

# Trabajo Fin de Grado

## Ingeniería de Tecnologías Industriales

### Diseño de una instalación de producción de agua caliente por energía solar térmica en una residencia universitaria

Autor: Joaquín Nazario Aguilar Rodríguez

Tutor: Julio José Guerra Macho

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

Sevilla, 2020





Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **Diseño de una instalación de producción de agua caliente por energía solar térmica en una residencia universitaria**

Autor:

Joaquín Nazario Aguilar Rodríguez

Tutor:

Julio José Guerra Macho

Catedrático de Universidad

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

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado: Diseño de una instalación de producción de agua caliente por energía solar térmica en una residencia universitaria

Autor: Joaquín Nazario Aguilar Rodríguez

Tutor: Julio José Guerra Macho

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal



*A todos aquellos que me  
ayudaron incluso sin saberlo.*



# Agradecimientos

---

*Este trabajo es gracias a los tres pilares de mi vida, mi familia, mis amigos y mi novia.*

*En primer lugar, gracias a mi familia, mis padres y mi hermano. Gracias por ayudarme siempre, aunque no quisiera escuchar me enfadara o contestara mal, siempre estáis ahí para ayudarme y mejorarme como persona. Sin vosotros no sería absolutamente nadie en esta vida.*

*En segundo lugar, gracias a mis amigos. He tenido la maravillosa suerte de conocerlos y gracias por complementarme con la rareza de cada uno de vosotros.*

*Por último, gracias Candela. Menos mal que tuve aquel accidente que nos volvió a encontrar, gracias por confiar en mi y dame apoyo siempre. Esta carrera no la hubiera acabado si no llega a ser por ti.*

*Os quiero muchísimo a todos, mil gracias por ser parte de mi.*

*Joaquín Nazario Aguilar Rodríguez*

*Sevilla, 2020*



# Resumen

---

En este proyecto se diseñará una instalación de energía solar a baja temperatura para calentar agua caliente sanitaria en una residencia de estudiantes en Sevilla. El proyecto está dividido en cinco partes bien diferenciadas: En primer lugar, contiene una memoria descriptiva, donde se explica cómo son es el edificio y la instalación, además de detallar la normativa vigente, la segunda parte, se describe el método utilizado para el dimensionado de la instalación. Para finalizar, habrá un apartado de pliegos de condiciones, otro de presupuesto y el último de los planos de la instalación.



# Abstract

---

In this project, a low-temperature solar energy installation will be designed to heat sanitary hot water in a student residence in Seville. The project is divided into five parts: First, it contains a descriptive memory, which explains how the building and the installation are, in addition to detailing the current regulations, the second part, describes the method used for the dimensioning of installation. Finally, there will be a section of specifications, a budget and the last of the installation plans.



<b>Agradecimientos</b>	<b>9</b>
<b>Resumen</b>	<b>11</b>
<b>Abstract</b>	<b>13</b>
<b>Índice</b>	<b>15</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>17</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>19</b>
<b>1 Memoria descriptiva</b>	<b>21</b>
1.1 <i>Introducción</i>	21
1.2 <i>Antecedentes</i>	21
1.3 <i>Método de cálculo</i>	22
1.3.1 Localización	22
1.3.2 Configuración	23
1.3.3 Demanda	24
1.3.4 Solar/Apoyo	24
1.3.5 Otros parámetros	25
1.3.6 Resultados	26
1.4 <i>Descripción del edificio</i>	26
1.5 <i>Descripción de la instalación</i>	28
1.5.1 Principio de funcionamiento	28
1.5.2 Elementos principales de la instalación	29
1.6 <i>Características técnicas de los equipos</i>	33
1.6.1 Captadores solares	33
1.6.2 Acumulador	35
1.6.3 Intercambiador	36
1.6.4 Bomba de circulación	36
1.6.5 Vaso de expansión	37
1.6.6 Centralita de control	37
1.6.7 Código Técnico de la Edificación (CTE)	38
1.6.8 Norma UNE	38
1.6.9 Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)	38
1.7 <i>Bibliografía</i>	40
<b>2 Memoria de cálculo</b>	<b>41</b>
2.1 <i>Introducción</i>	41
2.2 <i>Datos de partida</i>	41
2.2.1 Datos climatológicos	41
2.3 <i>Cálculo de la demanda</i>	42
2.3.1 Cálculo del consumo de agua	42
2.3.2 Cálculo de la demanda energética	42
2.4 <i>Cálculo de la superficie de captación y del volumen de acumulación</i>	43
2.4.1 Volumen de acumulación	43
2.4.2 Superficie de captación	43
2.4.3 Orientación e inclinación de los captadores.	43
2.4.4 Cálculo de sombras sobre la línea de captadores.	44
2.4.5 Cálculo de la fracción de la demanda cubierta	45
2.5 <i>Cálculos sobre la red de tuberías</i>	47
2.5.1 Caudal del circuito primario y secundario	47
2.5.2 Dimensionado del equipo de intercambio	47
2.5.3 Cálculo de la red de tuberías circuito primario y secundario	48

2.5.4	Pérdida de carga en la red de tuberías circuito primario	49
2.5.5	Pérdida de carga en la red de tuberías circuito secundario	54
2.5.6	Pérdida de carga en el intercambiador	55
2.5.7	Pérdida de carga en los captadores	55
2.6	<i>Dimensionado de la bomba del circuito primario</i>	56
2.7	<i>Dimensionado de la bomba del circuito secundario</i>	56
2.8	<i>Dimensionado del vaso de expansión del circuito primario</i>	57
2.9	<i>Cálculo de espesores de aislamiento</i>	58
2.9.1	Tuberías del circuito primario y secundario	58
2.9.2	Depósitos de acumulación	59
2.9.3	Intercambiador de calor	59
2.10	<i>Sistema de control</i>	60
2.11	<i>Selección de accesorios.</i>	60
<b>Anexo</b>		<b>61</b>
<b>3</b>	<b>Pliego de condiciones</b>	<b>63</b>
3.1	<i>Objeto</i>	63
3.2	<i>Normativa aplicable</i>	63
3.3	<i>Condiciones de materiales y equipos</i>	63
3.3.1	Tuberías y Accesorios	63
3.3.2	Accesorios	64
3.3.3	Captadores	64
3.3.4	Acumuladores	65
3.3.5	Bombas	65
3.3.6	Vasos de expansión	66
3.3.7	Válvulas	66
3.3.8	Aislamiento	67
3.3.9	Sistema eléctrico y de control	67
3.3.10	Sistema de medida	67
3.4	<i>Condiciones de montaje</i>	68
3.5	<i>Provisión de material</i>	68
3.6	<i>Pruebas, puesta en marcha y recepción</i>	68
3.6.1	General	68
3.6.2	Pruebas parciales	68
3.6.3	Pruebas finales	69
3.6.4	Ajustes y equilibrado	69
3.6.5	Recepción	69
3.7	<i>Mantenimiento</i>	70
3.7.1	Vigilancia	70
3.7.2	Mantenimiento preventivo	70
3.7.3	Mantenimiento correctivo	72
<b>4</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>73</b>
4.1	<i>Sistema de captación</i>	73
4.2	<i>Sistema de acumulación</i>	73
4.3	<i>Sistema de intercambio</i>	74
4.4	<i>Sistema hidráulico</i>	74
4.5	<i>Sistema de control</i>	76
4.6	<i>Presupuesto total de la instalación</i>	77
<b>5</b>	<b>Planos</b>	<b>79</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1: Características generales de los acumuladores Lapesa. Fuente: Lapesa.	35
Tabla 2: Datos generales de la residencia de estudiantes.	41
Tabla 3: Datos de radiación media, temperatura media agua de red y temperatura ambiente mensuales.	41
Tabla 4: Demanda de agua (L/día persona). Fuente: CTE DB-HE.	42
Tabla 5: Demanda energética mensual.	43
Tabla 6: Datos de partida en el CHEQ4.	45
Tabla 7: Resultados del CHEQ4 para el cálculo de la fracción de la demanda cubierta.	46
Tabla 8: Resultados obtenidos.	46
Tabla 9: Datos técnicos intercambiador de placas.	48
Tabla 10: Velocidad de circulación (m/s) en función de los caudales y diámetros de las tuberías.	50
Tabla 11: Pérdida de carga lineales (Pa/m) en función de los caudales y diámetros de las tuberías.	51
Tabla 12: Longitudes equivalentes de los accesorios en función del diámetro.	51
Tabla 13 Pérdida de carga en cada uno de los tramos de la instalación.	52
Tabla 14: Pérdida de carga total en cada circuito de la instalación.	54
Tabla 15: Especificaciones de la bomba Wilo-Stratos-Z.	56
Tabla 16: Especificaciones de la bomba Wilo-Stratos-Z.	57
Tabla 17: Espesor mínimo del aislamiento (mm) en función del diámetro de tubería que discurre por el interior de un edificio. Fuente: RITE.	59
Tabla 18: Espesor mínimo del aislamiento (mm) en función del diámetro de tubería que discurre por el exterior de un edificio. Fuente: RITE.	59
Tabla 19: Espesores mínimos para las tuberías presentes en la instalación.	59
Tabla 19 : Plan de vigilancia de la instalación solar	70
Tabla 20 : Plan de mantenimiento preventivo del sistema de captación	71
Tabla 21 : Plan de mantenimiento preventivo del sistema de acumulación	71
Tabla 22 : Plan de mantenimiento preventivo del sistema hidráulico	71
Tabla 23 : Plan de mantenimiento preventivo del sistema de control	72



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1: Estimación de la superficie de energía solar térmica instalada en España. Fuente: IDAE.	22
Figura 2: Pantalla Localización CHEQ4.	23
Figura 3: Pantalla Configuración CHEQ4.	23
Figura 4: Pantalla Demanda CHEQ4.	24
Figura 5: Pantalla Solar/Apoyo CHEQ4.	25
Figura 6: Pantalla Otros parámetros CHEQ4	25
Figura 7: Pantalla Resultados CHEQ4.	26
Figura 8: Vista satélite del solar donde se construirá el edificio.	27
Figura 9: Vista de la fachada de la residencia.	27
Figura 10: Esquema de las partes y circuitos de una instalación solar.	28
Figura 11: Esquema de principios de la instalación.	29
Figura 12: Componentes de un captador solar.	30
Figura 13: Intercambiador de placas. Fuente: Spirax Sarco.	31
Figura 14: Acumulador solar.	32
Figura 15: Curva pérdida de carga captadores Promasol. Fuente Promasol.	34
Figura 16: Detalle constructivo captador Promasol. Fuente: Promasol.	34
Figura 17: Imagen del acumulador Lapesa.	35
Figura 18: Intercambiador de placas Alfa Laval. Fuente: Alfa Laval.	36
Figura 19: Bomba Wilo. Fuente: Wilo.	37
Figura 20: Vaso de expansión. Fuente: IABIONDO.	37
Figura 21: Modelo modelo LTDC-V3 de la marca Termicol. Fuente: Termicol Normativa	38
Figura 22: Distancia entre filas de captadores. Fuente BLOG TECNOSOL.	44
Figura 23: Gráfica de la evolución de la fracción de la demanda cubierta.	46
Figura 24: Distribución de los captadores solares y la red de distribución del circuito primario.	48
Figura 25: Tramos en los que se encuentra dividida la red de distribución circuito primario.	49
Figura 26: Gráfico pérdida de presión captador Promasol. Fuente Promasol.	55
Figura 27: Gráfica de selección de la bomba del primario. Fuente: Wilo.	56
Figura 28: Gráfica de selección de la bomba del secundario. Fuente: Wilo.	57



# 1 MEMORIA DESCRIPTIVA

---

## 1.1 Introducción

En este proyecto, se diseñará una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en una residencia de estudiantes en Sevilla. Esta instalación se ha hecho sobre una residencia diseñada en el Trabajo de Fin de Grado de Francisco José Romero Domínguez de la Universidad de Sevilla. La residencia está situada en la isla de la Cartuja de la ciudad de Sevilla.

En primer lugar, para el diseño de esta instalación se calculará la demanda necesaria de ACS, respetando el código técnico pertinente, para conocer la aportación solar necesaria de la demanda de ACS.

Una vez calculada la demanda y la aportación solar necesaria, se calcularán y seleccionarán los equipos necesarios en la instalación.

Por último, se realizará un presupuesto por equipos para realizar una evaluación económica del total del proyecto.

## 1.2 Antecedentes

El recurso solar es abundante en España, que dispone de condiciones muy adecuadas para la energía solar térmica con áreas de alta irradiancia. La situación española frente a otros países europeos es muy favorable, gracias a nuestra cantidad de horas de sol al año. Aun así, España es el cuarto país europeo en el aprovechamiento de la energía solar térmica, por delante de países como Italia, Francia o Gran Bretaña. Con un 6% del total del mercado europeo.

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para la obtención de energía térmica, a través del calentamiento de un fluido. Distinguimos tres áreas:

- Aplicaciones para agua caliente sanitaria (ACS), calefacción y piscinas.
- Aplicaciones para usos industriales.
- Sistemas de climatización solar.

Las aplicaciones de ACS constituyen el uso más extendido de la energía solar térmica, y desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación su instalación es obligatoria en los edificios de nueva construcción o rehabilitaciones, por lo que actualmente son instalaciones cada vez más habituales.

Además, la energía solar térmica tiene una serie de ventajas:

- Energía no contaminante: Es limpia y respetuosa con el medio ambiente, ya que se obtiene de este de manera natural.
- Energía inagotable: Al depender de fuentes que se consideran inagotables podrían durar miles de años.
- Inversión: Debemos considerarlo una inversión, ya que se recupera en el medio plazo el dinero de su costo.
- Precio constante: Debido a la inexistencia de variaciones de precios que si implica el consumo de gas o de electricidad.

En la figura 1, podemos ver la estimación de la superficie instalada de energía solar térmica de baja temperatura en España a raíz del cumplimiento del CTE en cada uno de los años. Se estima que esta potencia instalada genere en 2020 más de 640 *ktep*. Se ha estimado que la producción energética crecerá desde un 4% los primeros años hasta un 16%.

En Andalucía, las energías renovables aportan el 19,2% de la energía primaria total consumida. En el año 2017, la energía solar es la fuente que más aporta al total de consumo de energía primaria renovable (42,8%), seguida

por la biomasa con un 38,7%.



Figura 1: Estimación de la superficie de energía solar térmica instalada en España. Fuente: IDAE.

### 1.3 Método de cálculo

El método de diseño que emplearemos en el dimensionado de la instalación será realizado mediante el software CHEQ4. Este programa será de gran utilidad, ya que contiene el registro de los datos climatológicos de España y cumple con la legislación vigente. El software CHEQ4 ha sido desarrollado por el Instituto de la Diversificación y ahorro de la Energía (IDEA) y la Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT). Este programa comprueba el cumplimiento de la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria exigida en la sección HE4 del Código Técnico de la Edificación (CTE), siempre que estas queden suficientemente representadas dentro de su ámbito de aplicación. No obstante, no se trata de una herramienta de diseño. Su correcta aplicación es suficiente para acreditar el cumplimiento, desde el punto de vista energético, de los requisitos establecidos en la sección HE4.

La metodología de cálculo empleada por el programa se denomina MetaSol. MetaSol es una metodología de cálculo basada en curvas obtenidas a partir de los resultados de más de 69.000 simulaciones dinámicas realizadas con TRNSYS. Todas las configuraciones de CHEQ4 han sido modelizadas en detalle con TRNSYS y simuladas posteriormente para una gran variedad de escenarios.

Necesitaremos introducir, para que el software pueda desarrollar los cálculos y determinar si nuestra instalación cumple o no los requisitos técnicos vigente, una serie de datos.

#### 1.3.1 Localización

En primer lugar, el programa nos pedirá que introduzcamos la provincia y el municipio, devolviéndonos la zona climática a la que pertenece, la latitud y altitud del municipio, así como, la radiación, temperatura del agua de red y la temperatura ambiental mensual media en dicho municipio. En la figura 2, podemos ver esta primera pantalla.

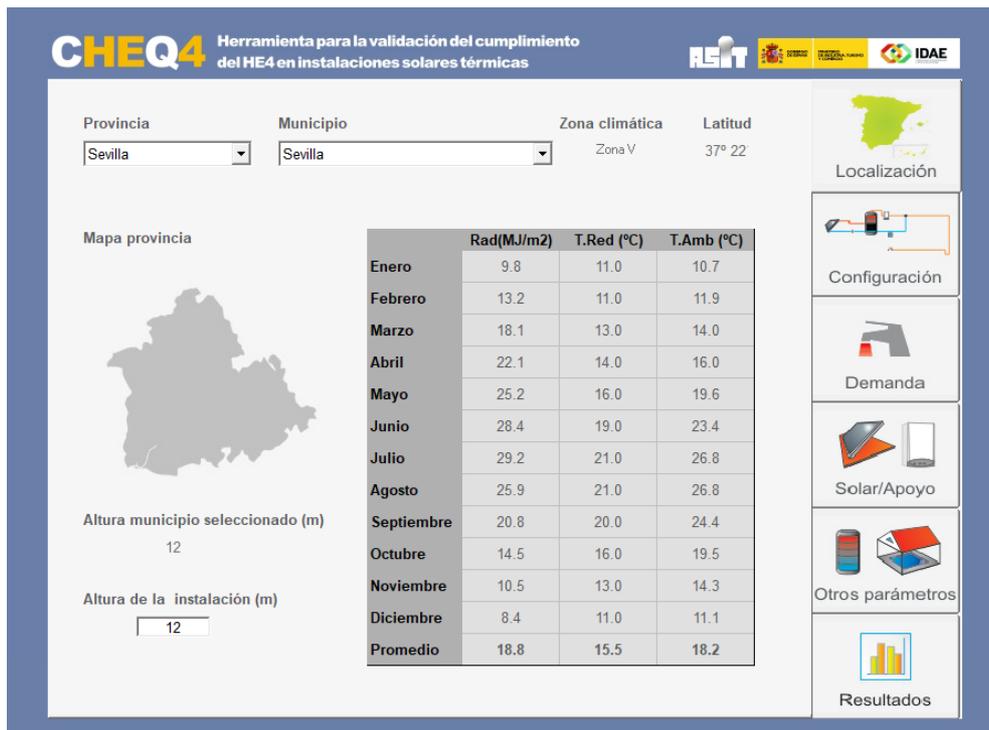


Figura 2: Pantalla Localización CHEQ4.

### 1.3.2 Configuración

En esta pantalla, podemos elegir el tipo de configuración que sea más semejante a nuestra instalación, habiendo dos grandes grupos: Consumo único y consumo múltiple. En nuestro caso, la configuración elegida es la de consumo único e instalación con intercambiador independiente, como podemos observar en la figura 3.



Figura 3: Pantalla Configuración CHEQ4.

### 1.3.3 Demanda

En la pantalla mostrada en la figura 4, seleccionamos dónde vendrá aplicada la instalación, en nuestro caso al ser una residencia de estudiantes seleccionamos residencia. Además, indicamos el número de personas a las que viene destinada esta residencia.

Al ser este caso una residencia de estudiantes, y tener un movimiento estacional a causa de la paralización de las clases en los meses de julio y agosto, indicamos que la ocupación será distinta a la del 100%.

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

ALIT

CONSEJO REGULADOR DE ENERGÍA TÉRMICA

IDAIE

CONSUMO ÚNICO

Aplicación  
Residencia

Número de personas  
368

Demanda calculada (l/día a 60 °C) 15,088

CONSUMO MÚLTIPLE

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	0	0		
Tipo B	0	0		
Tipo C	0	0		
Tipo D	0	0		

Demanda calculada (l/día a 60 °C)

CONSUMO TOTAL

Otras demandas (l/día a 60°C) 0

Demanda total (l/día a 60°C) 15,088

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

Caso general FS 70%

Caso piscina FS 70%

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	100	100	100	100	100
Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
80	70	100	100	100	100

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura 4: Pantalla Demanda CHEQ4.

### 1.3.4 Solar/Apoyo

En este apartado, se deben introducir las características o parámetros fundamentales de nuestra instalación. Se puede ver, en la figura 5, los parámetros a especificar en el CHEQ4.

- **Captadores:** Hay que elegir una marca y modelo de captador para nuestra instalación de una base de datos de captadores certificados. Además, habrá que hallar cuántos captadores tiene la instalación y cuántos de ellos van conectados en serie, su orientación e inclinación.
- **Circuito primario/secundario:** caudal, diámetro, espesor de aislante y longitudes de las tuberías que conforman la instalación.
- **Sistema de apoyo:** hay que elegir un sistema auxiliar para cuando la instalación solar no es capaz de cubrir la demanda energética.

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

Empresa  
 Marca/Modelo

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

Datos de ensayo	
Área (m2)	1.88
n0 (-)	0.73
a1 (W/m2K)	3.75
a2 (W/m2K2)	0.015
Qtest(l/hm2)	72
k50	0.85
Laboratorio	Demokritos
Certificación	NPS-19216

**CAMPO DE CAPTADORES**

Núm. captadores  Captadores en serie  Pérdidas sombras (%)   
 Orientación (°)  Inclinación (°)  Área total captadores (m2) 225.60

**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

Localización  
 Configuración  
 Demanda  
 Solar/Apoyo  
 Otros parámetros  
 Resultados

Figura 5: Pantalla Solar/Apoyo CHEQ4.

### 1.3.5 Otros parámetros

En este apartado, definiremos nuestro volumen de acumulación, y datos del sistema de distribución, como se muestra en la figura 6.

