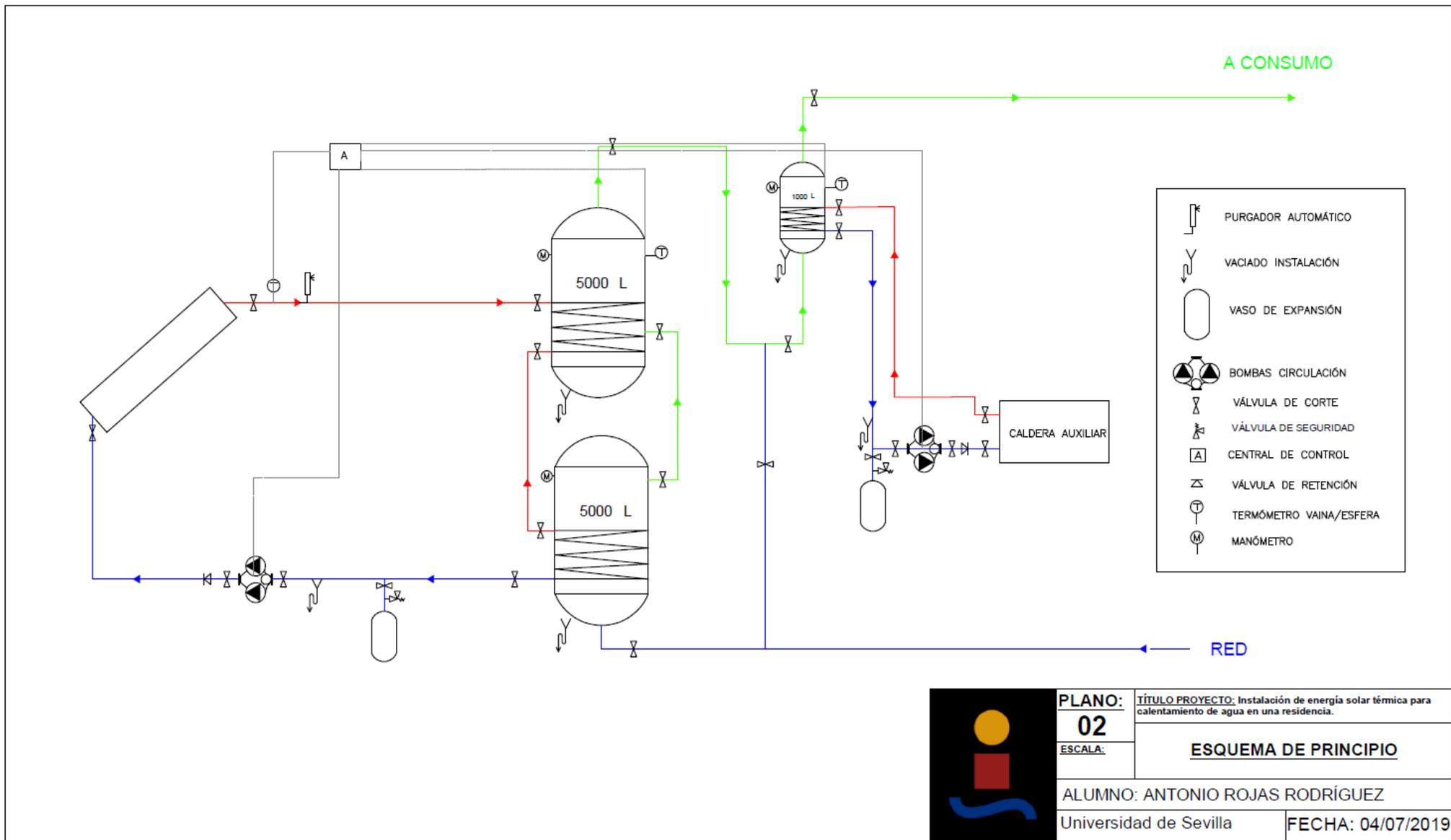


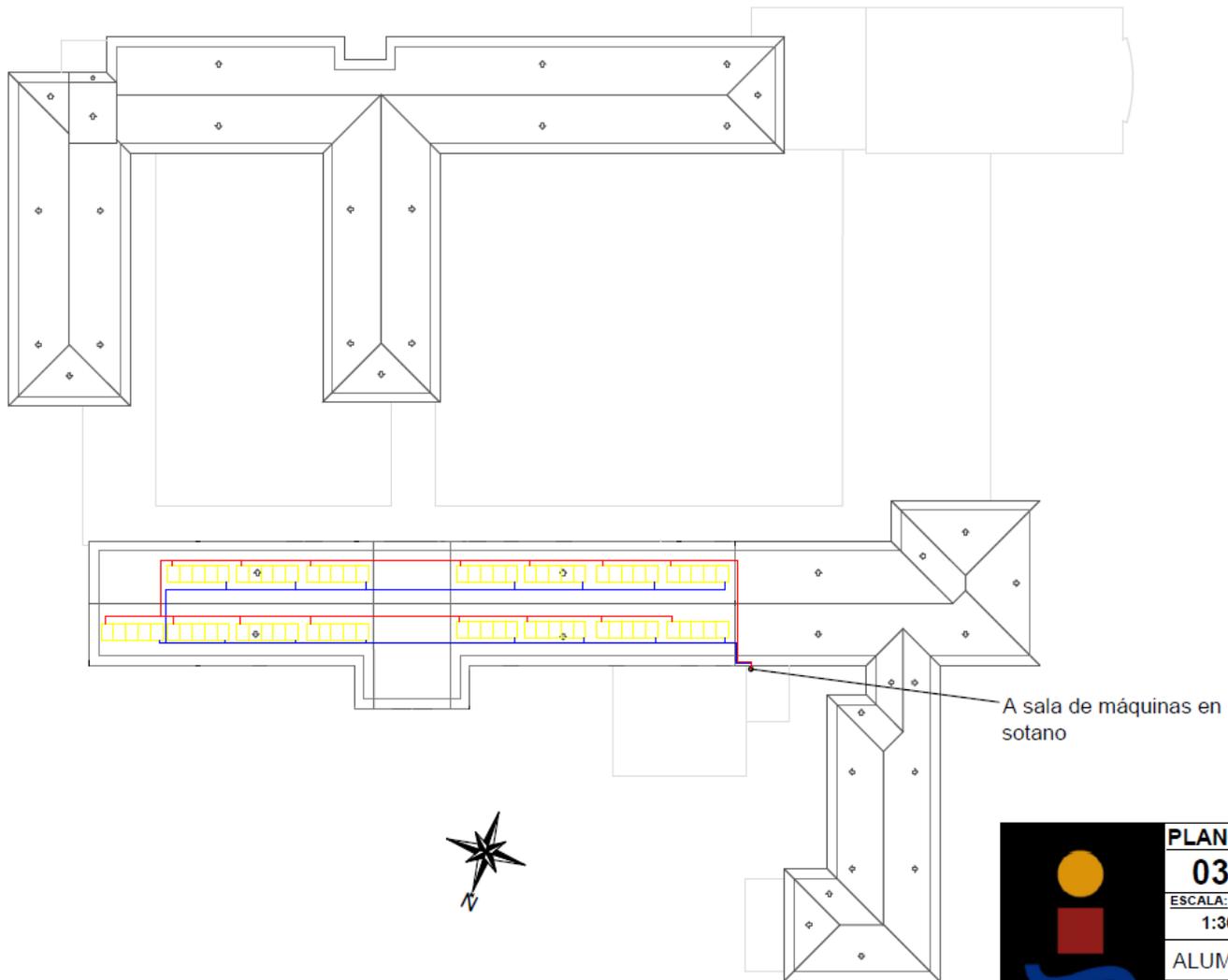
# PLANOS

---

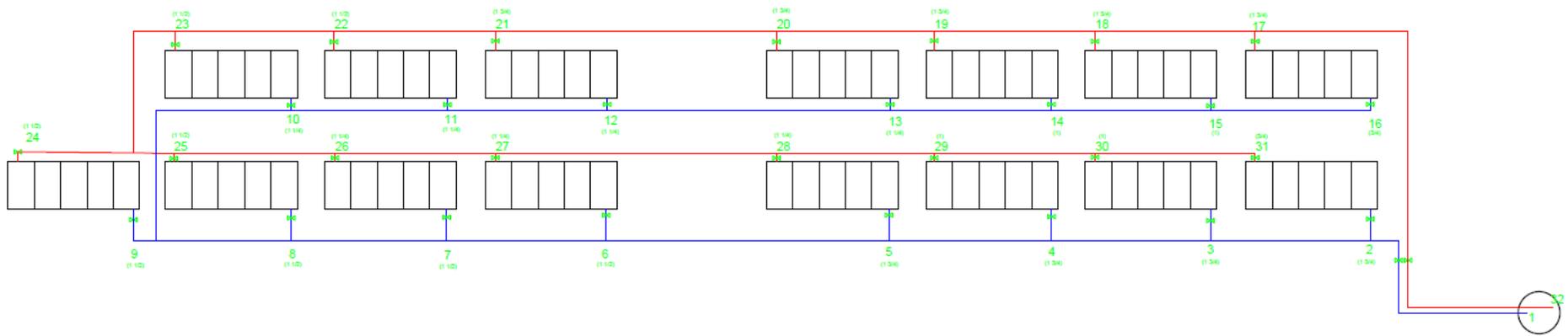


<b>PLANO:</b>	TÍTULO PROYECTO: Instalación de energía solar térmica para calentamiento de agua en una residencia.
<b>01</b>	<b>EMPLAZAMIENTO DEL EDIFICIO</b>
<b>ESCALA:</b>	
ALUMNO: ANTONIO ROJAS RODRÍGUEZ	
Universidad de Sevilla	FECHA: 04/07/2019





<b>PLANO:</b>	TÍTULO PROYECTO: Instalación de energía solar térmica para calentamiento de agua en una residencia.
<b>03</b>	<b>SITUACIÓN DE CAPTADORES EN CUBIERTA</b>
<b>ESCALA:</b>	
1:300	
ALUMNO: ANTONIO ROJAS RODRÍGUEZ	
Universidad de Sevilla	FECHA: 04/07/2019

