

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

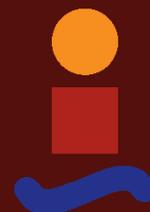
Instalación de energía solar para calentamiento de  
agua en una residencia de estudiantes

Autor: Lorenzo Rodríguez Díaz

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Sevilla, 2019





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

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

Autor:

Lorenzo Rodríguez Díaz

Tutor:

José Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

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

Trabajo Fin de Grado: Instalación de energía solar para calentamiento de agua en una residencia de estudiantes

Autor: José Julio Guerra Macho

Tutor: Lorenzo Rodríguez Díaz

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

# Agradecimientos

---

*Primero me gustaría agradecer la ayuda y el apoyo de mi familia, tanto de mi padre y mi madre como de mi hermano, a enseñarme a nunca rendirme y dar lo máximo de mí para poder lograr lo que me he propuesto. Siempre alcanzando mis metas con esfuerzo, tesón y con iniciativa para aprender y resolver los problemas que surgieran.*

*En segundo lugar quiero agradecer a mi novia. María José siempre has sido un gran apoyo, tanto en los buenos como en los malos momentos que he pasado realizando la Carrera. Buscando siempre la parte positiva de cualquier circunstancia para hacerme seguir adelante y no decaer a pesar de los tropiezos y suspensos.*

*En tercer lugar agradecer a mis amigos, por el apoyo y la fe que siempre han tenido en mí. Todos los momentos junto a ellos y la ayuda que me han dado para conseguir mis metas.*

*Por último y no menos importante, dar las gracias al tutor de mi trabajo fin de grado Don José Julio Guerra. Le agradezco tanto la ayuda como el trato que me ha ofrecido siempre en las reuniones que hemos tenido. Además de las clases impartidas durante el Grado, las cuales siempre he disfrutado.*

*¡Muchas gracias a todos! Sin cada uno de vosotros no podría haber conseguido llegar a ser lo que soy.*

Lorenzo Rodríguez Díaz

Junio 2019

# Resumen

---

La redacción de este proyecto se basa en el diseño de una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria para abastecer a una residencia del alumnado y del profesorado en la Vega de Acá en Almería.

En dicho proyecto se estudiará y desarrollará la metodología de cálculo, dimensionamiento y la elección de los diferentes equipos necesarios para el funcionamiento de la instalación de ACS según la normativa vigente en España.

# Abstract

---

The drafting of this project is based on the design of a solar thermal installation for the production of domestic hot water to supply a residence for students and teachers in the Vega de Acá in Almería.

This project will study and develop the methodology of calculation, quantification and the selection of the different equipment necessary for the operation of the ACS installation according to the regulations in force in Spain.

# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>5</b>
<b>Resumen</b>	<b>6</b>
<b>Abstract</b>	<b>6</b>
<b>Índice</b>	<b>7</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>9</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>11</b>
<b>1 Memoria Descriptiva</b>	<b>13</b>
1.1. Objetivo del proyecto	13
1.2. Precedentes	13
1.3. Procedimiento de cálculo	16
1.4. Descripción del edificio	21
1.5. Descripción de la instalación	23
1.6. Características de equipos	36
1.7. Normativa	41
1.8. Bibliografía	48
<b>2 Memoria de Cálculo</b>	<b>50</b>
2.1. Datos de partida	50
2.2. Cálculos iniciales	52
2.2.1. Cálculo de consumo de agua	52
2.2.2. Cálculo de la demanda energética	53
2.3. Cálculo de la superficie de captación	55
2.4. Cálculo del volumen de acumulación	61
2.5. Cálculo de la red de tuberías	61
2.5.1. Cálculo caudal del circuito primario	61
2.5.2. Dimensionado de tuberías	62
2.6. Dimensionado equipo de intercambio	66
2.7. Dimensionado de bombas	67
2.8. Dimensionado vaso de expansión	69
2.9. Dimensionado de equipos auxiliares	73
2.9.1. Dimensionado del interacumulador auxiliar	73
2.9.2. Dimensionado de la caldera de condensación	76
2.9.3. Dimensionado de la bomba auxiliar	77
2.9.4. Dimensionado del vaso de expansión auxiliar	78
2.9.5. Dimensionado de la alimentación del gas a la caldera	80
2.10. Cálculo de espesor de aislamiento	80
2.10.1. Espesor de aislamiento para red de tuberías	80
2.10.2. Espesor de aislamiento para depósito de acumulación	83
2.10.3. Espesor de aislamiento para vaso de expansión	83
2.10.4. Espesor de aislamiento para intercambiador de calor	83