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

**VOLUMEN DE ACUMULACIÓN**

Volumen total (l)   
 Vol/Área (l/m2) 66.49

**VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES**

Tipo A (l)  Tipo C (l)   
 Tipo B (l)  Tipo D (l)   
 Volumen total (l) 0 Vol/Área (l/m2) 0.00

**DISTRIBUCIÓN**

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

**DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES**

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

**PISCINA CUBIERTA**

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

Localización  
 Configuración  
 Demanda  
 Solar/Apoyo  
 Otros parámetros  
 Resultados

Figura 6: Pantalla Otros parámetros CHEQ4

### 1.3.6 Resultados

Por último, la última pantalla que tiene este software es la de resultados que nos proporcionará, como se aprecia en la figura 7, los resultados de:

- La instalación cumple o no con los requisitos de contribución solar mínima exigida por el CTE-HE4
- Fracción Solar (%): Cantidad de la demanda bruta que es aportada por el sistema de captación solar.
- Demanda neta (kWh): Demanda energética anual sin tener en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución.
- Demanda bruta (kWh): Demanda energética anual teniendo en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución.
- Aporte solar (kWh): Energía solar aportada por la instalación.
- Consumo auxiliar (kWh): Energía aportada por la instalación auxiliar de apoyo para satisfacer la demanda total.
- Reducción de CO<sub>2</sub> (kg): Cantidad de CO<sub>2</sub> asociado a la utilización del sistema solar térmico.
- Gráfica en la que vemos indicados los valores mensuales de la fracción solar, demanda bruta, aportación solar y consumo auxiliar.

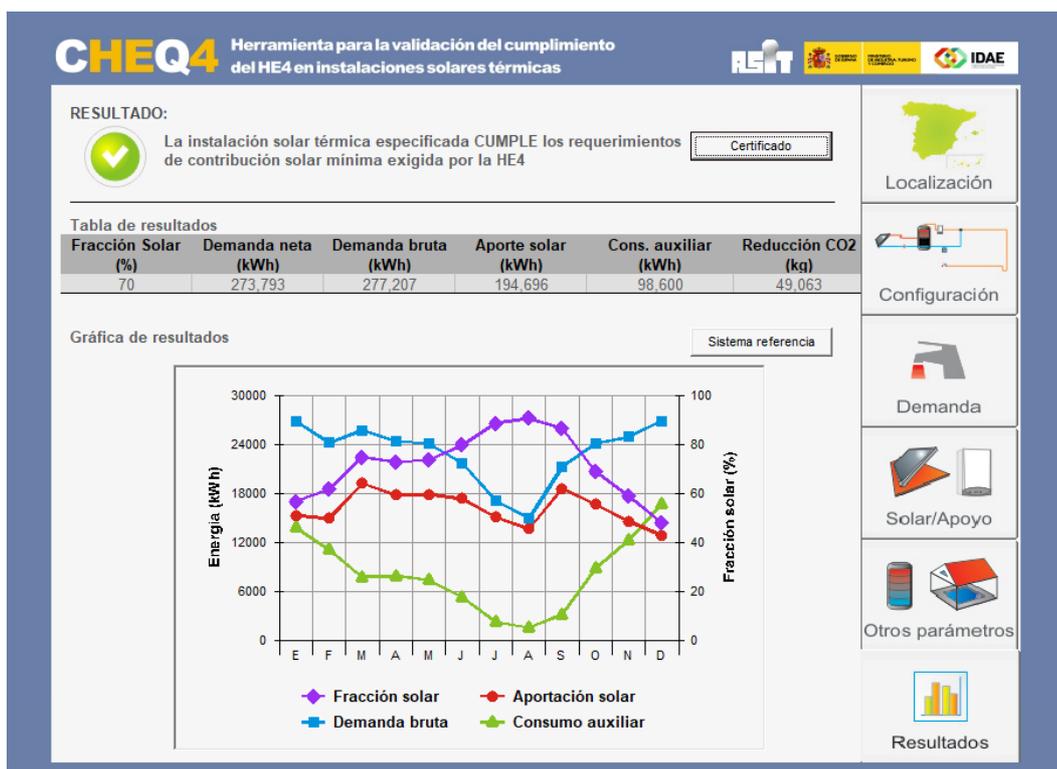


Figura 7: Pantalla Resultados CHEQ4.

## 1.4 Descripción del edificio

Nuestra instalación solar térmica, se situará en una residencia de estudiantes, emplazado en una parcela de la isla de la Cartuja en Sevilla. Esta residencia, cuenta con la capacidad de albergar 368 estudiantes.

En la figura 8 podemos ver una imagen del solar que cuenta con una superficie de 11.261 m<sup>2</sup> tiene una ubicación estratégica, se sitúa junto a una de las avenidas principales de la isla de la cartuja como es la calle Marie Curie con esquina con calle Camino de los Descubrimientos. Además, cercano a la estación de tren,

y paradas de autobús. Muy próximo a los campus Cartuja y Macarena de la Universidad de Sevilla.

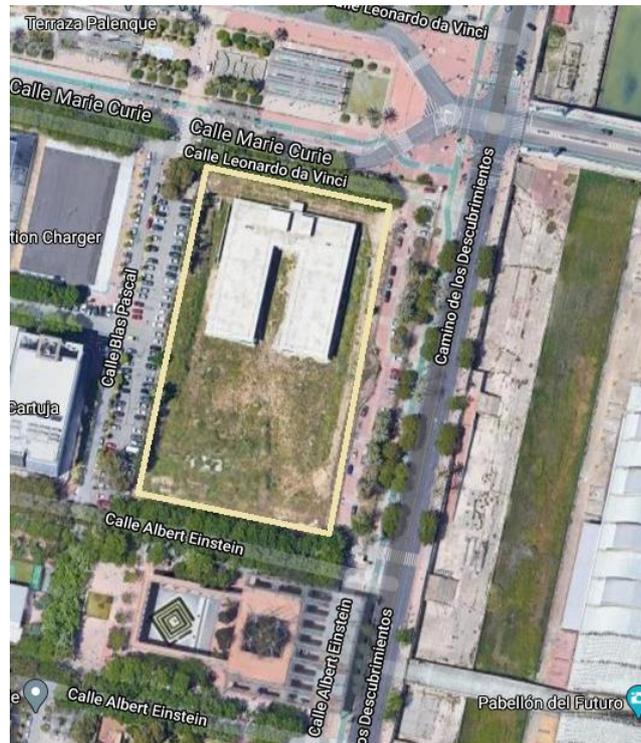


Figura 8: Vista satélite del solar donde se construirá el edificio.

En la figura 9 podemos ver la vista de la fachada del edificio:

- Planta sótano: En esta planta se alberga el programa público de la residencia, como salas de estudio y sala de estar, la zona de parking y la sala de los grupos de presión e instalación eléctrica.
- Planta baja: Planta abierta a la calle.
- Planta primera y segunda: Plantas donde se concentran las habitaciones.
- Cubierta: Planta dónde van colocados los captadores solares, así como el resto de sistemas, intercambiador, acumuladores y grupos de presión, ya que, en este edificio el sistema tradicional de ACS se trata de una caldera que se encuentra en la cubierta al aire libre. Sin embargo, todos los equipos de nuestra instalación estarán resguardados en una sala de máquinas situada en la cubierta.

El sistema auxiliar en la cubierta se trata de una caldera de gas natural del tipo rooftop RT55 de la marca Adisa. Además, cuenta con cuatro depósitos marca Roth, el primero modelo RB de 3.000 L y los tres restantes modelo RC de 750 L, como volumen del depósito auxiliar del grupo de presión.



Figura 9: Vista de la fachada de la residencia.

## 1.5 Descripción de la instalación

### 1.5.1 Principio de funcionamiento

La energía térmica procedente de los rayos solares llega a los captadores, calentando un fluido de trabajo que circula por su interior (normalmente agua). Esta energía en forma de agua caliente es intercambiada hasta otro circuito (secundario) donde es acumulada en un depósito acumulador hasta poder utilizarla en los puntos de consumo de la residencia. En la figura 10, podemos ver los distintos circuitos y los componentes básicos de la instalación solar.

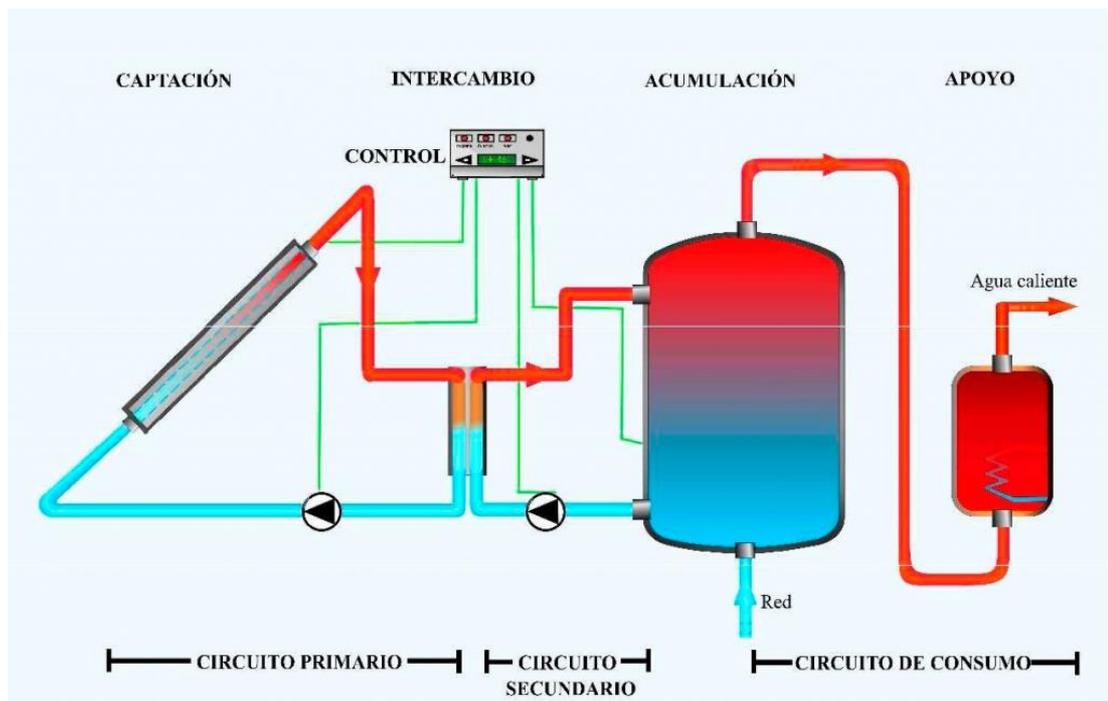


Figura 10: Esquema de las partes y circuitos de una instalación solar.

Nuestra instalación estará dividida básicamente de los siguientes elementos, cuya función se describe a continuación:

- Sistema de captación: transforma la radiación solar incidente en los captadores en energía térmica del fluido que circula por su interior.
- Sistema de intercambio: realiza la transferencia de calor entre fluidos que circulan en el circuito primario y el secundario. En el circuito secundario el fluido usado es agua que posteriormente será la utilizada como ACS.
- Sistema de acumulación: almacena el agua producida en la instalación, para su posterior uso cuando sea requerida, intentando que pierda la menor cantidad de energía posible.
- Sistema de transporte o de circulación: formado por tuberías y elementos de impulsión y aislamiento térmico adecuados, diseñados para transportar la energía producida.
- Sistema de apoyo o auxiliar: elemento de apoyo a la instalación solar para complementar el aporte solar en periodos de escasa radiación solar o de demanda de energía superior a la prevista de manera que siempre se cubra la demanda.
- Sistema de control: asegura el correcto funcionamiento del conjunto.

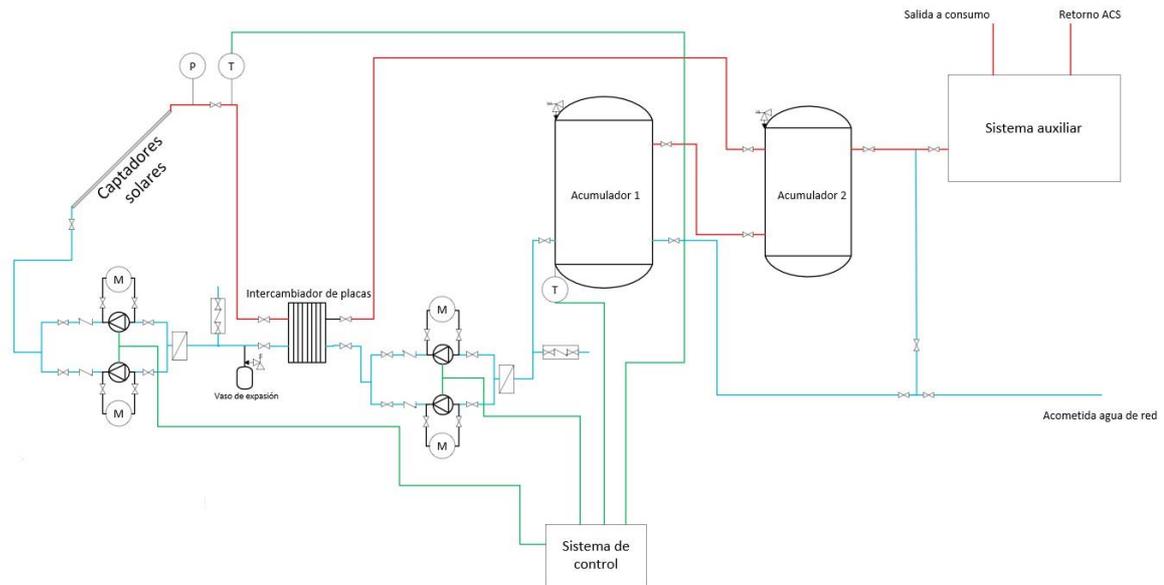


Figura 11: Esquema de principio de la instalación.

En la figura 11, se describe el sistema de principio de la instalación diseñada donde podemos ver todos los elementos que la componen. Observando este esquema, podemos detallar el principio de funcionamiento de la instalación.

En primer lugar, los captadores captan la radiación solar y la transmiten a un fluido caloportador, en nuestro caso se trata de agua, que será impulsado por el circuito primario hasta el intercambiador donde transferirá la energía calorífica a un segundo fluido, que será el agua caliente que servirá como consumo.

Además, esta agua caliente se almacenará en los dos depósitos de acumulación, así podremos almacenar esta energía hasta el momento en que sea necesaria utilizarla. El fluido procedente del intercambiador, entrará en primer lugar en el segundo acumulador por su parte superior, como se puede observar en la figura 11, quedando así, el agua más caliente en la parte superior del acumulador, que será la primera en entrar en el sistema auxiliar. De esta manera, garantizamos que siempre el agua que está almacenada a mayor temperatura será la primera en utilizarse.

En el caso de que la demanda energética no pueda ser satisfecha con la instalación solar, se hará con el sistema auxiliar, formado por una caldera convencional y un depósito auxiliar, que activará la caldera cuando la temperatura del agua en el depósito auxiliar sea inferior a 60°C.

Además, existe un sistema de control que asegura el buen funcionamiento de la instalación. Este sistema actuará de tal forma que las bombas no estén funcionando cuando la diferencia de temperaturas entre el depósito de acumulación que se encuentra menor temperatura y la salida del campo de captadores sea menor de 2°C y se encargará que estas funcionen si esta diferencia es mayor de 7°C, en nuestro caso será el acumulador 1 y medimos su temperatura con un termostato situado en la parte baja de este acumulador, como vemos en la figura 11. El sistema de control, también protegerá el sistema frente a heladas, ya que, no dejará que la temperatura del fluido caloportador, en nuestro caso agua, baje de los 3°C superior a la temperatura de congelación del fluido, activando la bomba de circulación para evitar la congelación del fluido en los captadores.

## 1.5.2 Elementos principales de la instalación

### 1.5.2.1 Captador solar térmico.

Un captador solar plano actúa como un intercambiador de calor que transforma energía radiante en energía térmica.

Como consecuencia del calentamiento de la placa del captador, esta aumenta su temperatura con lo cual empieza a perder calor por los distintos mecanismos: por conducción a través de los soportes que lo sujetan, por convección a través del aire que le rodea y por radiación.

Si se coloca un vidrio entre la placa absorbedora y el Sol ocurre que, como el vidrio es transparente a la radiación solar, pero es opaco a la radiación infrarroja, no deja pasar la radiación de mayor longitud de onda que emite la placa al calentarse. De esta forma se produce el efecto una “trampa energética de radiaciones” que impide que la mayor parte de la energía radiante que ha atravesado el vidrio vuelva a salir; esta trampa constituye el denominado efecto invernadero. Además, el vidrio evita el contacto directo de la placa con el aire ambiente con lo que se evitarán las pérdidas por convección antes referidas. Si se completa el conjunto de la placa absorbedora con el vidrio aislándolo por la parte posterior y por los laterales se consigue que la placa pierda menos calor y, por tanto, aumente su temperatura.

En la figura 12, podemos ver las distintas partes que componen un captador solar que son las siguientes:

- Cubierta: Elemento de material transparente. Suele usarse de vidrio frente a cubiertas plásticas.
- Absorbedor: Lámina metálica o varias aletas adheridas. Normalmente son de cobre presentando algún tipo de tratamiento (pintura negra u otros) que mejora sus prestaciones. El más extendido es el absorbedor de parrilla, es decir, el constituido por varias tuberías paralelas que se unen a los conductos de distribución.
- Aislamiento: Se coloca en los laterales y en el fondo de la carcasa. Suele estar constituido de lana mineral o fibra de vidrio.
- Carcasa o caja: Contenedor de los elementos del captador que suele ser de aluminio o acero galvanizado. Normalmente incluye un marco.

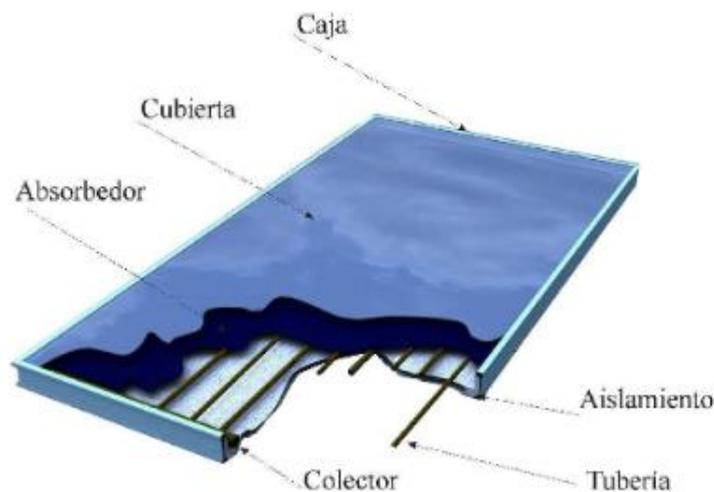


Figura: Componentes de un captador solar.

El funcionamiento del captador solar plano está basado en los siguientes principios tales como:

- La aportación de energía solar no es “controlable”.
- La demanda y el aporte de energía solar están desfasados.
- La orientación e inclinación del captador influyen fuertemente en el rendimiento.
- El rendimiento de captación aumenta al disminuir la temperatura del fluido a la entrada.
- Interesa captar la energía solar a la mayor temperatura posible.
- Dar prioridad al consumo de la energía solar frente a la convencional.

#### 1.5.2.2 Intercambiadores de calor.

El intercambiador de calor es el dispositivo donde se realiza la transferencia de calor desde el fluido caloportador del circuito primario al fluido del circuito secundario que conforma la instalación, manteniendo separadas las corrientes de ambos fluidos sin que lleguen a mezclarse.

Los intercambiadores de calor pueden ser internos o externos:

- Intercambiador interno o incorporado al acumulador solar. Son, normalmente, de tipo serpentín construido con tubería de cobre o de acero inoxidable.
- Intercambiador externo o independiente. Los más usados son intercambiadores de placas dado su bajo coste y su pequeño tamaño en relación a su área de transferencia de calor. Ese es el método de intercambio de nuestra instalación, en la figura 13, vemos un intercambiador de placas.

Hay que tener en cuenta la pérdida de carga de los intercambiadores en su diseño y vigilar el ensuciamiento para que no pierda su capacidad de transferencia de calor.

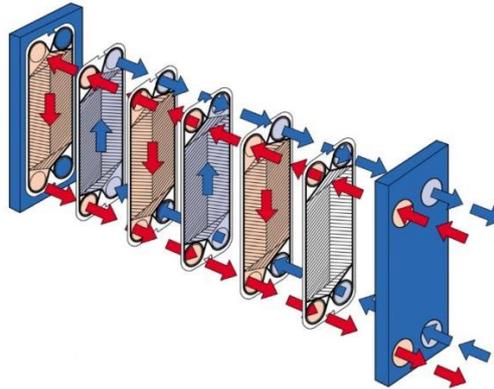


Figura 12: Intercambiador de placas. Fuente: Spirax Sarco.

### 1.5.2.3 Sistema de acumulación

La aportación de energía solar no es controlable de manera que es necesario disponer de un sistema de almacenaje la energía para disponer de ACS en el caso de que no haya suficiente radiación solar para cubrir la demanda. Por ello, se instalan los depósitos de acumulación que son cargados en las horas punta del día debido a la gran aportación de radiación solar que reciben. Estos depósitos deben estar bien aislados para evitar pérdidas térmicas. De esta forma, podremos disponer de ACS en las horas con menos radiación solar.