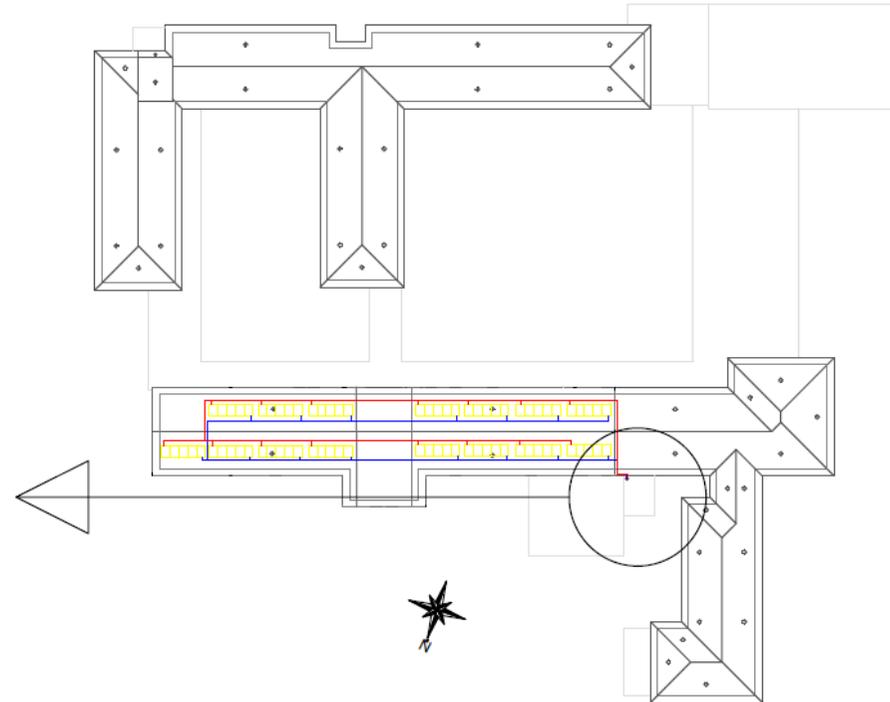
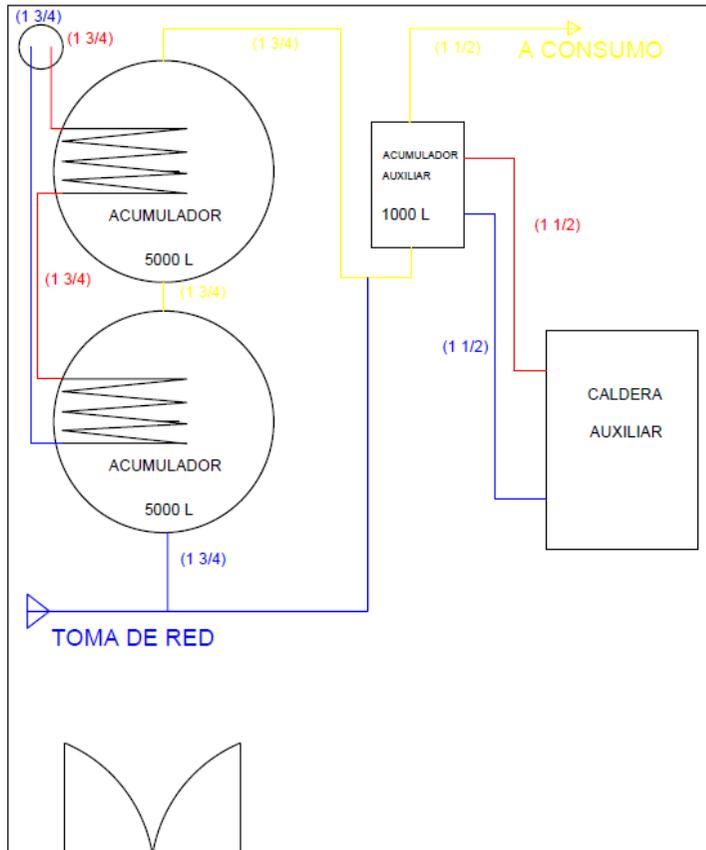


A sala de máquinas en sotano



<b>PLANO:</b>	<b>TÍTULO PROYECTO:</b> Instalación de energía solar térmica para calentamiento de agua en una residencia.
<b>04</b>	
<b>ESCALA:</b>	<b>DETALLE DE CAPTADORES</b>
<b>ALUMNO:</b> ANTONIO ROJAS RODRÍGUEZ	
Universidad de Sevilla	<b>FECHA:</b> 04/07/2019

De campo de captadores en cubierta



<b>PLANO:</b>	<b>TÍTULO PROYECTO:</b> Instalación de energía solar térmica para calentamiento de agua en una residencia.
<b>05</b>	
<b>ESCALA:</b>	<b>SALA DE MÁQUINAS</b>
ALUMNO: ANTONIO ROJAS RODRÍGUEZ	
Universidad de Sevilla	FECHA: 04/07/2019