Los acumuladores de agua caliente sanitaria deben de ser aptos para su uso con agua para consumo humano. Podrán ser de acero con recubrimiento interior vitrificado, de acero con protección interior mediante resinas epoxi o equivalente, de acero inoxidable (de calidad AISI 316 L o similar) o de cobre. Frente a la corrosión se utilizarán protecciones activas permanentes (protección catódica) o protecciones pasivas recambiables (ánodo de sacrificio). Los acumuladores mayores de 750 litros dispondrán de una boca de hombre con un diámetro mínimo de 400 mm, fácilmente accesible, que permita la inspección y limpieza adecuada del interior.

Este tipo de depósitos se colocan con disposición vertical, de esta forma se producirá el efecto de estratificación.

El agua del acumulador, cuando se calienta, disminuye su densidad y tiende a ascender por efecto termosifón mientras que el agua fría, más densa, tiende a bajar, de esta manera el agua se estratifica por temperatura en el interior del acumulador. El mejor aprovechamiento de la energía térmica se consigue cuando el agua caliente en el interior del acumulador se almacena con un gradiente vertical de temperaturas y se evitan flujos entre las capas de agua a distinta temperatura manteniendo así la estratificación anteriormente mencionada. Este efecto es siempre deseable dado que permite tener el agua más caliente en la parte superior del acumulador que será la primera en alimentar al sistema de apoyo, mientras que el agua más fría se acumula en la parte inferior para que sea calentada por la energía solar que así se realizará con el mayor rendimiento. Para mejorar la estratificación se deben incorporar medidas que la favorezcan y evitar, o reducir, los efectos que la destruyen. Es recomendable adoptar al menos las siguientes:

- Utilizar la disposición vertical, con relaciones altura/anchura superior a 1,5 siempre que sea posible, ya que se favorece el movimiento vertical y se disminuye la superficie de transferencia de calor hacia abajo.
- Introducir el agua fría de consumo por la parte inferior y, para evitar mezclas, reducir la velocidad de entrada de agua aumentando los diámetros correspondientes y utilizando deflectores o difusores en la

entrada.

- Es conveniente que la tubería de salida hacia consumo tome el agua de la parte superior del acumulador pero que la boca de salida, en lugar de estar en la parte superior, esté en el lateral.

Es imprescindible tener en cuenta la necesidad de cubrir con el aislamiento toda la superficie exterior del acumulador, incluyendo tuberías, bocas de conexión y tapas de registro. Todo el aislamiento debe disponer del espesor necesario establecido según la normativa vigente en función de la temperatura de uso y quedar correctamente sellado ya que cualquier cámara de aire interior permitirá movimientos convectivos que aumentarían las pérdidas térmicas.

En caso de que el acumulador esté situado al exterior, como es nuestro caso, el material aislante debe disponer de una envolvente de protección para evitar su deterioro por efecto de la humedad, radiación solar, etc. utilizando un recubrimiento exterior resistente (aluminio, chapa lacada, poliéster, etc.) y completamente sellado que evite la posible penetración de agua al interior. En la figura 14, podemos ver como se instala adecuadamente un acumulador con el aislamiento adecuado para exteriores.

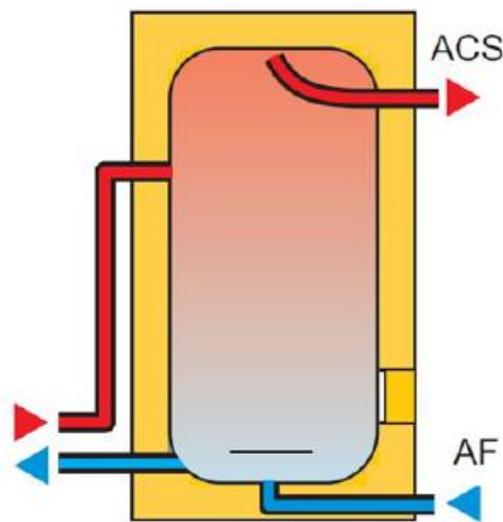


Figura 13: Acumulador solar.

#### 1.5.2.4 Sistema auxiliar

Cuando no sea posible satisfacer la demanda de energía con la instalación solar, se recurre al sistema auxiliar, formado normalmente por una caldera convencional, de gas en esta instalación.

La caldera se encarga de aportar la energía necesaria para calentar el agua del acumulador cuando la energía solar no es suficiente como para satisfacer toda la demanda.

#### 1.5.2.5 Bombas de circulación

Las bombas tendrán como función mover el fluido por los circuitos primarios y secundarios. Hay que tener en cuenta que estos dos circuitos tienen características distintas. Las bombas serán accionadas por motores eléctricos que deberán actuar a una velocidad variable para que se trabaje en distintas condiciones de operación.

#### 1.5.2.6 Tuberías

Son los conductos hidráulicos por donde pasa el fluido caloportador y el ACS.

En el circuito primario de la instalación solar podrán utilizarse tuberías de cobre, de acero negro o de acero inoxidable compatible con el fluido que utilizan, que soporten las condiciones extremas de funcionamiento en función de su ubicación. Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y sus uniones serán realizadas por accesorios a presión que soporten las condiciones extremas en forma de vapor o mediante soldadura por

capilaridad que se realizará mediante soldadura fuerte.

En el circuito secundario podrá utilizarse cobre, acero inoxidable y materiales plásticos aptos para uso sanitario que estén autorizados por la normativa vigente. En aquellas zonas que puedan producirse temperaturas superiores a las habituales de los circuitos de producción de ACS, como los tramos de circuito que unen el sistema de intercambio externo con el acumulador solar, no se recomienda la utilización de materiales plásticos.

#### **1.5.2.7 Vasos de expansión**

Los vasos de expansión son elementos de seguridad esenciales en una instalación térmica solar. En ocasiones, el fluido del circuito primario de las instalaciones solares se ve sometido a importantes cambios en su temperatura (desde temperaturas bajo cero hasta superiores a 100 °C) que provocan variaciones de su volumen y que deben ser absorbidas mediante el sistema de expansión puesto que en caso contrario se podría producir la rotura de algunos componentes.

#### **1.5.2.8 Aislamiento**

El circuito de tuberías y todos los equipos en general deberán tener un aislamiento para evitar pérdidas de calor y poder trabajar con las temperaturas de operación correctas.

#### **1.5.2.9 Sistema de control**

El sistema de control tiene como principal función regular los flujos energéticos entre el campo de captadores, los acumuladores y los puntos de consumo para asegurar el correcto funcionamiento y obtener el máximo aprovechamiento de la energía solar captada.

El sistema de control actuará y estará ajustado de forma que las bombas de circulación de primario arranquen cuando la diferencia de temperaturas a la salida de los captadores y la de los depósitos de cada una de las aplicaciones sea mayor de 7°C y pararán cuando esta diferencia sea inferior a 2°C. Además, este sistema no dejará que la temperatura del fluido caloportador baje de los 3°C, superior a la temperatura de congelación del fluido.

Para ello, el sistema de control tendrá unos sensores de temperatura, a la salida de los captadores y a la salida del depósito acumulador. Este sistema se encargará también de activar o no el sistema auxiliar en el caso de que sea necesario.

## **1.6 Características técnicas de los equipos**

En este apartado, expondremos los equipos seleccionados para nuestra instalación basándonos en los resultados obtenidos en la memoria de cálculo (apartado 2).

### **1.6.1 Captadores solares**

El captador solar escogido se trata del modelo, PROMASUN 2.0 Blue de la marca Promasol.

- Características del captador:
- Largo (mm): 2.030
- Ancho (mm): 1.030
- Fondo (mm): 80
- Área total ( $m^2$ ): 2,09
- Área apertura ( $m^2$ ): 1,88
- Peso en vacío (kg): 36,5
- Capacidad (L): 1,28
- Material caja: Aluminio Anodizado

- Cubierta: Vidrio solar templado bajo contenido ferroso
- Aislamiento fondo: Lana de vidrio 50 mm. prensado
- Aislamiento lateral: Lana de vidrio 20mm.
- Recubrimiento: Ultra Selectivo Titanio
- Material: Lámina continua de Aluminio soldada con laser
- Tubería: Cobre 8mm. conectado a tubería de 22mm.
- Conexiones: compresión de 22mm.
- Caudal recomendado: 72 L/m<sup>2</sup>h.
- Presión máx. de trabajo 10 bar
- $\eta_0$ : 0.73
- $k_1$ :  $3.75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- $k_2$ :  $0.015 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^2$
- $k(50)$ : 0.94

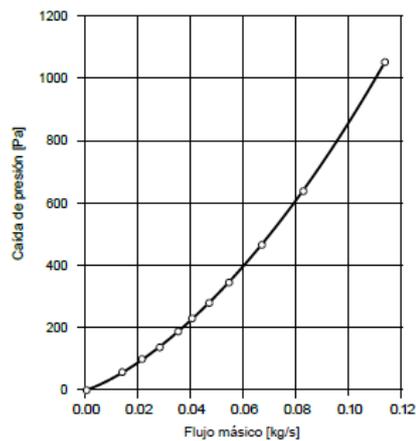


Figura 14: Curva pérdida de carga captadores Promasol. Fuente Promasol.

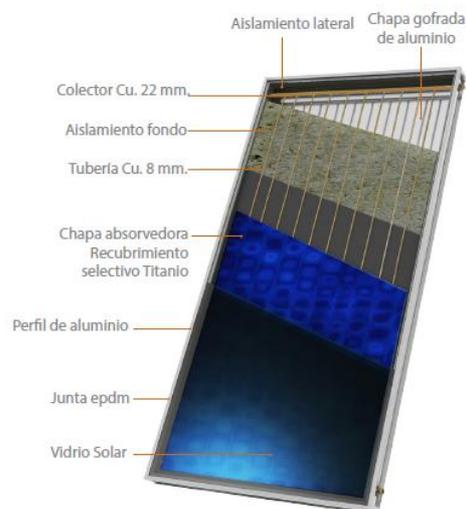


Figura 15: Detalle constructivo captador Promasol. Fuente: Promasol.

## 1.6.2 Acumulador

En este caso contaremos con dos acumuladores, ambos de la marca Lapesa. El primer modelo MV-7000-IB de 7.000 L y el segundo MV-8000-IB de 8.000 L de capacidad.

Algunas de las características comunes en ambos son:

- Material: acero carbono S235JR.
- Presión de trabajo: 6 bar.
- Temperatura máxima de trabajo: 110°C.
- Boca de hombre lateral DN400.
- Tratamiento interno: limpio de partículas.
- Tratamiento externo: imprimación antioxidante.
- Instalación: vertical (opcional horizontal).

Además, en la tabla 1 podemos ver las características individuales de cada uno, así como, en la figura 17, podemos ver una imagen del acumulador.

Tabla 1: Características generales de los acumuladores Lapesa. Fuente: Lapesa.

CARACTERÍSTICAS GENERALES		MV-7000-IB	MV-8000-IB
Capacidad	l.	7000	8000
D: Diámetro exterior	mm.	1750	1750
H: Altura total	mm.	3652	4090
a: conexión lateral	" GAS/H	4	4
b: conexión inferior	" GAS/H	1 1/4	1 1/4
c: conexión superior	" GAS/H	2	2
R: conexión lateral	" GAS/H	2	2
g: conexión sensores	" GAS/H	3/4	3/4
Boca de hombre lateral	DN	DN400	DN400
Peso en vacío (aprox.)	Kg	1005	1044

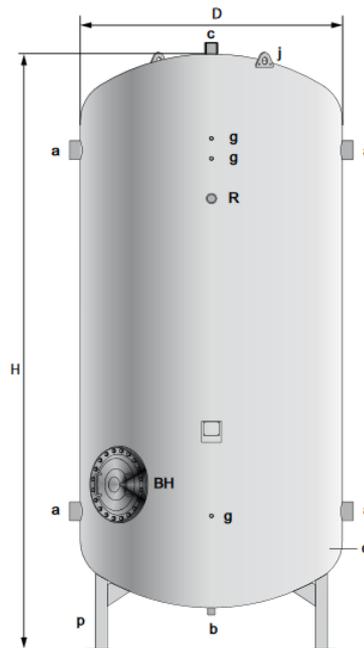


Figura 16: Imagen del acumulador Lapesa.

### 1.6.3 Intercambiador

Como equipo de intercambio se ha optado por un intercambiador de placa termosoldado de la marca Alfa Laval, modelo CB110-64M. En la figura 18, podemos ver una imagen del modelo.

Estas son sus especificaciones:

- Número de placas: 64
- Potencia (kW): 150
- Temperatura lado primario (°C): 55 → 48 °C
- Temperatura lado secundario (°C): 43 → 50 °C
- Caudal lado primario (m<sup>3</sup>/h): 16.243
- Caudal lado secundario (m<sup>3</sup>/h): 16.243
- Pérdida de carga en el primario (mca): 3,6
- Pérdida de carga en el secundario (mca): 3,6
- Profundidad (mm): 252
- Anchura (mm): 191
- Altura (mm): 616
- Peso (kg): 28.7



Figura 17: Intercambiador de placas Alfa Laval. Fuente: Alfa Laval.

### 1.6.4 Bomba de circulación

En la bomba de circulación escogemos una de rotor húmedo con conexión roscada o embridada, motor EC y adaptación automática de la velocidad. El modelo escogido es el Stratos-Z 40/1-12 de la marca Wilo.

Cuenta con las siguientes características:

- Diámetro nominar (DN): 40
- Longitud (mm): 250
- Caudal circuito primario y secundario (m<sup>3</sup>/h): 16,24
- Pérdida de carga primario (mca): 7,52

- Pérdida de carga primario (*mca*): 3,81
- Presión nominal (bar): 6/10
- Alimentación eléctrica: 1~230 V, 50/60 Hz
- Peso bruto (kg): 17.3
- Consumo de potencia: 25 - 470 W

En la figura 19, podemos ver una imagen de la bomba seleccionada.



Figura 18: Bomba Wilo. Fuente: Wilo.

### 1.6.5 Vaso de expansion

Para el vaso de expansión se ha elegido el modelo 18 CMR de la marca IABIONDO, con las siguientes especificaciones:

- Volumen (L): 18
- Peso (kg): 4
- Diámetro (mm): 270
- Altura (mm): 415
- Radio de conexión: 3/4"

En la figura 20, vemos el diseño del vaso de expansión.



Figura 19: Vaso de expansión. Fuente: IABIONDO.

### 1.6.6 Centralita de control

En la figura 21, vemos que se trata del modelo LTDC-V3 de la marca Termicol.

## LTDC-V3



### Descripción

Termicol LTDC con 4 sondas

- 6 Entradas para sensores PT1000 de temperatura
- 2 Entradas VFS/RPS Directsensor para medir caudal
- 3 Salidas relé 230VAC (on/off)
- 2 Salida PWM (control velocidad bombas alta eficiencia)
- 42 Variantes hidráulicas

Figura 20: Modelo modelo LTDC-V3 de la marca Termicol. Fuente: TermicolNormativa

Para realizar el diseño de instalaciones solares para producción de ACS en España, debemos seguir una serie de normas que describiremos en los siguientes apartados: CTE, UNE y RITE.

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

Para esta aplicación, las normas a cumplir se pueden ver en el Documento Básico HE Ahorro de energía en la sección 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria. (CTE DB-HE-4)

- Contribución solar mínima para ACS. La zona climática que corresponde con la localidad de Écija es la zona V. La demanda de ACS del hotel es de 6000 L/día por lo que la contribución solar mínima que ha de tener la instalación es de 70%.
- Protección contra sobrecalentamientos. Se dimensionará la instalación suponiendo que en ningún mes del año la energía producida supera el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100%. Es por ello por lo que no se tomarán otro tipo de medidas para evitar los sobrecalentamientos instalando equipos para evacuar el excedente de energía.
- Sistemas de medida de energía suministrada. La instalación solar dispondrá de un sistema de medida de la energía suministrada con el fin de poder verificar el cumplimiento del programa de gestión energética y las inspecciones periódicas de eficiencia energética.
- El diseño del sistema de contabilización de energía y de control debe permitir al usuario de la instalación comprobar de forma directa, visual e inequívoca el correcto funcionamiento de la instalación, de manera que este pueda controlar diariamente la producción de la instalación.
- Sistemas de acumulación solar y conexión de sistema de generación auxiliar. Debe dimensionarse el sistema de acumulación teniendo en cuenta la demanda ya que esta no es simultánea con la generación. El área total de los captadores debe tener un valor que cumpla la expresión  $50 < V/A < 180$ , siendo 'V' el volumen de acumulación solar en litros y 'A' la suma de las áreas de todos los captadores solares en m<sup>2</sup>. No se permite la conexión de un sistema de generación auxiliar en el acumulador solar.

### 1.6.8 Norma UNE

- UNE 94002. El objetivo de esta norma es suministrar los valores de referencia de consumo de agua caliente sanitaria y temperaturas de diseño necesarios para el cálculo de la demanda de energía térmica en las instalaciones de producción de agua caliente sanitaria.
- UNE 94003. Esta norma establece los valores climáticos de referencia de irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal y de temperatura ambiente.
- UNE 100155. Esta norma proporciona los criterios a seguir para el diseño y cálculo de un sistema de expansión de agua en un circuito cerrado.

### 1.6.9 Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)

El RITE define una serie de instrucciones técnicas que será necesario tener en cuenta para la instalación. A continuación, podemos ver cuáles son esas instrucciones técnicas:

- Preparación de agua caliente para usos sanitarios. (IT 1.1.4.3.1.)

- Aislamiento térmico de redes de tuberías. (IT 1.2.4.2.1.)
- Aprovechamiento de energías renovables. (IT 1.2.4.6)
- Medición. (IT 1.3.4.4.5.)
- Sistemas de distribución de agua. (IT 2.3.3.)
- Control automático. (IT 2.3.4.)

## 1.7 Bibliografía

1. AENOR, Norma UNE 100155:2004. Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión. 2004.
2. AENOR, Norma UNE 94002:2005. Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica. 2005
3. Agencia Andaluza de la Energía (2011). Energía solar térmica a baja temperatura.
4. Alfa Laval (2015). Intercambiadores de calor.
5. BLOG TECNOSOL. Distancia entre filas de paneles solares para evitar sombreado. Recuperado el 16 de noviembre de 2020, de <https://tecnosolab.com/noticias/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>.
6. Caldia (2019). Tarifa de sistemas de llenado y seguridad solar.
7. Código Técnico de la Edificación, sección HE4 (CTE-HE4) 2019. “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”.
8. Comercial Bastos (2019). Catálogo.
9. CTE (Código Técnico de la Edificación). Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria. DBHE, 2017.
10. Departamento de Ingeniería Energética, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. Documentación de la asignatura Energía Solar.
11. Departamento de Ingeniería Energética, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. Documentación de la asignatura de Instalaciones Térmicas de la Edificación
12. HOGARSENSE. Historia de la energía solar térmica. Recuperado el 5 de septiembre de 2020, de <https://www.hogarsense.es/energia-solar/historia-energia-solar-termica#iberia>.
13. IBAIONDO (2019). Tarifa 2019.
14. IDAE (2006). Manuales de energías renovables.
15. IDAE “Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura” 2009.
16. J. Abad Codelco (2018). Catálogo – Tarifa.
17. J. Abad Codelco (2018a). Tarifa tubo de cobre sanitario.
18. Lapesa (2019). Catálogo - Depósitos ACS.
19. Lapesa (2020). Depósitos y equipamientos para ACS.
20. Plan de energías renovables en España 2005-2010. Sector Solar Térmico.
21. Promasol (2017). Tarifa.
22. Promasol. Captadores familia PROMASUN BLUE.
23. Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, RITE. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
24. Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, RITE. Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.
25. Romero Domínguez, Fco. José (2016). Residencia sobre la Cartuja, Trabajo Fin de Grado.
26. Salvador Escoda. Catálogo.
27. Termicol (2020). Catálogo.
28. Wilo (2020). Tarifa Profesional de Precios 2020, Calefacción, ACS, Climatización, Agua Fría, Drenaje y Aguas Residuales.

# 2 MEMORIA DE CÁLCULO

## 2.1 Introducción

En este apartado, se detallarán los cálculos y procedimientos para el diseño de una instalación solar térmica de baja temperatura, con el objetivo de producir agua caliente sanitaria para una residencia de estudiantes en Sevilla. En este procedimiento, se ha seguido la normativa española vigente correspondiente.

## 2.2 Datos de partida

El edificio cuenta con los datos generales que aparecen en la tabla 2.

Tabla 2: Datos generales de la residencia de estudiantes.

<b>Edificio</b>	Residencia de estudiantes
<b>Localidad</b>	Sevilla
<b>Altitud</b>	12 m
<b>Latitud, Longitud</b>	37.404797, -6.004225
<b>Número de camas</b>	368
<b>Zona climática</b>	V

### 2.2.1 Datos climatológicos

Según el Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía Código Técnico de la Edificación DA DB-HE/1, Zonificación climática en función de la radiación solar global media diaria anual, el municipio de Sevilla se encuentra en la zona climática V.

Los datos de radiación, temperatura del agua de red y temperatura ambiental mensuales, de la localidad en la que se sitúa la instalación, vienen dados por el programa de cálculo que utilizamos, el software CHEQ4. Los datos que vemos en la tabla 3, son aquellos que utilizaremos para los cálculos de esta memoria.

Tabla 3: Datos de radiación media, temperatura media agua de red y temperatura ambiente mensuales.

Mes	Rad(MJ/m <sup>2</sup> )	T.Red(°C)	T.Amb(°C)
<b>Enero</b>	9.8	11.0	10.7
<b>Febrero</b>	13.2	11.0	11.9
<b>Marzo</b>	18.1	13.0	14.0
<b>Abril</b>	22.1	14.0	16.0
<b>Mayo</b>	25.2	16.0	19.6
<b>Junio</b>	28.4	19.0	23.4
<b>Julio</b>	29.2	21.0	26.8
<b>Agosto</b>	25.9	21.0	26.8
<b>Septiembre</b>	20.8	20.0	24.4
<b>Octubre</b>	14.5	16.0	19.5
<b>Noviembre</b>	10.5	13.0	14.3
<b>Diciembre</b>	8.4	11.0	11.1
<b>Promedio</b>	18.8	15.5	18.2

## 2.3 Cálculo de la demanda

### 2.3.1 Cálculo del consumo de agua

Para el cálculo de la demanda de referencia de ACS se consideran los valores que podemos ver en la tabla 4, extraída del Documento Básico HE del CTE, a la temperatura de referencia de 60 °C.

Tabla 4: Demanda de agua (L/día persona). Fuente: CTE DB-HE.

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

1

En nuestro caso, al ser una residencia, necesitaremos una demanda de 41 L/día persona.

Nuestra demanda diaria de ACS al tener la residencia espacio para 368 camas será de:

$$Q_{ACS} = 41 \frac{L}{\text{día} * \text{persona}} * 368 \text{ personas} = 15.088 \frac{L}{\text{día}}$$

### 2.3.2 Cálculo de la demanda energética

La demanda de ACS tiene asociado una demanda energética que calculamos, para cada uno de los meses del año, de la siguiente manera:

$$L_{ACS} = Q_{ACS} \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot c_p \cdot (T_{ac} - T_{af}) \cdot \Delta t$$

Donde:

- $L_{ACS}$ : Demanda energética ( $J/\text{mes}$ ).
- $Q_{ACS}$ : Demanda diaria de ACS (15.088 L/día).
- $\rho_{\text{agua}}$ : Densidad del agua (utilizamos 1 kg/L).
- $c_p$ : Calor específicos del agua (constante igual a 4190 J/kg · K).
- $T_{ac}$ : Temperatura de referencia del agua caliente, según el CTE-HE4 (60 °C).
- $T_{af}$ : Temperatura del agua de red, tomado de la tabla 3 para cada mes.
- $\Delta t$ : Número de días del mes.

Los resultados de este cálculo lo desarrollamos en la tabla 5:

Tabla 5: Demanda energética mensual.

Mes	Días	$L_{ACS}(MJ)$ .
Enero	31	96.029
Febrero	28	86.736
Marzo	31	92.110
Abril	30	87.242
Mayo	31	86.230
Junio	30	77.759
Julio	31	76.431
Agosto	31	76.431
Septiembre	30	75.862
Octubre	31	86.230
Noviembre	30	89.138
Diciembre	31	96.029

## 2.4 Cálculo de la superficie de captación y del volumen de acumulación

### 2.4.1 Volumen de acumulación

Para esta aplicación el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

donde A será el área total de los captadores, expresada en  $m^2$ , y V es el volumen del depósito de acumulación solar, expresado en litros, cuyo valor recomendado es aproximadamente la carga de consumo diaria, en nuestro caso tomaremos como volumen de acumulación 15.000 L que es casi nuestra demanda diaria de ACS.

### 2.4.2 Superficie de captación

Utilizando la ecuación anterior, podemos ver el rango del área de captación que tendremos al haber fijado el volumen de captación, quedando:

$$83.33 < A < 300$$

Con el tipo de captador seleccionado para nuestra instalación, Promasol PROMASUN BLUE 2.0, cuya área de captación por captador es de 1.88 m, la relación la convertimos en números de captadores quedando:

$$45 < N^{\circ} \text{ de captadores} < 160$$

Los captadores serán conectados todos en paralelo y solamente uno en serie.

### 2.4.3 Orientación e inclinación de los captadores.

Según la normativa vigente, se considera la orientación sur como óptima, para poder seguir el perfil de la cubierta, nos desviamos en la instalación de los captadores 12° respecto a la dirección sur.

La mejor inclinación de los captadores, depende del período de utilización:

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

En nuestro caso, al tratarse de una residencia de estudiantes, el uso mayoritario será en invierno, ya que en verano los residentes suelen volver a sus domicilios habituales. Por ello, al ser la latitud de Sevilla 37.404797°, tomamos como inclinación de los captadores 45°.

#### 2.4.4 Cálculo de sombras sobre la línea de captadores.

Tanto el Código Técnico de la Edificación como los Pliegos de Condiciones Técnicas del IDAE especifican que la distancia,  $d$ , medida sobre la horizontal, entre una fila de captadores y un obstáculo de altura  $h$ , que pueda producir sombras sobre la instalación, deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia  $d$  será superior al valor obtenido por la expresión:

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

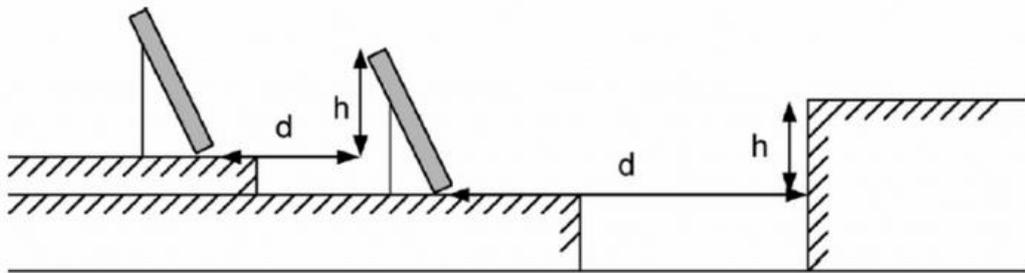


Figura 21: Distancia entre filas de captadores. Fuente BLOG TECNOSOL.

En la figura 22, observamos la representación de  $d$  y  $h$ .

En nuestra instalación tenemos dos distancias a calcular para evitar sombras en los captadores. El primero es la distancia entre el muro del borde de la cubierta y el segundo, entre filas de captadores.

En primer lugar, calcularemos la distancia  $d$  de la primera fila de captadores con el muro de la cubierta que tiene una altura de 1.5 m. La expresión anterior quedará:

$$d = \frac{1.5 \text{ m}}{\tan(61^\circ - 37.404797)} = 3.43 \text{ m}$$

Como vemos la distancia mínima deberá ser de 3.43 m, lo que nos confirma que no tendremos problemas de sombras con este obstáculo, ya que la distancia del muro hasta la primera fila de captadores es de 6 m.

En segundo lugar, calculamos la distancia entre filas de captadores. Para ello, necesitamos la altura  $h$  de los captadores que obtenemos sabiendo que tiene una inclinación  $\alpha = 45^\circ$  y una altura  $L = 2.03 \text{ m}$ , calculando la altura con la expresión:

$$h = L \cdot \text{sen}(\alpha) = 2.03 \cdot \text{sen}(45^\circ) = 1.44 \text{ m}.$$

Ahora, calculamos la distancia  $d$  entre filas de captadores con la primera expresión:

$$d = \frac{1.44}{\tan(61^\circ - 37.404797)} = 3.3 \text{ m}$$

En este caso, la distancia mínima entre filas de captadores deberá ser de 3.3 m, cuando en nuestra instalación la distancia ha sido de 4.3 m de distancia, por lo que no tendremos problemas de sombras tampoco en este caso.

Al ser la separación de los captadores respecto a los obstáculos que ofrecen sombra sobre ellos mayores a la distancia exigida, asumimos que las pérdidas por sombras en nuestra instalación serán nulas.

## 2.4.5 Cálculo de la fracción de la demanda cubierta

El CTE exige una contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables que cubra al menos el 70% de la demanda energética anual para ACS, obtenida a partir de los valores mensuales. Para cumplir esta exigencia, definimos la fracción de demanda cubierta como la fracción de energía solar aportada y la demanda energética anual de ACS.

$$f = \frac{Q_{solar}}{Q_{consumida}} \geq 70\%$$

Donde:

- $f$ : Fracción de la demanda cubierta.
- $Q_{solar}$ : Potencia térmica procedente de los captadores.
- $Q_{consumida}$ : Potencia térmica consumida por la demanda de ACS.

Con la ayuda del software CHEQ4 calcularemos la fracción de la demanda cubierta de nuestra instalación, utilizando el valor de volumen de acumulación antes descrito y los siguientes datos de partida que mostramos en la tabla 6:

Tabla 6: Datos de partida en el CHEQ4.

<b>Captadores</b>	
Empresa	PROMASOL
Modelo	PROMASUN BLUE 2.0
Área de captación	1.88 m <sup>2</sup>
<b>Campo de captadores</b>	
Captador en serie	1
Pérdidas por sombras	0%
Orientación	12°
Inclinación	45°
<b>Circuito primario</b>	
Anticongelante	0%
Longitud circuito	400 m
Diámetro de tubería	65 mm
Espesor de aislante	40 mm
<b>Distribución</b>	
Longitud circuito	400 m
Diámetro de tubería	50 mm
Espesor de aislante	40 mm

A continuación, mostramos en la tabla 7 los resultados que obtenemos con el CHEQ4, para cierto número de captadores que porcentaje de la demanda cubierta obtenemos.

Tabla 7: Resultados del CHEQ4 para el cálculo de la fracción de la demanda cubierta.

Nº Captadores	Área captación (m)	Volumen acumulación (L)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	f (%)
45	84,6	15000	277.207	88.942	32,09
60	112,8	15000	277.207	114.274	41,22
70	131,6	15000	277.207	130.166	46,96
80	150,4	15000	277.207	145.197	52,38
90	169,2	15000	277.207	159.131	57,41
95	178,6	15000	277.207	165.773	59,80
100	188	15000	277.207	172.069	62,07
105	197,4	15000	277.207	178.160	64,27
110	206,8	15000	277.207	183.904	66,34
115	216,2	15000	277.207	189.439	68,34
120	225,6	15000	277.207	194.696	70,23
125	235	15000	277.207	199.612	72,01
130	244,4	15000	277.207	204.318	73,71
135	253,8	15000	277.207	208.753	75,31
140	263,2	15000	277.207	212.857	76,79
145	272,6	15000	277.207	216.761	78,19

Además, mostramos en la figura 23, la evolución de la fracción de la demanda cubierta en función del número de captadores solares.

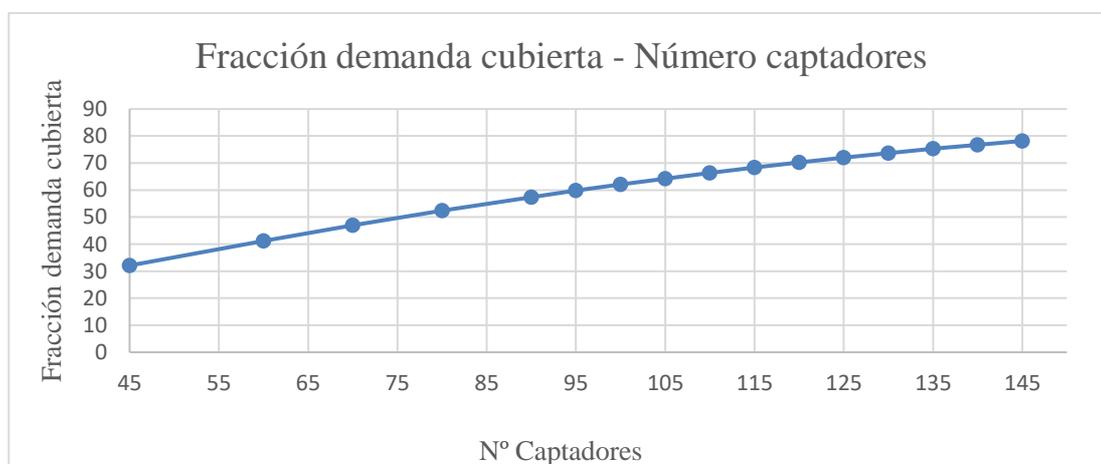


Figura 22: Gráfica de la evolución de la fracción de la demanda cubierta.

Teniendo en cuenta que el mínimo permitido por la normativa para el valor de la demanda cubierta es de un 70%, tomamos el primer valor que supera este valor, por lo tanto, el resultado serán los mostrados en la tabla 8.

Tabla 8: Resultados obtenidos.

Nº de captadores	120
Área total de captación (m)	225,6
Orientación de los captadores	12°
Inclinación de los captadores	45°
Nº captadores en serie	1
Volumen de acumulación	15.000
Fracción de la demanda cubierta f (%)	70

## 2.5 Cálculos sobre la red de tuberías

En este apartado, una vez ya tenemos calculado el número de captadores, calcularemos el caudal del circuito primario, para posteriormente calcular la pérdida de presión en la red de tuberías que nos permitirá calcular la bomba del primario.

### 2.5.1 Caudal del circuito primario y secundario

El caudal del circuito primario lo calcularemos de la siguiente forma:

$$M_B = \frac{G \cdot N_c \cdot A_c}{N} = 16.243 \text{ L/h}$$

Donde:

- $M_B$  (L/h): Caudal del circuito primario.
- $G$  (L/m<sup>2</sup> · h): Caudal de ensayo que nos proporciona el fabricante de los captadores solares, en este caso el fabricante nos dice que es de 72 L/m<sup>2</sup> · h.
- $N_c$ : Número de captadores, en nuestro caso serán 120.
- $A_c$  (m<sup>2</sup>): Área de cada captador solar, en nuestro caso es de 1.88 m<sup>2</sup>.
- $N$ : Número de captadores en serie, en nuestro proyecto es igual a 1.

Para el circuito secundario tomamos el mismo caudal que en el circuito primario por lo que el caudal del circuito secundario también será:

$$M_{B,sec} = 16.243 \text{ L/h}$$

### 2.5.2 Dimensionado del equipo de intercambio

El intercambio energético entre el fluido del circuito primario y el del secundario se lleva a cabo por medio de un intercambiador de calor. Para el dimensionado del mismo, el CTE impone la siguiente relación entre la capacidad energética del equipo y el área total de captación:

$$Q_{intercambiador}(W) \geq 500 \cdot A_{captación}(m^2)$$

Sabiendo que el área de captación de nuestra instalación es de 225.6 m<sup>2</sup>, la ecuación se nos quedará de forma que:

$$Q_{intercambiador}(W) \geq 112.8 \text{ kW}$$

La instalación está calculada para un salto térmico tanto en el circuito primario como en el secundario desconocido. Es por ello, que se ha de comprobar que valor mínimo de dicho salto garantiza que se cumple las exigencias del RITE.

La ecuación que relaciona el calor intercambiado con el salto de temperaturas en el intercambiador es conocida:

$$Q_{intercambiador} = m_{primario} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Donde:

- $m_{primario}$  (kg/s): Caudal másico del circuito primario. Sabiendo que el caudal del primario es 16.243 L/h:

$$m_{primario} = 4.51 \text{ kg/s}$$

- $c_p$ : Calor específicos del agua (constante igual a 4,19 KJ/kg · K).
- $\Delta T$ (K): Salto de temperaturas.

$$112.8 \text{ kW} \leq 4.51 \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \cdot 4,19 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \cdot \Delta T$$

$$\Delta T \geq 5.97 K$$

El intercambiador seleccionado para la instalación, es el modelo CB110-64M del fabricante ALFA LAVAL. En la tabla 9, podemos ver sus datos técnicos que cumplen con nuestros requisitos de potencia, salto térmico y caudal. Además, incluye la pérdida de carga en cada uno de los circuitos.

Tabla 9: Datos técnicos intercambiador de placas.

Potencia (kW)	Caudal del primario (L/h)	Pérdida carga primario (mca)	$\Delta T_{primario}$ (K)	Caudal del secundario (L/h)	Pérdida carga secundario (mca)	$\Delta T_{secundario}$ (K)
150	16.243	3,6	7	16.243	3,6	7

### 2.5.3 Cálculo de la red de tuberías circuito primario y secundario

En el diseño de la red de tuberías tenemos que cumplir las dos especificaciones que nos dice la norma:

1. Velocidad en las tuberías: tiene que ser menor a 2 m/s en tuberías que discurren por el interior del edificio y menor que 3 m/s para el exterior. En este caso al encontrarse la instalación en la cubierta de la residencia, tomaremos como límite el valor de 3 m/s.
2. Pérdida de carga admisible: la pérdida de carga por metro lineal en los diferentes tramos de tuberías no puede superar los 400 Pa/m.

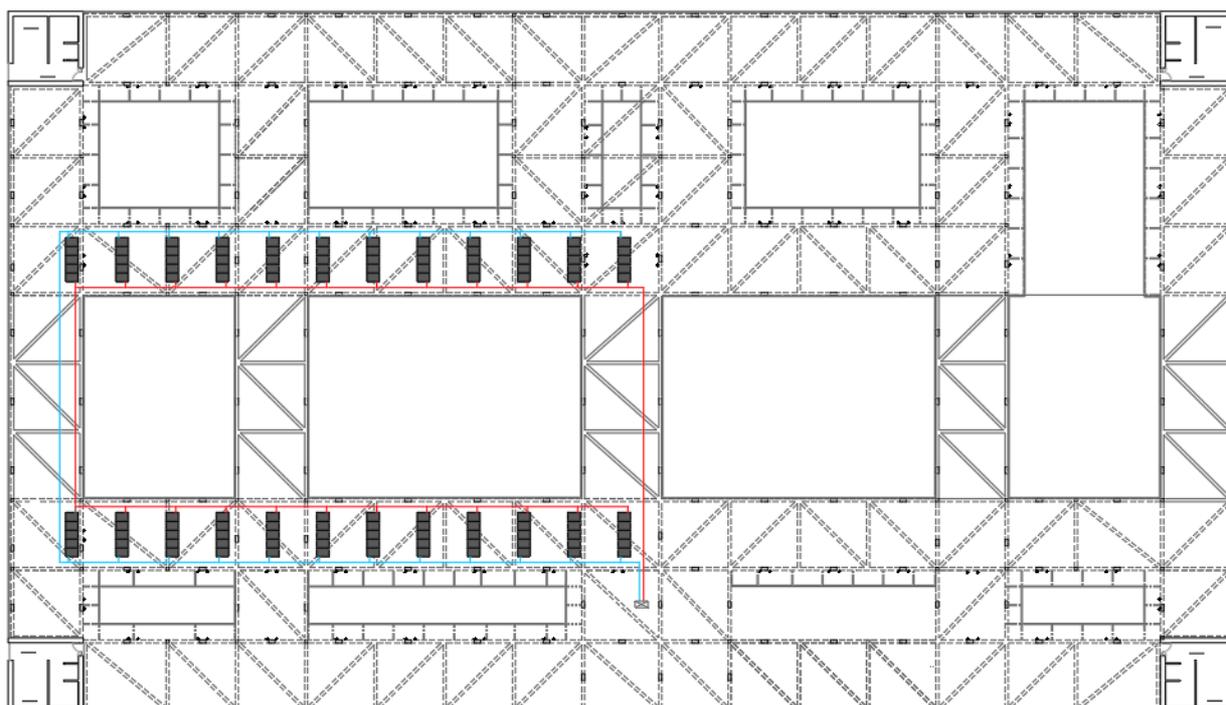


Figura 23: Distribución de los captadores solares y la red de distribución del circuito primario.

En la figura 24, podemos ver la distribución de los captadores solares y las tuberías del circuito primario en la cubierta. En la figura 25, hacemos un pequeño zoom para distinguir los distintos tramos de los que se componen la red de tuberías. Estos tramos están divididos en 4 grupos:

- Grupo A: Son aquellos tramos que llevan el agua fría y suministran al grupo B.
- Grupo B: Pequeños tramos que llevan el agua a los captadores.
- Grupo C: Son los tramos principales que van recogiendo el agua calentada en los captadores.
- Grupo D: Pequeños tramos similares a los de grupo B, son los encargados de llevar el agua caliente a los tramos principales del grupo C desde los captadores.

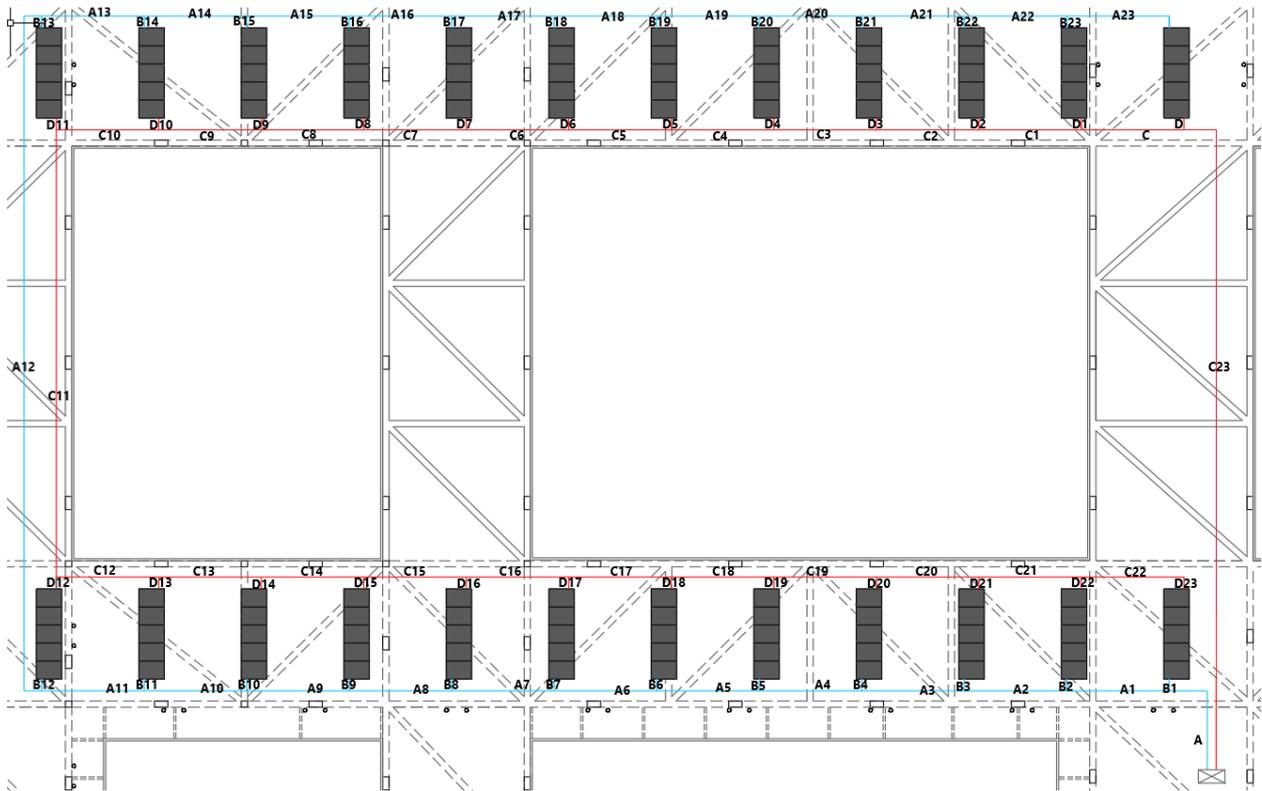


Figura 24: Tramos en los que se encuentra dividida la red de distribución circuito primario.

Para cada uno de los caudales distintos que tenemos en nuestra instalación, calculamos la velocidad del fluido dentro de las tuberías para cada uno de los tamaños de tubería, así podemos estar seguros que cumplimos el requisito de que dentro de las tuberías no circule a más velocidad de la permitida. Escogemos el tamaño de tubería para cada uno de los caudales para que la velocidad de circulación no sea superior a 1,2 m/s como se recomienda en el RITE.

En la tabla 10, vemos en amarillo la velocidad ( $m/s$ ) que circulará el agua en cada uno de los tramos que posean esos diámetros, escogiendo el diámetro que da esa velocidad de circulación en cada uno de los tramos.

Además, con el uso de una función Excel diseñada por el profesor de este departamento don Juan Francisco Coronel Toro, se han calculado cuáles son las pérdidas de presión en función del caudal y el diámetro de las tuberías. Como se puede observar en la tabla 11, en ningún caso se supera la pérdida de carga unitaria ( $Pa/m$ ) en cada uno de los tramos.

En el caso del circuito secundario, al tener solamente un circuito con un caudal que no varía. Se cumplirá que las tuberías del circuito secundario serán de diámetro 3 in, ya que para un caudal de 16.243 L/h es la medida que cumple con la velocidad máxima y la pérdida de carga máxima permitida.

## 2.5.4 Pérdida de carga en la red de tuberías circuito primario

Una vez hemos dimensionado la red de tuberías del circuito primario, tenemos que calcular la pérdida de carga total para poder dimensionar la bomba del circuito primario.

La pérdida total de carga se calculará de la siguiente forma:

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_{Tuberías} + \Delta P_{Accesorios} + \Delta P_{Equipos}$$

Donde:

- $\Delta P_{Total}$  ( $Pa/m$ ): Pérdida de carga total del circuito primario.
- $\Delta P_{Tuberías}$  ( $Pa/m$ ): Pérdida de carga debido a la circulación en las tuberías rectas.
- $\Delta P_{Accesorios}$  ( $Pa/m$ ): Pérdida de carga debido a codos, bifurcaciones, válvulas, etc. En la tabla 12, podemos ver las longitudes equivalentes para cada diámetro de cada uno de los accesorios que podemos

encontrar en la instalación.

- $\Delta P_{Equipos}(Pa/m)$ : Pérdida de carga debido a los equipos, como pueden ser los captadores o el intercambiador de calor.

Tabla 10: Velocidad de circulación (m/s) en función de los caudales y diámetros de las tuberías.

Caudales	Diámetro(in,mm)										
	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3,5
	6,35	9,53	12,70	19,05	25,40	31,75	38,10	50,80	63,50	76,20	88,90
16243,00	142,47	63,32	35,62	15,83	8,90	5,70	3,96	2,23	1,42	0,99	0,73
15566,21	136,53	60,68	34,13	15,17	8,53	5,46	3,79	2,13	1,37	0,95	0,70
14889,42	130,60	58,04	32,65	14,51	8,16	5,22	3,63	2,04	1,31	0,91	0,67
14212,63	124,66	55,41	31,17	13,85	7,79	4,99	3,46	1,95	1,25	0,87	0,64
13535,83	118,73	52,77	29,68	13,19	7,42	4,75	3,30	1,86	1,19	0,82	0,61
12859,04	112,79	50,13	28,20	12,53	7,05	4,51	3,13	1,76	1,13	0,78	0,58
12182,25	106,85	47,49	26,71	11,87	6,68	4,27	2,97	1,67	1,07	0,74	0,55
11505,46	100,92	44,85	25,23	11,21	6,31	4,04	2,80	1,58	1,01	0,70	0,51
10828,67	94,98	42,21	23,75	10,55	5,94	3,80	2,64	1,48	0,95	0,66	0,48
10151,88	89,04	39,58	22,26	9,89	5,57	3,56	2,47	1,39	0,89	0,62	0,45
9475,08	83,11	36,94	20,78	9,23	5,19	3,32	2,31	1,30	0,83	0,58	0,42
8798,29	77,17	34,30	19,29	8,57	4,82	3,09	2,14	1,21	0,77	0,54	0,39
8121,50	71,24	31,66	17,81	7,92	4,45	2,85	1,98	1,11	0,71	0,49	0,36
7444,71	65,30	29,02	16,32	7,26	4,08	2,61	1,81	1,02	0,65	0,45	0,33
6767,92	59,36	26,38	14,84	6,60	3,71	2,37	1,65	0,93	0,59	0,41	0,30
6091,13	53,43	23,75	13,36	5,94	3,34	2,14	1,48	0,83	0,53	0,37	0,27
5414,33	47,49	21,11	11,87	5,28	2,97	1,90	1,32	0,74	0,47	0,33	0,24
4737,54	41,55	18,47	10,39	4,62	2,60	1,66	1,15	0,65	0,42	0,29	0,21
4060,75	35,62	15,83	8,90	3,96	2,23	1,42	0,99	0,56	0,36	0,25	0,18
3383,96	29,68	13,19	7,42	3,30	1,86	1,19	0,82	0,46	0,30	0,21	0,15
2707,17	23,75	10,55	5,94	2,64	1,48	0,95	0,66	0,37	0,24	0,16	0,12
2030,38	17,81	7,92	4,45	1,98	1,11	0,71	0,49	0,28	0,18	0,12	0,09
1353,58	11,87	5,28	2,97	1,32	0,74	0,47	0,33	0,19	0,12	0,08	0,06
676,79	5,94	2,64	1,48	0,66	0,37	0,24	0,16	0,09	0,06	0,04	0,03

Para el cálculo de la caída de presión en las tuberías utilizaremos la siguiente expresión:

$$\Delta P_{Tuberías} = \sum \Delta P_i \cdot L_i$$

Donde:

- $\Delta P_i(Pa/m)$ : Es la caída de presión unitaria en cada uno de los tramos.
- $L_i$ : Es la longitud de cada uno de los tramos.

En la tabla 13, podemos ver para cada tramo, su longitud, caudal, diámetro, velocidad de circulación, la pérdida de carga lineales, la cantidad de accesorio que contienen, la longitud equivalente a causa de los accesorios, la pérdida de carga de las tuberías ( $\Delta P_{Tuberías}$ ), la pérdida de carga de los accesorios ( $\Delta P_{Accesorios}$ ) y la suma de estas dos pérdidas de carga.

Tabla 11: Perdida de carga lineales ( $Pa/m$ ) en función de los caudales y diámetros de las tuberías.

Caudales	Diámetro(in,mm)								
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3,5
	12,70	19,05	25,40	31,75	38,10	50,80	63,50	76,20	88,90
16243,00	679.085,7	89.308,9	21.547,3	7.213,6	2.963,9	733,3	249,3	103,5	49,3
15566,21	625.763,9	82.418,7	19.904,3	6.668,0	2.740,9	678,5	230,7	95,8	45,6
14889,42	574.585,0	75.795,7	18.323,4	6.142,5	2.526,1	625,7	212,9	88,4	42,1
14212,63	525.550,8	69.440,5	16.804,8	5.637,3	2.319,5	574,9	195,7	81,3	38,7
13535,83	478.662,8	63.353,5	15.348,5	5.152,5	2.121,1	526,1	179,1	74,4	35,5
12859,04	433.923,2	57.535,4	13.954,8	4.688,2	1.930,9	479,2	163,2	67,9	32,3
12182,25	391.334,1	51.986,8	12.624,0	4.244,4	1.749,1	434,4	148,0	61,6	29,3
11505,46	350.897,9	46.708,4	11.356,3	3.821,2	1.575,6	391,6	133,5	55,5	26,5
10828,67	312.617,5	41.701,0	10.152,0	3.418,9	1.410,5	350,8	119,7	49,8	23,8
10151,88	276.496,0	36.965,5	9.011,4	3.037,4	1.253,9	312,1	106,5	44,3	21,2
9475,08	242.537,1	32.502,9	7.934,8	2.677,0	1.105,8	275,5	94,1	39,2	18,7
8798,29	210.744,9	28.314,3	6.922,7	2.337,8	966,3	241,0	82,3	34,3	16,4
8121,50	181.124,2	24.401,0	5.975,4	2.019,9	835,5	208,5	71,3	29,7	14,2
7444,71	153.680,8	20.764,5	5.093,5	1.723,6	713,5	178,3	61,0	25,4	12,2
6767,92	128.421,4	17.406,4	4.277,5	1.449,2	600,4	150,2	51,4	21,4	10,3
6091,13	105.354,1	14.328,9	3.528,0	1.196,7	496,2	124,3	42,6	17,8	8,5
5414,33	84.488,9	11.534,2	2.845,8	966,6	401,2	100,6	34,5	14,4	6,9
4737,54	65.838,1	9.025,2	2.231,9	759,2	315,4	79,2	27,2	11,4	5,4
4060,75	49.417,5	6.805,4	1.687,2	574,8	239,1	60,1	20,7	8,6	4,1
3383,96	35.247,6	4.879,3	1.213,1	414,0	172,4	43,4	15,0	6,3	3,0
2707,17	23.356,5	3.252,7	811,3	277,5	115,8	29,2	10,1	4,2	2,0
2030,38	13.784,6	1.933,5	484,2	166,0	69,4	17,6	6,1	2,6	1,2
1353,58	6.594,3	933,5	235,0	80,9	33,9	8,6	3,0	1,3	0,6
676,79	1.897,8	272,4	69,1	23,9	10,1	2,6	0,9	0,4	0,2

Tabla 12: Longitudes equivalentes de los accesorios en función del diámetro.

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 13 Pérdida de carga en cada uno de los tramos de la instalación.

TRAMO	Longitud (m)	Caudal (L/h)	Diámetro (")	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	$\Delta P$ (Pa/m)	T deriv.	T alin.	Codos 90°	Leg acc. (m)	$\Delta p$ tubería (Pa)	$\Delta P$ eq. (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)
A	6,65	16.243,00	3	76,2	0,99	103,46	0	1	1	2	687,99	206,92	894,91
A1	5,8	15.566,21	3	76,2	0,95	95,80	0	2	0	1,36	555,61	130,28	685,89
A2	5,8	14.889,42	3	76,2	0,91	88,40	0	2	0	1,36	512,73	120,23	632,96
A3	5,8	14.212,63	3	76,2	0,87	81,28	0	2	0	1,36	471,42	110,54	581,96
A4	5,8	13.535,83	2 1/2	63,5	1,19	179,12	0	2	0	1,18	1.038,89	211,36	1.250,25
A5	5,8	12.859,04	2 1/2	63,5	1,13	163,24	0	2	0	1,18	946,81	192,63	1.139,44
A6	5,8	12.182,25	2 1/2	63,5	1,07	148,04	0	2	0	1,18	858,64	174,69	1.033,33
A7	5,8	11.505,46	2 1/2	63,5	1,01	133,52	0	2	0	1,18	774,40	157,55	931,95
A8	5,8	10.828,67	2 1/2	63,5	0,95	119,68	0	2	0	1,18	694,14	141,22	835,36
A9	5,8	10.151,88	2 1/2	63,5	0,89	106,53	0	2	0	1,18	617,88	125,71	743,59
A10	5,8	9.475,08	2 1/2	63,5	0,83	94,08	0	2	0	1,18	545,67	111,01	656,68
A11	5,8	8.798,29	2 1/2	63,5	0,77	82,33	0	2	0	1,18	477,54	97,15	574,70
A12	40,5	8.121,50	2	50,8	1,11	208,55	0	2	2	2,72	8.446,18	567,25	9.013,43
A13	5,8	7.444,71	2	50,8	1,02	178,27	0	2	0	0,98	1.033,96	174,70	1.208,67
A14	5,8	6.767,92	2	50,8	0,93	150,16	0	2	0	0,98	870,93	147,16	1.018,09
A15	5,8	6.091,13	2	50,8	0,83	124,25	0	2	0	0,98	720,66	121,77	842,43
A16	5,8	5.414,33	2	50,8	0,74	100,58	0	2	0	0,98	583,37	98,57	681,94
A17	5,8	4.737,54	1 1/2	38,1	1,15	315,40	0	2	0	0,74	1.829,30	233,39	2.062,69
A18	5,8	4.060,75	1 1/2	38,1	0,99	239,08	0	2	0	0,74	1.386,66	176,92	1.563,58
A19	5,8	3.383,96	1 1/2	38,1	0,82	172,44	0	2	0	0,74	1.000,14	127,60	1.127,75
A20	5,8	2.707,17	1 1/4	31,75	0,95	277,51	0	2	0	0,74	1.609,54	205,35	1.814,89
A21	5,8	2.030,38	1 1/4	31,75	0,71	166,04	0	2	0	0,74	963,06	122,87	1.085,93
A22	5,8	1.353,58	1	25,4	0,74	234,97	0	2	0	0,48	1.362,85	112,79	1.475,63
A23	6,47	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	0	1	1	0,46	1.762,37	125,30	1.887,67
B1	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B2	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B3	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B4	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B5	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B6	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B7	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B8	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B9	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B10	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B11	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B12	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B13	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B14	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B15	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B16	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B17	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B18	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B19	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B20	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B21	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B22	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
B23	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26

TRAMO	Longitud (m)	Caudal (L/h)	Diámetro (")	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	ΔP (P/alm)	T deriv.	T alin.	Codos 90°	Leq acc. (m)	Δp tubería (Pa)	ΔP eq. (Pa)	ΔP total (Pa)
C	5,8	15.566,21	3	76,2	0,95	95,80	0	2	0	1,36	555,61	130,28	685,89
C1	5,8	14.869,42	3	76,2	0,91	88,40	0	2	0	1,36	512,73	120,23	632,96
C2	5,8	14.212,63	3	76,2	0,87	81,28	0	2	0	1,36	471,42	110,54	581,96
C3	5,8	13.535,83	2 1/2	63,5	1,19	179,12	0	2	0	1,18	1.038,89	211,36	1.250,25
C4	5,8	12.853,04	2 1/2	63,5	1,13	163,24	0	2	0	1,18	946,81	192,63	1.139,44
C5	5,8	12.182,25	2 1/2	63,5	1,07	148,04	0	2	0	1,18	858,64	174,69	1.033,33
C6	5,8	11.505,46	2 1/2	63,5	1,01	133,52	0	2	0	1,18	774,40	157,55	931,95
C7	5,8	10.828,67	2 1/2	63,5	0,95	119,68	0	2	0	1,18	694,14	141,22	835,36
C8	5,8	10.151,88	2 1/2	63,5	0,89	106,53	0	2	0	1,18	617,88	125,71	743,59
C9	5,8	9.475,08	2 1/2	63,5	0,83	94,08	0	2	0	1,18	545,67	111,01	656,68
C10	5,8	8.798,29	2 1/2	63,5	0,77	82,33	0	2	0	1,18	477,54	97,15	574,70
C11	25,51	8.121,50	2	50,8	1,11	208,55	0	2	2	2,72	5.320,05	567,25	5.887,30
C12	5,8	7.444,71	2	50,8	1,02	178,27	0	2	0	0,98	1.033,96	174,70	1.208,67
C13	5,8	6.767,92	2	50,8	0,93	150,16	0	2	0	0,98	870,93	147,16	1.018,09
C14	5,8	6.091,13	2	50,8	0,83	124,25	0	2	0	0,98	720,66	121,77	842,43
C15	5,8	5.414,33	2	50,8	0,74	100,58	0	2	0	0,98	583,37	98,57	681,94
C16	5,8	4.737,54	1 1/2	38,1	1,15	315,40	0	2	0	0,74	1.829,30	233,39	2.062,69
C17	5,8	4.060,75	1 1/2	38,1	0,99	239,08	0	2	0	0,74	1.386,66	176,92	1.563,58
C18	5,8	3.383,96	1 1/2	38,1	0,82	172,44	0	2	0	0,74	1.000,14	127,60	1.127,75
C19	5,8	2.707,17	1 1/4	31,75	0,95	277,51	0	2	0	0,74	1.609,54	205,35	1.814,89
C20	5,8	2.030,38	1 1/4	31,75	0,71	166,04	0	2	0	0,74	963,06	122,87	1.085,93
C21	5,8	1.353,58	1	25,4	0,74	234,97	0	2	0	0,48	1.362,85	112,79	1.475,63
C22	6,47	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	0	1	1	0,46	1.762,37	125,30	1.887,67
C23	38,3289	16.243,00	3	76,2	0,99	103,46	0	1	1	2	3.965,41	206,92	4.172,33
D	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D1	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D2	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D3	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D4	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D5	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D6	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D7	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D8	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D9	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D10	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D11	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D12	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D13	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D14	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D15	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D16	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D17	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D18	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D19	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D20	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D21	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D22	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26
D23	0,6736	676,79	3/4	19,05	0,66	272,39	1	0	0	0,66	183,48	179,78	363,26

Para el cálculo de la caída de presión en los accesorios se ha calculado de forma equivalente a la caída de presión en las tuberías:

$$\Delta P_{Accesorios} = \sum \Delta P_{i \text{ accesorios}} \cdot L_i$$

Donde:

- $\Delta P_{i \text{ accesorios}} (Pa/m)$ : Es la caída de presión por los accesorios en cada uno de los tramos.
- $L_i$ : Es la longitud de cada uno de los tramos.

Calculamos la pérdida de carga total de cada circuito sumando las pérdidas de carga totales de cada uno de los tramos que lo componen. El resultado lo podemos ver en la tabla 14.

Tabla 14: Pérdida de carga total en cada circuito de la instalación.

Circuito	$\Delta P$ total (Pa)
1	35.516,42
2	34.314,64
3	33.471,97
4	32.967,99
5	32.403,35
6	32.415,04
7	31.884,80
8	30.754,06
9	30.907,48
10	30.808,64
11	30.447,23
12	29.813,26
13	32.939,39
14	33.573,36
15	33.934,77
16	34.033,61
17	33.880,19
18	35.010,92
19	35.541,17
20	35.529,48
21	36.094,12
22	36.598,09
23	37.440,77
24	34.106,96

El circuito con mayor pérdida de carga total es el 23, con una pérdida de carga de 37.440,77 Pa. En este circuito se encuentran los tramos: A, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A19, A20, A21, A22, B23, D1, C y C23.

Quedando:

$$\Delta P_{Tuberías} + \Delta P_{Accesorios} = 37.440 \text{ Pa}$$

### 2.5.5 Pérdida de carga en la red de tuberías circuito secundario

El circuito secundario, está formado por un solo tramo, que consta de 18,2 m de tubería y 4 codos de 90°.

De la misma manera calculada antes para el circuito primario, para el circuito secundario quedaría:

$$\Delta P_{Tuberías} + \Delta P_{Accesorios} = 1.882,93 + 136,56 = 2.019,49 \text{ Pa}$$

## 2.5.6 Pérdida de carga en el intercambiador

Como hemos visto anteriormente en el apartado 2.5.2, la pérdida de carga en cada uno de los lados del intercambiador es:

$$\Delta P_{Intercambiador} = 3,6 \text{ mca} = 35.303 \text{ Pa}$$

## 2.5.7 Pérdida de carga en los captadores

Para calcular la pérdida de carga producida debido a las fricciones del fluido en el captador, el fabricante (Promasol) proporciona una gráfica, figura 26 que relaciona la caída de presión (Pa) con el flujo másico (kg/s) que circula por el captador.

Sabiendo el flujo másico que circula por cada uno de los

$$Q = G \cdot Ac = 135,36 \text{ L/h} = 0.0376 \text{ kg/s}$$

Donde:

- $Q$  (kg/s): Flujo másico que circula por cada captador.
- $G$  (L/m<sup>2</sup> · h): Caudal de ensayo que nos proporciona el fabricante de los captadores solares, en este caso el fabricante nos dice que es de 72 L/m<sup>2</sup> · h.
- $Ac$  (m<sup>2</sup>): Área del captador solar, en nuestro caso es de 1.88 m<sup>2</sup>.

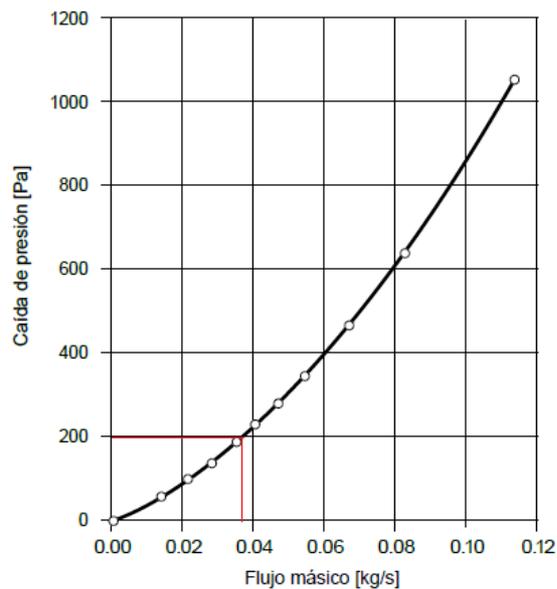


Figura 25: Gráfico pérdida de presión captador Promasol. Fuente Promasol.

Al observar en la figura 26, podemos ver que la caída de presión en los captadores será:

$$\Delta P_{Captador} = 200 \text{ Pa}$$

Tomamos  $\Delta P_{Equipos}$  como la pérdida de carga en los captadores y el intercambiador. En el caso de los captadores al estar alineados de cinco en cinco, la pérdida de carga será la suma de estos cinco captadores.

$$\Delta P_{Equipos} = \Delta P_{Captadores} + \Delta P_{Intercambiador} = 5 \cdot 200 \text{ Pa} + 35.303 \text{ Pa} = 36.303 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_{Tuberías} + \Delta P_{Accesorios} + \Delta P_{Equipos}$$

$$\Delta P_{Total} = 33.899 \text{ Pa} + 4.379 \text{ Pa} + 36.303 \text{ Pa} = 73.743 \text{ Pa}$$

## 2.6 Dimensionado de la bomba del circuito primario

Se dimensionará el equipo de bombeo según las exigencias del CTE. Se establece en la normativa que para instalaciones en las que el área de captación es mayor a  $50 \text{ m}^2$  se deberán instalar dos bombas iguales en disposición paralela. Las bombas no funcionarán simultáneamente, sino que una de las dos será una bomba de reserva. Como en nuestra instalación se superan los  $50 \text{ m}^2$  deberemos incorporar dos bombas.

Para el dimensionado de la bomba de circuito primario, necesitamos conocer el caudal de circulación y la pérdida de carga que tiene que superar la bomba.

Nuestro caudal es de  $16,24 \text{ m}^3/\text{h}$  y haciendo un cambio de unidades a la pérdida de carga anteriormente calculada,  $\Delta P_{Total} = 73.743 \text{ Pa} = 7,52 \text{ mca}$ .

Con estos datos, podemos elegir nuestra bomba y elegimos el modelo, Stratos-Z 40/1-12 de la marca Wilo, ya que es el mejor que se adapta a nuestras necesidades. En la figura 27, podemos observar la gráfica del fabricante que nos ayuda a seleccionar el modelo exacto.

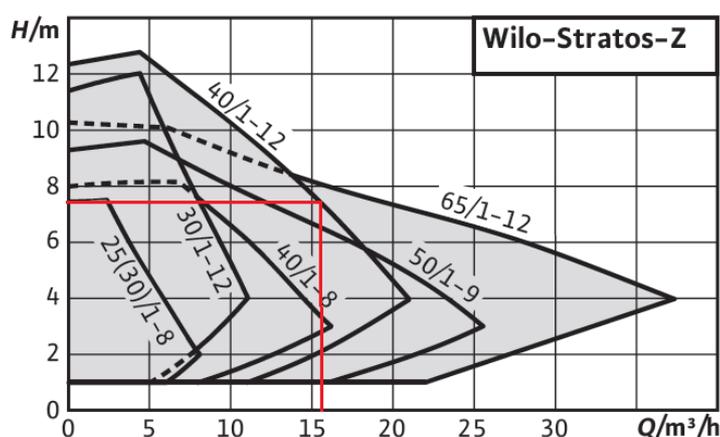


Figura 26: Gráfica de selección de la bomba del primario. Fuente: Wilo.

En la tabla 15, vemos los detalles de la bomba.

Tabla 15: Especificaciones de la bomba Wilo-Stratos-Z.

Caudal ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Pérdida de carga (mca)	Consumo (W)	Tensión (V)	Fase
16,24	7,52	25 - 470	230	Monofásica

## 2.7 Dimensionado de la bomba del circuito secundario

Exactamente como en el caso de la bomba del circuito primario, se dimensionará el equipo de bombeo según las exigencias del CTE. Se establece en la normativa que para instalaciones en las que el área de captación es mayor a  $50 \text{ m}^2$  se deberán instalar dos bombas iguales en disposición paralela. Las bombas no funcionarán simultáneamente, sino que una de las dos será una bomba de reserva. Como en nuestra instalación se superan los  $50 \text{ m}^2$  deberemos incorporar dos bombas.

Para el dimensionado de la bomba de circuito primario, necesitamos conocer el caudal de circulación y la pérdida de carga que tiene que superar la bomba. Donde la pérdida de carga total es:

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_{Tuberías} + \Delta P_{Accesorios} + \Delta P_{Intercambiador} = 1.882,93 + 136,56 + 35.303 = 37.322 \text{ Pa}$$

Y siendo nuestro caudal es de  $16,24 \text{ m}^3/\text{h}$  y haciendo un cambio de unidades a la pérdida de carga anteriormente calculada,  $\Delta P_{Total} = 37.322 \text{ Pa} = 3,81 \text{ mca}$ .

Con estos datos, podemos elegir nuestra bomba y elegimos también el modelo, Stratos-Z 40/1-12 de la marca Wilo, ya que se adapta también a la necesidad del circuito secundario. En la figura 28, podemos observar la

gráfica del fabricante que nos ayuda a seleccionar el modelo exacto.

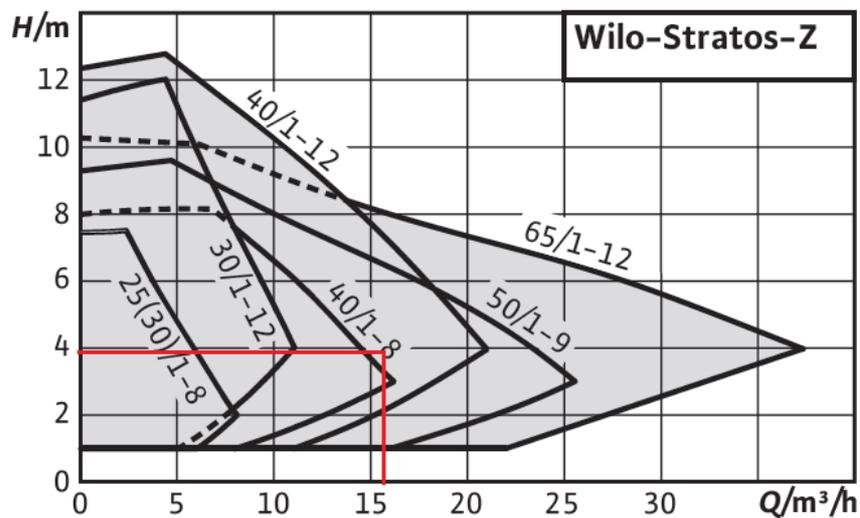


Figura 27: Gráfica de selección de la bomba del secundario. Fuente: Wilo.

En la tabla 16, vemos los detalles de la bomba.

Tabla 16: Especificaciones de la bomba Wilo-Stratos-Z.

Caudal ( $m^3/h$ )	Pérdida de carga (mca)	Consumo (W)	Tensión (V)	Fase
16, 24	3,81	25 - 470	230	Monofásica

## 2.8 Dimensionado del vaso de expansión del circuito primario

Debido a las variaciones de densidad que experimenta el fluido de circula por nuestro circuito al calentarse, se producen aumentos de volumen. El vaso de expansión se encarga de minimizar los daños en los distintos equipos debido a un aumento de la presión.

Para diseñar los vasos de expansión se sigue la normativa UNE 100155:2014 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión”.

El volumen del vaso de expansión se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_{vaso\ exp} = V_T \cdot C_e \cdot C_p$$

Siendo:

- $V_{vaso\ exp}$ : Volumen del vaso de expansión.
- $V_T$ : Volumen total del circuito primario.
- $C_e$ : Coeficiente de expansión del fluido.
- $C_p$ : Coeficiente de expansión.

El volumen total del cuito primario, es la suma del volumen encerrado por los tramos de tubería ( $V_{tuberías}$ ) y los captadores solares ( $V_{captación}$ ). El dato del volumen encerrado en los captadores lo calculamos directamente viendo las especificaciones que nos muestra el fabricante, en nuestro caso el fabricante marca que la capacidad de cada captador es de 1.28 L.

$$V_T = V_{captación} + V_{tuberías} = 120 \cdot 1.28 + 962.18 = 1.115,8\ L$$

A este total habrá que sumarle un porcentaje de seguridad del 10%, quedando el volumen total del circuito primario:

$$V_T = 1.227,4 L$$

A continuación, calcularemos el coeficiente de expansión del fluido primario, utilizando la expresión:

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

Donde:

- $T$ : Temperatura del fluido a su paso por el vaso de expansión. Se estima en 60 °C.
- $f_e$ : Factor de corrección.

$$f_e = a (1.83 T + 32)^b$$

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

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

Donde G es el porcentaje de glicol en el fluido, en nuestro caso 0.

Finalmente, obtenemos el resultado del coeficiente de expansión:

$$C_e = 0,015$$

También, tendremos que calcular el coeficiente de presión, a través de la siguiente expresión:

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

Donde:

- $P_{m\acute{a}x.}$ : Es la presión máxima del circuito, correspondiéndose en este caso con 10 bar.
- $P_{m\acute{i}n.}$ : Es la presión mínima y está fijada por la diferencia del punto más alto de la instalación y el punto donde se encuentra el vaso de expansión. En nuestro caso, al estar toda la instalación en el mismo plano, tomamos este valor como 0. Sin embargo, es recomendable dejar un margen de seguridad de 0.5.

De tal forma, el coeficiente de presión queda:

$$C_p = \frac{10}{10 - 0.5} = 1,053$$

Finalmente, uniendo todos los términos calculados, el volumen del vaso de expansión será:

$$V_{vaso\ exp} = 1.115,8 \cdot 0,015 \cdot 1,053 = 17,62 L$$

Por lo tanto, al tener que ser como mínimo 17,62 L, elegimos el modelo 18 CMR de la marca IABIONDO, que soporta 10 bar de presión y tiene un volumen de 18 L.

## 2.9 Cálculo de espesores de aislamiento

### 2.9.1 Tuberías del circuito primario y secundario

En este apartado, dimensionaremos los espesores de aislamiento de las tuberías del circuito primario. Para ello, se utiliza la instrucción técnica 1.2.4.2.1 del RITE *Aislamiento térmico de redes de tuberías*. Esta IT exige que todas las tuberías y accesorios, así como equipos, aparatos y depósitos dispongan de un aislamiento térmico debido a que la temperatura del fluido es mayor a 40°C.

En el caso de la instalación objeto de estudio de este proyecto, todos los equipos y accesorios vienen con un aislamiento de fábrica que cumple la normativa vigente, por lo que sólo será necesario calcular los espesores de tuberías en cada tramo.

Para ello, se va a emplear el procedimiento simplificado en el cual los espesores de aislamiento térmico en función del diámetro exterior de la tubería y de la temperatura del fluido y para un material de referencia con una conductividad térmica de 0,040 W/(m·K) a 10 °C están tabulados, tal y como se pueden ver en las tablas 17 y 18.

En la tabla 19, podemos ver los espesores que se implantarán a cada una de nuestras tuberías en función de su diámetro y si se encuentran en el exterior (circuito primario) o en el interior (circuito secundario).

Tabla 17: Espesor mínimo del aislamiento (mm) en función del diámetro de tubería que discurre por el interior de un edificio. Fuente: RITE.

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

Tabla 18: Espesor mínimo del aislamiento (mm) en función del diámetro de tubería que discurre por el exterior de un edificio. Fuente: RITE.

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

Tabla 19: Espesores mínimos para las tuberías presentes en la instalación.

	Diámetro (in, mm)						
	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3
	19,05	25,40	31,75	38,10	50,80	63,50	76,20
<b>Espesores (mm) Circuito primario</b>	35	35	35	40	40	40	40
<b>Espesores (mm) Circuito secundario</b>							30

## 2.9.2 Depósitos de acumulación

Según la normativa, en aquellos depósitos cuyo volumen sea menor de 300 l se tendrán que utilizar como mínimo un espesor de 30 mm, mientras que para aquellos superiores a esa cantidad será de 50 mm. Además si la superficie de los acumuladores es menor de 2 m se tendrá que usar un grosor de 30 mm, en el caso contrario será de 50 mm.

En nuestro caso, el volumen es superior a 300 L y la superficie también superior a 2 m<sup>2</sup>, por lo que nuestro espesor será como mínimo de 50 mm.

El propio fabricante de los depósitos, Lapesa, nos proporciona el aislante para cada uno de los dos depósitos de acumulación. Estos aislantes serán:

- Conjunto aislamiento fibra de vidrio 50 mm + forro PVC M1 para Acumulador Lapesa MV-7000-IB.
- Conjunto aislamiento fibra de vidrio 50 mm + forro PVC M1 para Acumulador Lapesa MV-8000-IB o similar

## 2.9.3 Intercambiador de calor

En el caso del intercambiador de calor, el fabricante del equipo (ALFA LAVAL), también nos proporciona el aislamiento necesario para cumplir la normativa. Este aislamiento será el aislamiento para intercambiador CB110-64M del fabricante ALFA LAVAL.

## 2.10 Sistema de control

Para el control y regulación de nuestra instalación solar se empleará un sistema de control. En este caso, hemos elegido una centralita, modelo LTDC-V3 de la marca Termicol, que cuenta con:

- 6 entradas para sensores PT1000 de temperatura.
- 2 entradas VFS/RPS Direct sensor para medir caudal.
- 3 salidas relé 230VAC (on/off).
- 2 salida PWM (control velocidad bombas alta eficiencia).
- 42 variantes hidráulicas.

Este sistema de control será el encargado de controlar el caudal de las bombas del circuito primario y secundario, accionándolas cuando sea necesario, como explicamos en el apartado 1.5.2.9. Conectando el sistema de control a los dos termostatos, que se sitúan a la salida del campo de captadores y en la parte baja del acumulador a menor temperatura, en nuestro caso el acumulador 1 como vemos en la figura 11.

## 2.11 Selección de accesorios.

- Purgadores:

Se colocan en todos los puntos donde pueda quedar aire acumulado, a la salida de las baterías de los captadores. Se colocarán sistemas de purga manuales o automáticos. En nuestro caso, se colocarán 24, en la salida de cada una de las filas de cinco captadores.

- Válvulas:

- De corte: se sitúan a la salida y entrada de los diferentes equipos. Se disponen de 30 válvulas de corte, situadas en: 3 situadas en la ‘T’ de la acometida del agua de red, 1 en la conexión con el sistema auxiliar, 6 en la entrada y las salidas de los dos depósitos acumuladores, 8 para las entradas y las salidas de las cuatro bombas de la instalación, 4 para conexión de entrada y salida de intercambiador y 8 para las conexiones de los cuatro manómetros que se encuentran conectados a la entrada y la salida de cada una de las cuatro bombas del sistema.
- De retención: Se colocan a la salida de las bombas de circulación. Se dispone de cuatro, una para cada una de las bombas del circuito primario y del secundario.
- De seguridad: Tenemos tres, una situada en el vaso de expansión y las otras dos situadas en los depósitos de acumulación.

- Filtros:

Dispondremos de dos filtros, colocados en la aspiración del sistema de bombeo del circuito primario y secundario.

- Sonda de temperatura:

Contamos con dos sondas, una a la salida del campo de captadores y la otra en la parte baja del acumulador a menor temperatura.

- Manómetros:

Colocaremos cuatro, cada uno en una de las bombas del circuito primario y secundario.

- Sistemas de llenado y vaciado:

Se disponen de dos sistemas, uno para el circuito primario y otro para el secundario, colocados aguas arriba de las bombas de circulación.

## Certificado CHEQ4



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

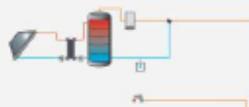
### Datos del proyecto

Nombre del proyecto	
Comunidad	
Localidad	
Dirección	

### Datos del autor

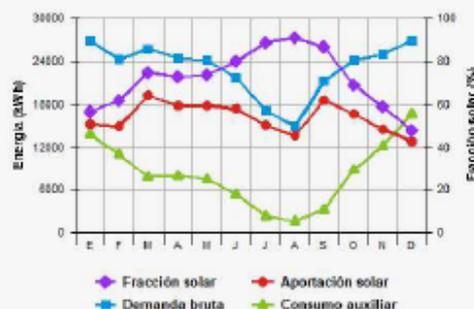
Nombre	
Empresa o institución	
Email	
Teléfono	

### Características del sistema solar



Localización de referencia	Sevilla (Sevilla)											
Altura respecto la referencia [m]	0											
Sistema seleccionado	Instalación de consumidor único con intercambiador independiente											
Demanda [l/día a 60°C]	15,088											
Ocupación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	100	100	100	100	100	100	80	70	100	100	100	100

### Resultados



Fracción solar [%]	70
Demanda neta [kWh]	273,793
Demanda bruta [kWh]	277,207
Aporte solar [kWh]	194,696
Consumo auxiliar [kWh]	98,600
Reducción de emisiones de [kg de CO2]	49,063

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	PROMASUN 2.0 BLUE ( PROMASOL)	<input type="checkbox"/>
Contraseña de certificación	NPS-19216 - Verificar vigencia	<input type="checkbox"/>
Número de captadores	120.0	<input type="checkbox"/>
Número de captadores en serie	1.0	<input type="checkbox"/>
Pérdidas por sombras (%)	0.0	<input type="checkbox"/>
Orientación [°]	12.0	<input type="checkbox"/>
Inclinación [°]	45.0	<input type="checkbox"/>
<b>Circuito primario/secundario</b>		
Caudal circuito primario [l/h]	16,243.0	<input type="checkbox"/>
Porcentaje de anticongelante [%]	0.0	<input type="checkbox"/>
Longitud del circuito primario [m]	450.0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	65.0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	40.0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	genérico	<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]	15,000.0	<input type="checkbox"/>
<b>Distribución</b>		
Longitud del circuito de distribución [m]	400.0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	50.0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	40.0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	genérico	<input type="checkbox"/>
Temperatura de distribución [°C]	60.0	<input type="checkbox"/>

# 3 PLIEGO DE CONDICIONES

---

## 3.1 Objeto

En este apartado, mediante la definición de un pliego de condiciones técnicas fijaremos los criterios generales para la instalación solar térmica de baja temperatura para una residencia de estudiantes en la ciudad de Sevilla.

A continuación, definiremos los equipos y materiales necesarios para realizar la instalación. Además, describiremos el montaje de cada uno de los equipos y las pruebas y ensayos parciales para comprobar su correcto funcionamiento, detallando los requisitos para su mantenimiento.

## 3.2 Normativa aplicable

En los siguientes reglamentos podemos encontrar recogidos los requisitos exigidos para los materiales y tareas necesarios para la instalación.

- Pliego de especificaciones Técnicas de Instalaciones de Energía Solar térmica a Baja Temperatura.
- Código Técnico de la Edificación: Acciones en la edificación (CTE-DB-AE).
- Código Técnico de la Edificación: Seguridad en caso de incendio (CTE-DB-SI).
- 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”.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones complementarias MI.BT.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), además de las instrucciones técnicas complementarias (ITE)
- Otras normas o recomendaciones utilizadas de guía como la UNE y las NTE del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- Se cumplirá con toda la normativa de carácter regional y local.

## 3.3 Condiciones de materiales y equipos

### 3.3.1 Tuberías y Accesorios

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

En circuitos de agua caliente sanitaria podrá utilizarse cobre y acero inoxidable. Además, podrán utilizarse materiales plásticos que soporten las condiciones extremas (presión y temperatura) del circuito, cumplan las normas UNE que le sean de aplicación y estén autorizados para su utilización por las compañías de suministro de agua potable.

Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y uniones por capilaridad (UNE-37153). En todos los casos es recomendable prever la protección catódica del acero según la norma UNE 100050.

A todos los elementos metálicos no galvanizados, ya sean tuberías, soportes, o accesorios, o que no estén protegidos contra la oxidación por su fabricante, se les aplicarán dos capas de pintura antioxidante a base de resinas sintéticas acrílicas multi-pigmentadas por minio de plomo, cromado de zinc y óxido de hierro. Las dos manos de pintura se dan una fuera de la obra y otra una vez haya sido instalado el tubo.

### 3.3.2 Accesorios

- **Compensadores de dilatación:** Estos se utilizan en los circuitos de agua caliente. Siempre se colocarán entre dos puntos fijos, capaces de soportar los esfuerzos de dilatación y de presión que se originan.
- **Juntas:** No está permitido el uso de amianto. La presión nominal mínima será PN-10 y soportará temperaturas de hasta 200°C.
- **Lubricante de roscas:** Se aplicará uno de uso general que no sea endurecedor y venenoso.
- **Derivaciones:** Se utilizarán empalmes soldados. Las aberturas en tuberías se harán con la suficiente precisión para que estén perfectamente acabadas las intersecciones.
- **Codos en bombas:** Se suministrarán codos de radio largo en la succión y descarga de las bombas.
- **Sombretes:** Se protegerán todas aquellas tuberías que vayan por el tejado del edificio de acuerdo a las instrucciones de la Dirección Facultativa.
- **Guías:** Se instalarán donde se indique y donde sea necesario según la recomendación del fabricante, por ejemplo, en liras o juntas de expansión.
- **Termómetros:** Los termómetros serán de mercurio, de fácil lectura. Estarán protegidos dentro de una caja metálica con ventana de vidrio.
- **Manómetros:** Los manómetros serán con válvula de aguja de aislamiento en acero inoxidable e inmersos en glicerina. La precisión será de al menos el 99%.
- **Válvulas de seguridad:** Se incluirán todas las válvulas de seguridad indicadas, o necesarias para un funcionamiento completamente seguro y correcto de los sistemas. Durante el periodo de pruebas de la instalación se procederá al timbrado de las mismas.
- **Purga de aire:** Cuando sea necesario, y con el fin de disponer de una instalación silenciosa y evitar la formación de cámaras de aire se dispondrá la tubería con pendiente ascendente hacia la dirección del flujo. Los trazados de tubería horizontales tendrán siempre una pendiente mínima del 1%. En el caso de que, una vez que las redes estén en funcionamiento, se den anomalías por presencia de aire en la instalación, se instalarán nuevos empalmes, purgadores, válvulas según se considere necesario y sin costes extra.
- **Vaciados:** Los vaciados se dirigirán al sumidero o desagüe más cercano. En cualquier caso, dispondrán de una válvula de vaciado para que la tubería descargue correctamente.

### 3.3.3 Captadores

El captador deberá llevar una etiqueta de características técnicas con los siguientes parámetros especificados:

1. Fabricante.
2. Año de fabricación.
3. N° de serie.
4. Marca y modelo.
5. Área de captación.
6. Superficie del captador.
7. Dimensiones.
8. Volumen de fluido.
9. Presión máxima de trabajo.
10. Temperatura de estancamiento a 30°C y 1000 W/m<sup>2</sup>.
11. Peso en vacío.
12. Lugar de fabricación.

Además, es recomendable que el material de la parrilla de tubos de los captadores sea metálico y que la distancia media entre el absorbedor y la cubierta transparente sea superior a 2 cm e inferior a 4 cm.

El captador llevará, preferentemente, un orificio de ventilación, de diámetro no inferior a 4 mm, situado en la parte inferior de forma que puedan eliminarse acumulaciones de agua en el captador. El orificio se realizará de manera que el agua pueda drenarse en su totalidad sin afectar al aislamiento.

Se recomienda que todos los captadores que integren la instalación sean del mismo tipo y modelo. Si esto no fuera posible, a causa de una rehabilitación o ampliación, se dispondrá de un sistema de regulación del caudal. De esta forma, se conseguirá mantener el mismo caudal que las baterías de los captadores existentes.

En cuanto a la estructura de soporte de los captadores, cumplirá en todo momento los requisitos establecidos por el CTE-SE. Los materiales que integran la estructura deberán tratarse con especial cuidado para que aguanten los agentes ambientales, especialmente el efecto de la radiación solar y la erosión del aire y agua.

### **3.3.4 Acumuladores**

Los acumuladores que se instalen deberán tener especificadas en una etiqueta visible las siguientes características:

1. Nombre del fabricante.
2. Fecha de registro y contraseña.
3. Número de fabricación
4. Volumen neto de almacenamiento en litros.
5. Presión máxima de operación.

Además, se deberá especificar el tipo del acumulador y las siguientes características:

1. Volumen cubicado real.
2. Principales dimensiones.
3. Presión máxima de trabajo.
4. Situación y diámetro de las bocas de conexión.
5. Situación de los puntos de apoyo y sujeción.
6. Temperatura máxima de operación.
7. Tratamiento y protección.
8. Material y espesor de aislamiento.

El depósito del acumulador estará fabricado conforme al Reglamento de Aparatos a Presión, donde se puede encontrar la Instrucción Técnica Complementaria MJE-API 1

### **3.3.5 Bombas**

Las bombas de circulación deben llevar incorporadas una placa de identificación con los siguientes parámetros:

1. Fabricante.
2. Marca y modelo.
3. Características eléctricas.

Además, deberán cumplir las siguientes especificaciones técnicas:

- Rodete de fundición o bronce.
- Eje en acero inoxidable AISI 316.
- Eje y 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.
- 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.

### 3.3.6 Vasos de expansión

Los vasos de expansión llevarán una placa de identificación en una zona visible, en la que se detallen al menos las siguientes características:

1. Fabricante.
2. Marca y modelo.

Además, deben cumplir las siguientes características:

- Temperatura máxima de trabajo recomendable de 100 °C. Se adoptarán las medidas necesarias para que no llegue al vaso fluido a una temperatura superior a la que es capaz de soportar.
- Para evitar fugas, se deben presurizar con nitrógeno puro. No se aconseja el uso de aire para esta aplicación ya que puede reducirse la vida útil.
- El cuerpo exterior estará hecho de acero con doble tratamiento antioxidante y accesible a la membrana de expansión interior.

### 3.3.7 Válvulas

Las válvulas deberán llevar especificado el diámetro y la presión nominales, si procede, también la presión de ajuste. La elección de las mismas se hará en función de su aplicación. Para la selección de estas, se seguirá el siguiente criterio:

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

En función del tipo de válvula que se elija para una aplicación determinada, se diseñarán con un tipo de material diferente:

- Válvulas de asiento: el cuerpo, el prensa-estopas y la tapa se fabricarán del mismo material, siendo éste bronce, fundición de hierro o acero. El obturador tendrá forma de pistón o de asiento plano. El asiento

será en bronce o acero inoxidable, según el material del cuerpo.

- 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.
- Válvulas de seguridad de resorte: cuerpo de hierro fundido o acero al carbono. Obturador y vástago de acero inoxidable. Prensa-estopas de latón.
- Válvulas de retención: cuerpo y tapa de bronce o latón. Asiento y capeta de bronce. Conexiones con rosca hembra.
- Purgadores de aire: cuerpo y tapa de fundición de hierro o latón. Mecanismo de acero inoxidable. Flotador y asiento de acero inoxidable o de plástico. Obturador de goma sintética.

### 3.3.8 Aislamiento

Todo material utilizado como aislante deberá cumplir los requisitos de la norma UNE 100171:1989. El aislamiento, tanto de las tuberías como de los equipos deberá hacer frente a los agentes atmosféricos. Por esta razón se podrá reforzar con pinturas asfálticas, aluminio o un revestimiento de escayola.

### 3.3.9 Sistema eléctrico y de control

El diseño de la instalación eléctrica cumplirá en todo momento el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Se construirá un cuadro eléctrico específico para la instalación solar. El sistema de control consistirá en un controlador digital programable e incorporará una adquisición de datos de la instalación en tiempo real, se podrá gestionar a distancia y así no será necesario tener un encargado en la sala de máquinas en todo momento.

Se comprobarán los caudales, temperaturas en captadores, acumuladores, potencia y energía inyectada en cada servicio y número de horas de funcionamiento de las bombas.

Las funciones de regulación y control son las siguientes:

- Activación de la bomba de circulación en función de la diferencia de temperaturas entre la salida de los captadores y la parte inferior del depósito acumulador.
- Se encargará de la parada y arranque de la bomba de circulación. Asegurará que en ningún momento las bombas estén en marcha cuando la diferencia entre temperaturas sea menor a 2°C ni paradas cuando esa diferencia sea superior a 7°C.
- El sistema incluirá señales lumínicas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.

### 3.3.10 Sistema de medida

Los sistemas o aparatos de medida nos proporcionan información y datos sobre el estado y funcionamiento de la instalación.

**Medida del caudal:** Se precisará un sistema para medir el caudal en todo momento. Para ello, se utilizarán contadores de caudal de agua, constituidos por materiales resistentes al agua. En el caso de que este sistema de medida esté ubicado en el exterior, será precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas. El fabricante tiene que facilitar los siguientes datos:

1. Caudales: en servicio continuo, máximo, mínimo y de arranque.
2. Calibre.
3. Temperatura máxima del fluido.
4. Presión máxima.
5. Dimensiones y modo de conexión.
6. Pérdida de carga, según el caudal.

**Medida de la temperatura:** Los medidores de temperatura deberán estar, preferentemente, inmersos en el

fluido para obtener una mayor precisión. Se utilizarán sondas de temperatura, termopares, termómetros de resistencia y termistores.

**Medida de la energía térmica:** Son contadores constituidos por los siguientes elementos:

1. Contador de agua.
2. Dos sondas de temperatura.
3. Microprocesador electrónico.

### **3.4 Condiciones de montaje**

Los fabricantes de cada equipo facilitarán las condiciones de montaje, según los materiales escogidos. Para ello, nos proporcionarán unas instrucciones y unos manuales. De esta forma, aseguramos largos períodos de vida útil de los equipos de la instalación.

### **3.5 Provisión de material**

Será necesario que los componentes instalados sean homologados y de marcas acreditadas, para así ofrecer las máximas garantías posibles. Se dispondrá de un lugar adecuado y seguro para almacenar los materiales y elementos de la instalación hasta el momento en que estos vayan a ser puestos en obra.

Los captadores, por su especial fragilidad, deberán ser suministrados apilados sobre una base de madera adecuada para su traslado mediante carretilla elevadora. En el supuesto de que los captadores una vez desembalados deban quedarse temporalmente a la intemperie, se colocarán con un ángulo mínimo de 20° y máximo de 80°.

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

#### **3.6.1 General**

Una vez finalizada la instalación, ésta se entrega al promotor o usuario para iniciar el periodo de uso y el periodo de mantenimiento. Para realizar la recepción de la instalación debería estar realizado, además del montaje completo, las pruebas y ajustes especificados, así como la puesta en marcha. El instalador se responsabilizará de la ejecución de las pruebas funcionales, del buen funcionamiento de la instalación y del estado de la misma hasta su entrega a la propiedad.

El instalador se encargará de realizar el documento de Control de Ejecución, que incluirá entre otras cosas:

- Pruebas parciales
- Pruebas finales
- Funciones realizadas y fecha
- Resultado y grado de cumplimiento de expectativas

El funcionamiento de la instalación se dará como correcto, cuando la misma satisfaga como mínimo las pruebas parciales incluidas en este capítulo.

#### **3.6.2 Pruebas parciales**

Para poder comenzar con las pruebas primero deberemos comprobar el estado de los materiales en el momento de su recepción en la obra.

Durante la instalación, las tuberías y elementos que vayan a estar ocultos deberán estar visibles para su inspección y aprobación antes de su posterior montaje. También será necesario comprobar todos los soportes de tuberías, diámetros, trazados y pendientes.

Además, se realizarán las siguientes pruebas:

- **Pruebas a equipos:** Se comprobarán que los materiales y componentes que lleguen a la obra vienen con una certificación de origen industrial, que acredite el cumplimiento de la normativa en vigor. Su recepción se realizará comprobando el cumplimiento de las especificaciones del proyecto y sus características aparentes.
- **Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas:** Antes de ocultar todas las tuberías y accesorios, deberá asegurarse su estanqueidad, siendo probadas hidrostáticamente. Para ello deben basarse en las pruebas realizadas de acuerdo con UNE-EN 14336:2005, en función del tipo de fluido transportado.
- **Pruebas de libre dilatación:** Una vez se han realizado las pruebas anteriores y han resultado satisfactorias, se llevará la instalación hasta la temperatura de estancamiento del sistema de seguridad para posteriormente dejar enfriar. Durante el enfriamiento y al finalizar el mismo, se comprobará que la instalación no haya sufrido deformaciones apreciables. De esta forma nos aseguramos de que el sistema de expansión funciona correctamente.

### 3.6.3 Pruebas finales

Estas pruebas aseguran que la instalación cumple con las condiciones de diseño, calidad, fiabilidad y seguridad exigidas en el proyecto. Son unas pruebas parecidas a las anteriores, con un carácter definitivo y final. Para ello se seguirá la normativa UNE-EN 12599:2014.

### 3.6.4 Ajustes y equilibrado

Es necesario ajustar la instalación a los valores determinados en el proyecto, existiendo ciertos márgenes de tolerancia admisibles. Se realizarán de acuerdo a la norma UNE 100010, partes 1, 2 y 3, “Climatización. Pruebas de ajuste y equilibrado”.

#### Sistemas de distribución de agua:

1. De cada circuito, comprobación del caudal y la presión que pasa por él.
2. Si hay más de una rama de captadores, comprobación del equilibrado hidráulico en cada uno de ellos.
3. Comprobar que el fluido anticongelante contenido en los circuitos cumple con los requisitos del proyecto.
4. Ajustar al caudal de diseño las distintas bombas del circuito.
5. Comprobación del mecanismo del subsistema de energía solar en condiciones de estancamiento.

**Sistemas de control automático:** Se ajustarán todos los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño del proyecto y se comprobará el funcionamiento de todos los componentes que lo forman.

### 3.6.5 Recepción

#### Recepción provisional

En la recepción se comprueba que la instalación cumple con los servicios contratados y que se ajusta, cada elemento y globalmente, a lo especificado en el proyecto.

Una vez superadas satisfactoriamente las pruebas mencionadas en el apartado anterior, se procede 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 debería ser, al menos, la siguiente:

- Una memoria descriptiva de la instalación, que incluye las bases de proyecto y los criterios adoptados para su desarrollo.
- Una copia reproducible de los planos definitivos, comprendiendo, como mínimo, los esquemas de principio de todas las instalaciones, los planos de sala de máquinas y los planos de plantas donde se

debería indicar el recorrido de las conducciones y la situación de las unidades terminales.

- Una relación de todos los materiales y equipos empleados, indicando fabricante, marca, modelo y características de funcionamiento.
- Las hojas desopilativas de los resultados de las pruebas parciales y finales.
- Un manual de instrucciones de funcionamiento de los equipos principales de la instalación.

### Recepción definitiva

Desde el acta de recepción provisional, existirá un plazo de tiempo en el que la propiedad deberá notificar cualquier incidencia en el funcionamiento de la instalación. Transcurrido este plazo estipulado, la recepción se transformará en la recepción definitiva, entrando en vigor la garantía.

## 3.7 Mantenimiento

Con el objetivo de aumentar la vida útil de la instalación, garantizar el funcionamiento y aumentar la fiabilidad, se definen varias operaciones de mantenimiento.

- Vigilancia.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

### 3.7.1 Vigilancia

En el plan de vigilancia definen operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación son correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Puede realizarse por el usuario, con el asesoramiento del instalador.

Tabla 20 : Plan de vigilancia de la instalación solar

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	Diaria	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

### 3.7.2 Mantenimiento preventivo

Está compuesto por operaciones que garantizan el correcto funcionamiento de la instalación durante la vida útil de la misma. Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener el rendimiento de la instalación sin que el instalador o el usuario noten alguna anomalía.

Además, el plan de mantenimiento preventivo incluirá, como mínimo, una revisión anual de la instalación para

aquellas que tengan un área de captación menor a 20 m<sup>2</sup> y una revisión cada 6 meses en el caso de que se supere el área de captación anterior.

Este plan de mantenimiento lo realizará personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general.

La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo. En las siguientes tablas podemos observar los planes de mantenimiento para los distintos sistemas que conforman la instalación.

Tabla 21 : Plan de mantenimiento preventivo del sistema de captación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
<b>Captadores</b>	6	IV diferencias sobre original
<b>Cristales</b>	6	IV diferencias entre <i>captadores</i>
<b>Juntas</b>	6	IV condensaciones y suciedad
<b>Absorbedor</b>	6	IV agrietamientos, deformaciones
<b>Carcasa</b>	6	IV corrosión, deformaciones
<b>Conexiones</b>	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
<b>Estructura</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 22 : Plan de mantenimiento preventivo del sistema de acumulación

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 23 : Plan de mantenimiento preventivo del sistema hidráulico

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

IV: inspección visual

CF: control de funcionamiento

Tabla 24 : Plan de mantenimiento preventivo del sistema de control

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

### 3.7.3 Mantenimiento correctivo

Estas operaciones se realizan como consecuencia de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de vigilancia o en el de mantenimiento preventivo.

Este tipo de mantenimiento se utiliza cuando aparecen fallos en la instalación que conlleven la parada o pérdida de rendimiento de esta.

# 4 PRESUPUESTO

## 4.1 Sistema de captación

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/unidad (€)	Total (€)
1.1	Captador solar PROMASUN 2.0 BLUE de la empresa Promasol o similar con las siguientes características: Superficie útil: 1,88 m <sup>2</sup> Dimensiones: 2.030x1.030x80 mm Capacidad (L): 1,28 Caudal ensayo 72 l./m <sup>2</sup> h. Presión máx. de trabajo 10 bar $\eta_0: 0.73$ $k_1: 3.75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ $k_2: 0.015 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^2$ k(50): 0.94 $\Delta P = 200 \text{ Pa}$	120	Ud.	528,00	<b>63.360,00</b>
1.2	Estructura Soporte para batería de 5 captadores VERTICALES de la marca Promasol o similar	24	Ud.	540,00	<b>12.960,00</b>
1.3	Kit completo batería captadores incluye: Purgador Válvula de corte Válvula de seguridad Adaptadores al circuito hidráulico	24	Ud.	92,00	<b>2.208,00</b>
<b>Total sistema de captación</b>					<b>78.528,00</b>

## 4.2 Sistema de acumulación

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/unidad (€)	Total (€)
2.1	Acumulador acero MV-7000-IB del fabricante LAPESA o similar con las siguientes características: Capacidad de ACS: 7.000 L Presión de trabajo: 6 bar Material: acero al carbono S275JR Temperatura máxima de trabajo: 110 °C	1	Ud.	8.562,00	<b>8.562,00</b>
2.2	Acumulador acero MV-8000-IB del fabricante LAPESA o similar con las siguientes características: Capacidad de ACS: 8.000 L Presión de trabajo: 6 bar Material: acero al carbono S275JR Temperatura máxima de trabajo: 110 °C	1	Ud.	9.155,00	<b>9.155,00</b>

2.3	Conjunto aislamiento fibra de vidrio 50 mm + forro PVC M1 para Acumulador Lapesa MV-7000-IB o similar	1	Ud.	1.549,00	<b>1.549,00</b>
2.3	Conjunto aislamiento fibra de vidrio 50 mm + forro PVC M1 para Acumulador Lapesa MV-8000-IB o similar	1	Ud.	1.767,00	<b>1.767,00</b>
<b>Total sistema de acumulación</b>					<b>21.033,00</b>

#### 4.3 Sistema de intercambio

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/unidad (€)	Total (€)
3.1	Intercambiador de placas termosoldadas CB110-64M del fabricante ALFA LAVAL o similar con las siguientes características: Número de placas: 64 Potencia: 150 kW Caudal primario máximo: 18.428 m3/h Caudal secundario máximo: 18.428 m3/h Máxima pérdida de carga: 15 kPa Salto térmico: 7°C Pérdida de carga en el primario: 3,6 mca Pérdida de carga en el secundario: 3,6 mca	1	Ud.	3.610,00	<b>3.610,00</b>
3.2	Aislamiento para intercambiador CB110-64M del fabricante ALFA LAVAL o similar	1	Ud.	186,00	<b>186,00</b>
<b>Total sistema de intercambio</b>					<b>3.796,00</b>

#### 4.4 Sistema hidráulico

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/unidad (€)	Total (€)
4.1	Bomba de circulación del circuito primario y secundario Stratos-Z 40/1-12 de la marca Wilo o similar de las siguientes características: Presión nominal: 6/10 bar Caudal del primario y secundario: 16,24 (m <sup>3</sup> /h) Consumo: 25-470 W 1~230 V, 50/60 Hz	4	Ud.	3.221,00	<b>12.884,00</b>
4.2	Vaso de expansión de la empresa IMERA de 60 litros modelo SW69 o similar con las siguientes características: Capacidad: 18 L Conexiones: 3/4 ''	1	Ud.	30,84	<b>30,84</b>
4.3	Tubería de cobre 76,2 mm J. Abad Codelco o similar	96	m	46,05	<b>4.420,80</b>

4.4	Tubería de cobre 63,5 mm J. Abad Codelco o similar	92,8	m	35,42	<b>3.286,98</b>
4.5	Tubería de cobre 50,8 mm J. Abad Codelco o similar	112,41	m	18,79	<b>2.112,18</b>
4.6	Tubería de cobre 38,1 mm J. Abad Codelco o similar	34,8	m	9,96	<b>346,61</b>
4.7	Tubería de cobre 31,75 mm J. Abad Codelco o similar	23,2	m	7,62	<b>176,78</b>
4.8	Tubería de cobre 25,4 mm J. Abad Codelco o similar	11,6	m	6,69	<b>77,60</b>
4.9	Tubería de cobre 19,05 mm J. Abad Codelco o similar	44,5992	m	4,81	<b>214,52</b>
4.10	Codo de cobre H-H 90CU 64 marca Comercial Bastos	6	Ud.	79,97	<b>479,82</b>
4.12	Codo de cobre H-H 90CU 54 marca Comercial Bastos	4	Ud.	28,49	<b>113,96</b>
4.16	Codo de cobre H-H 90CU 18 marca Comercial Bastos	2	Ud.	0,8	<b>1,60</b>
4.17	TE cobre 130CU 28-18-18 marca Comercial Bastos	2	Ud.	19,31	<b>38,62</b>
4.18	TE cobre 130CU 35-28-28 marca Comercial Bastos	2	Ud.	23,39	<b>46,78</b>
4.19	TE cobre 130CU 35-35-18 marca Comercial Bastos	2	Ud.	25,26	<b>50,52</b>
4.20	TE cobre 130CU 42-35-35 marca Comercial Bastos	2	Ud.	51,94	<b>103,88</b>
4.21	TE cobre 130CU 42-18-42 marca Comercial Bastos	4	Ud.	54,73	<b>218,92</b>
4.22	TE cobre 130CU 54-22-54 marca Comercial Bastos	10	Ud.	77,71	<b>777,10</b>
4.23	TE cobre 130CU 64-54-64 marca Comercial Bastos	24	Ud.	124,46	<b>2.987,04</b>
4.24	Enlace de cobre 270CU 76 marca Comercial Bastos o similar	22	Ud.	42,84	<b>942,48</b>
4.25	Enlace de cobre 240RCU 54-28 marca Comercial Bastos o similar	24	Ud.	37,92	<b>910,08</b>
4.26	Enlace de cobre 240RCU 28-18 marca Comercial Bastos o similar	24	Ud.	5,99	<b>143,76</b>
4.27	Enlace de cobre 240RCU 64-54 marca Comercial Bastos o similar	2	Ud.	38,89	<b>77,78</b>
4.28	Enlace de cobre 240RCU 22-18 marca Comercial Bastos o similar	2	Ud.	1,72	<b>3,44</b>
4.29	Enlace de cobre 240RCU 35-18 marca Comercial Bastos o similar	2	Ud.	14,16	<b>28,32</b>
4.30	Enlace de cobre 240RCU 28-25 marca Comercial Bastos o similar	2	Ud.	3,09	<b>6,18</b>

4.31	Enlace de cobre 240RCU 28-18 marca Comercial Bastos o similar	2	Ud.	5,99	<b>11,98</b>
4.32	Aislamiento tubería de cobre 76,2 mm Salvador Escoda o similar	96	m	26,5	<b>2.544</b>
4.33	Aislamiento tubería de cobre 63,5 mm Salvador Escoda o similar	92,8	m	25,48	<b>2.364,54</b>
4.34	Aislamiento tubería de cobre 50,8 mm Salvador Escoda o similar	112,41	m	24,89	<b>2.797,88</b>
4.35	Aislamiento tubería de cobre 38,1 mm Salvador Escoda o similar	34,8	m	18,67	<b>649,72</b>
4.36	Aislamiento tubería de cobre 31,75 mm Salvador Escoda o similar	23,2	m	17,02	<b>394,86</b>
4.37	Aislamiento tubería de cobre 25,4 mm Salvador Escoda o similar	11,6	m	15,92	<b>184,67</b>
4.38	Aislamiento tubería de cobre 19,05 mm Salvador Escoda o similar	44,5992	m	14,48	<b>645,80</b>
4.39	Válvula de corte	22	Ud.	78,12	<b>2.343,60</b>
4.40	Válvula de retención	4	Ud.	174,1	<b>696,40</b>
4.41	Válvula de seguridad	3	Ud.	486,12	<b>1.458,36</b>
4.42	Sistema de llenado y vaciado electrónico LLENASOL 1.000L de la marca Caldia	2	Ud.	2.055,00	<b>4.110,00</b>
4.43	Filtro de bombas marca Filtromatic	4	Ud.	27,96	<b>55,92</b>
<b>Total sistema hidráulico</b>					<b>48.738,32</b>

#### 4.5 Sistema de control

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/unidad (€)	Total (€)
5.1	Ud Centralita solar LTDC-V3 del fabricante TERMICOL o similar con las siguientes características: 6 entradas para sensores PT1000 de temperatura. 2 entradas VFS/RPS Directsensor para medir caudal. 3 salidas relé 230VAC (on/off). 2 salidas PWM (control velocidad bombas alta eficiencia).	1	Ud.	487	<b>487,00</b>
5.2	Manómetro con presión máxima de 10 bar	4	Ud.	15,89	<b>63,56</b>
5.3	Sonda de temperatura Salvador Escoda	50	m	12,30	<b>615,00</b>
<b>Total sistema de control</b>					<b>1.165,56</b>

## 4.6 Presupuesto total de la instalación

El presupuesto total de la instalación será de **185.445,66 €** una vez aplicado el IVA.

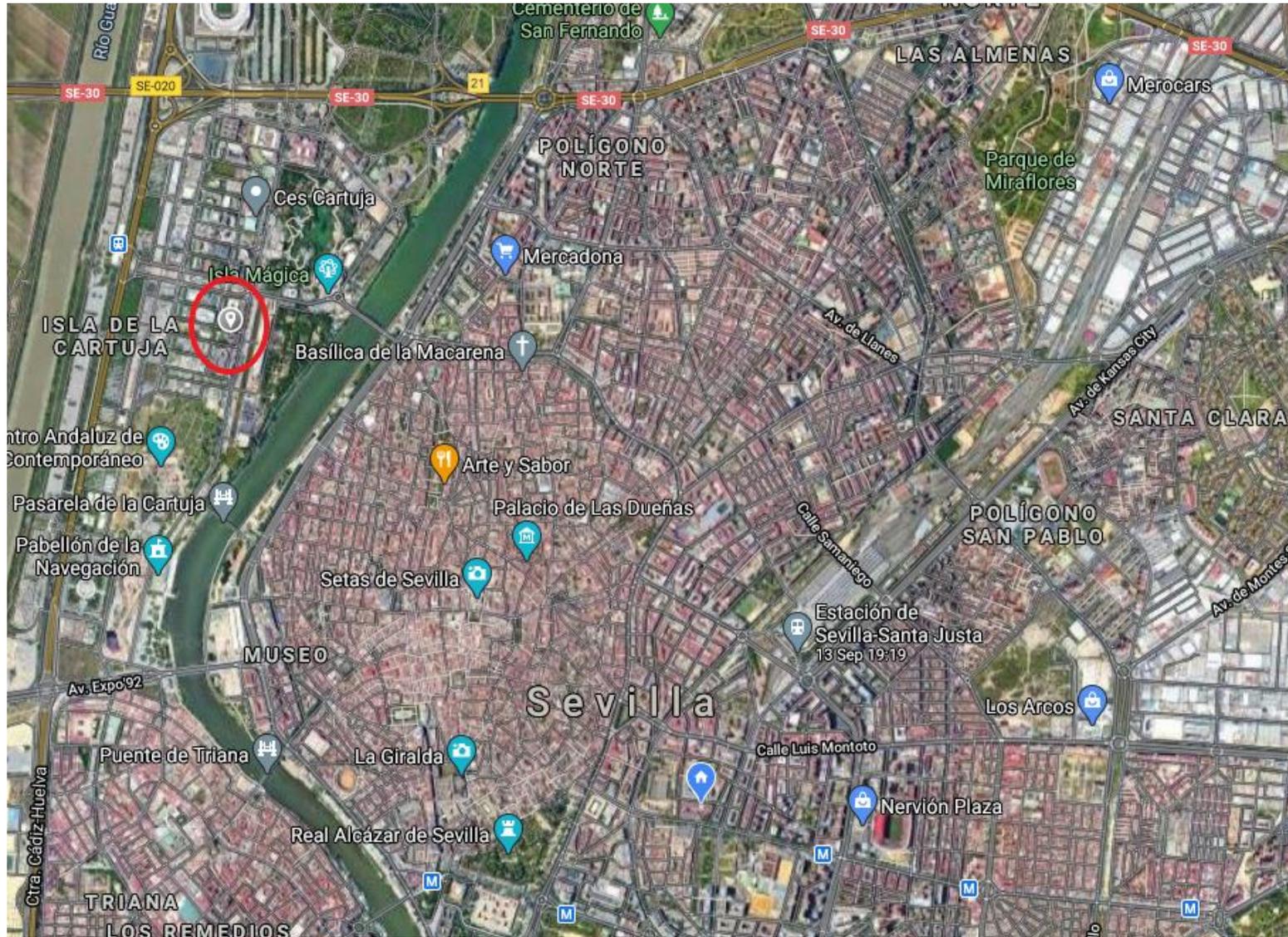
<b>Total sistema de captación</b>	<b>78.528,00</b>
<b>Total sistema de acumulación</b>	<b>21.033,00</b>
<b>Total sistema de intercambio</b>	<b>3.796,00</b>
<b>Total sistema hidráulico</b>	<b>48.738,32</b>
<b>Total sistema de control</b>	<b>1.165,56</b>
<b>Total (sin IVA)</b>	<b>153.260,88</b>
<b>IVA (21%)</b>	<b>32.184,78</b>
<b>Total instalación</b>	<b>185.445,66</b>

El presupuesto unitario por  $m^2$  de captador será de  $822,01 \text{ €/m}^2$ .



# 5 PLANOS

---



**Diseño de una instalación de producción de agua caliente por energía solar térmica en una residencia universitaria**

Joaquín Nazario Aguilar Rodríguez

Ubicación residencia de estudiantes en Sevilla

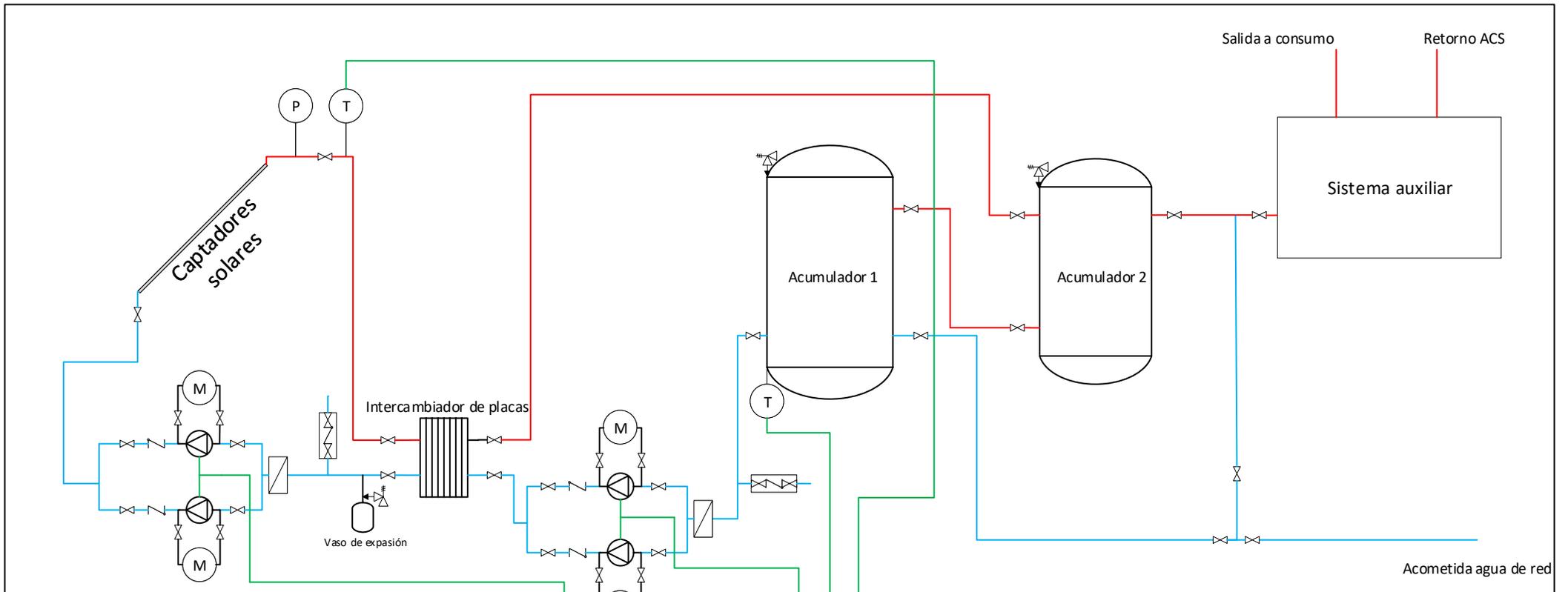
15/11/2020

Plano 1



**Diseño de una instalación de producción de agua caliente por energía solar térmica en una residencia universitaria**

Joaquín Nazario Aguilar Rodríguez	Ubicación del solar en Sevilla	15/11/2020	Plano 2
-----------------------------------	--------------------------------	------------	---------

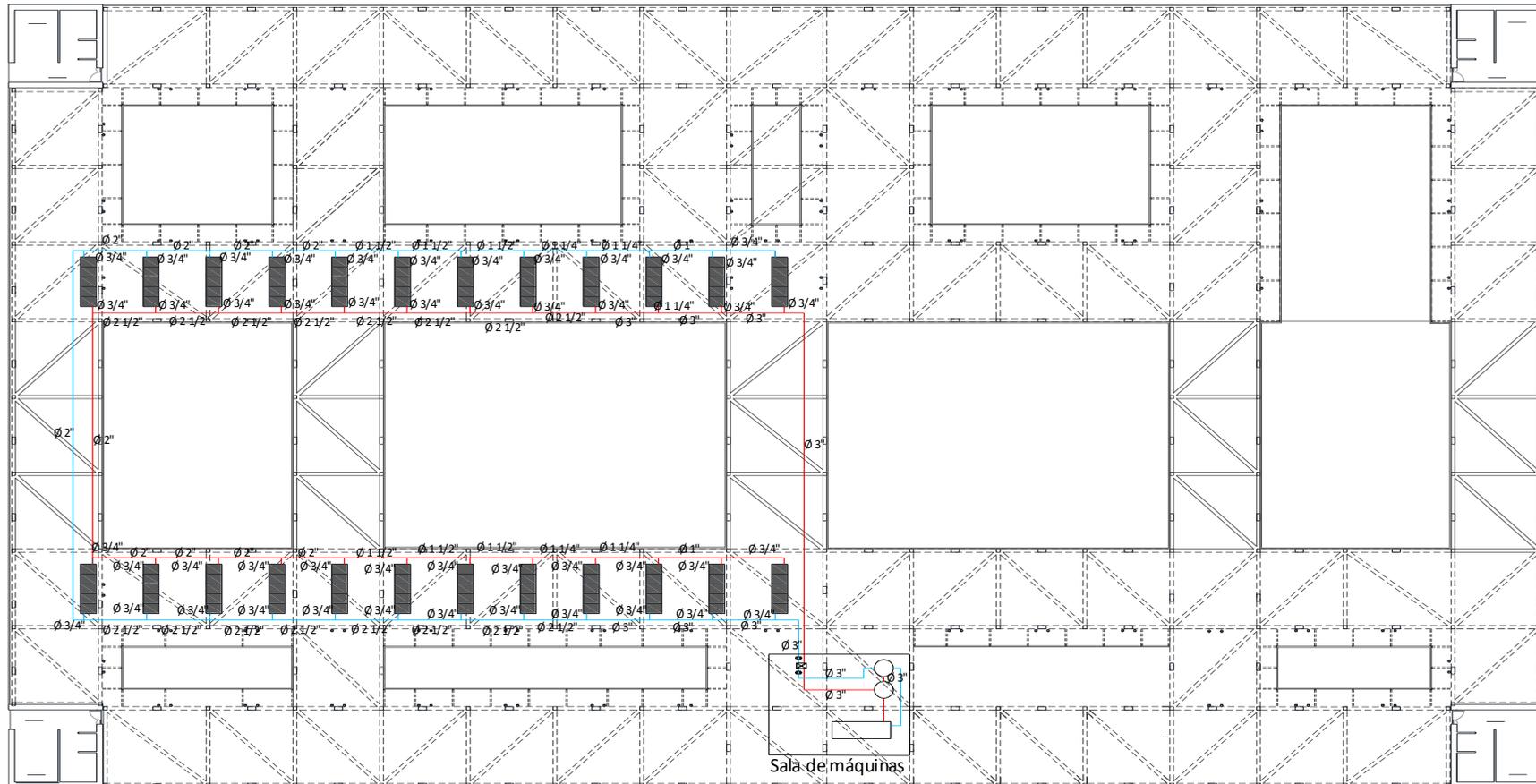


**Leyenda:**

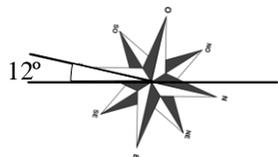
	Manómetro		Filtro
	Bomba		Sistema de llenado y vaciado
	Válvula de corte		
	Válvula de retención		
	Sonda de temperatura		
	Purgador		
	Válvula de seguridad		

**Diseño de una instalación de producción de agua caliente por energía solar térmica en una residencia universitaria**

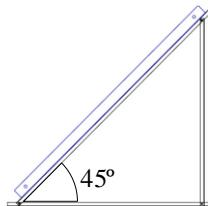
Joaquín Nazario Aguilar Rodríguez	Esquema de principio de la instalación	15/11/2020	Plano 3
-----------------------------------	--	------------	---------



Orientación



Inclinación



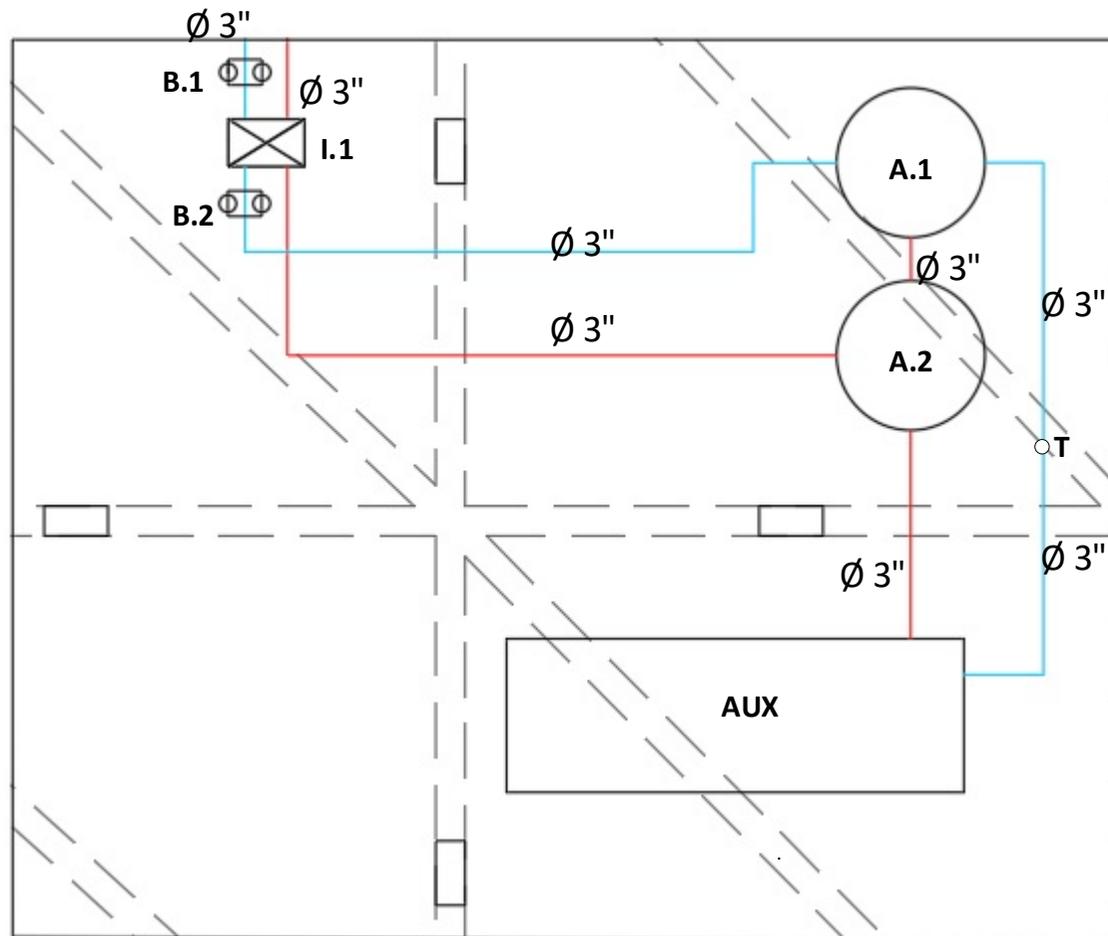
### Diseño de una instalación de producción de agua caliente por energía solar térmica en una residencia universitaria

Joaquín Nazario Aguilar Rodríguez

Ubicación e instalación de los captadores en la cubierta

15/11/2020

Plano 4



**B.1: Bombas circuito primario**  
**B.2: Bombas circuito secundario**  
**A.1: Depósito acumulador 1**  
**A.2: Depósito acumulador 2**  
**AUX: Sistema auxiliar**  
**T: Acometida agua de red**

### Diseño de una instalación de producción de agua caliente por energía solar térmica en una residencia universitaria

Joaquín Nazario Aguilar Rodríguez

Sala de máquinas en la cubierta

15/11/2020

Plano 5