2.11. Selección de accesorios	83
<b>3 Pliego de condiciones técnicas y administrativas</b>	<b>84</b>
3.1. Objetivo de los pliegos	84
3.2. Normativa	84
3.3. Condiciones de materiales y equipos	85
3.3.1. Captadores	85
3.3.2. Válvulas	86
3.3.3. Vasos de expansión	88
3.3.4. Bombas	89
3.3.5. Acumuladores	90
3.3.6. Intercambiadores de calor	91
3.3.7. Sistema eléctrico y de control	92
3.3.8. Aparatos de medida	93
3.3.9. Aislamiento	94
3.3.10. Tuberías y accesorios	95
3.4. Provisión del material	98
3.5. Condiciones de montaje	98
3.6. Pruebas, puesta en marcha y recepción	98
3.6.1. General	98
3.6.2. Pruebas parciales	98
3.6.3. Pruebas finales	99
3.6.4. Ajustes y equilibrado	99
3.6.5. Recepción	100
3.7. Mantenimiento	101
3.7.1. Vigilancia	101
3.7.2. Mantenimiento preventivo	102
3.7.3. Mantenimiento correctivo	105
<b>4 Presupuesto</b>	<b>106</b>
4.1. Sistema de captación	106
4.2. Sistema de acumulación	107
4.3. Sistema de intercambio	108
4.4. Sistema hidráulico	109
4.5. Sistema auxiliar	113
4.6. Sistema de control y regulación	115
4.7. Presupuesto total de la instalación	116
<b>5 Planos</b>	<b>117</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Contribución solar mínima respecto de la demanda ACS y zona climática	42
Tabla 2. Espesores mínimos fijados por el RITE	47
Tabla 3. Datos geográficos de la residencia	50
Tabla 4. Irradiación global media, temperatura media de agua fría y temperatura media ambiental proporcionada por el software CHEQ4	52
Tabla 5. Demanda litros/día*unidad para cada tipo de edificio	53
Tabla 6. Datos de irradiación, temperatura fría media, temperatura media ambiental y días por mes Fuente: CTE-HE4	54
Tabla 7. Demanda energética de cada mes expresado en J/mes y MJ/mes	54
Tabla 8. Contribución solar mínima frente a la zona climática y demanda ACS del edificio	55
Tabla 9. Tramos de la instalación junto con su longitud y caudal	63
Tabla 10. Pérdida de carga según el diámetro de cada tramo de tuberías	63
Tabla 11. Velocidades según el diámetro de cada tramo de tuberías	64
Tabla 12. Accesorios de cada tramo de la instalación	64
Tabla 13. Longitudes equivalentes de los accesorios	65
Tabla 14. Características de los tramos de la instalación	65
Tabla 15. Circuitos de la instalación	66
Tabla 16. Volúmenes de las tuberías de cada tramo de la instalación	70
Tabla 17. Variación del coeficiente de expansión según la temperatura	71
Tabla 18. Tabla de caudales instantáneos mínimos según norma UNE 149201:2017	74
Tabla 19. Determinación del caudal simultáneo según la norma UNE 149201:2017	75
Tabla 20. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios	81
Tabla 21. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios	81
Tabla 22. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el interior de edificios	81
Tabla 23. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el exterior de edificios	82
Tabla 24. Alcance de los planes de vigilancia	102
Tabla 25. Plan preventivo sistema de captación	103

Tabla 26. Plan preventivo sistema de acumulación	103
Tabla 27. Plan preventivo sistema de intercambio	103
Tabla 28. Plan preventivo circuito hidráulico	104
Tabla 29. Plan preventivo sistema eléctrico y de control	104
Tabla 30. Plan preventivo sistema de energía auxiliar	104

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Evolución en los principales mercados europeos	14
Figura 2. Estimación de la superficie real de energía solar térmica	15
Figura 3. Producción de energía en instalaciones solares térmicas	15
Figura 4. Localización, datos geográficos y climáticos del software CHEQ4	16
Figura 5. Selección de la configuración de la instalación	17
Figura 6. Cálculo de la demanda en litros por día	18
Figura 7. Selección de empresa, modelo y número de captadores	19
Figura 8. Volumen de acumulación del depósito	20
Figura 9. Resultados del software Cheq4	21
Figura 10. Situación geográfica de la parcela donde se emplaza el edificio	21
Figura 11. Vista área de la residencia de estudiantes	22
Figura 12. Principio de funcionamiento de la instalación y sistema de control	23
Figura 13. Sistemas de la instalación de energía solar	26
Figura 14. Partes de un captador solar protegido	27
Figura 15. Intercambiador independiente del acumulador solar	27
Figura 16. Intercambiador de placas	28
Figura 17. Conexión de instalaciones con intercambiador con serpentín	28
Figura 18. Partes de un acumulador solar	30
Figura 19. Tipos de acumulador solar	30
Figura 20. Partes de un vaso de expansión	31
Figura 21. Vista de un corte de una bomba circuladora	33
Figura 22. Bomba circuladora	33

Figura 23. Tuberías de cobre	34
Figura 24. Válvula de seguridad	35
Figura 25. Captador T10S de Termicol	37
Figura 26. Intercambiador de calor de Alfa Laval	38
Figura 27. Acumulador MVV-3500-RB Lapesa	39
Figura 28. Bomba de circulación Wilo	40
Figura 29. Vaso de expansión 18 CMR Ibaiondo	41
Figura 30. Representación de ángulo de inclinación y acimut	43
Figura 31. Porcentaje de energía respecto al máximo debido a pérdidas por orientación e inclinación	44
Figura 32. Patrón de sombras dependientes de la elevación y acimut	44
Figura 33. Mapa de radiación y zonas climáticas de España	51
Figura 34. Precipitaciones y variación de temperatura en Almería	51
Figura 35. Gráfica de demanda energética en MJ/mes	55
Figura 36. Fracción solar frente al número de captadores para distintos captadores en serie	56
Figura 37. Fracción solar frente a número de captadores para dos captadores en serie	57
Figura 38. Fracción solar frente a captadores en serie para $N_c=30$	57
Figura 39. Fracción solar frente a Volumen de acumulación/Área de captación	58
Figura 40. Distribución y configuración de la instalación de energía solar térmica	59
Figura 41. Caída de presión captador Termicol T10S	60
Figura 42. Distribución y configuración de la instalación de energía solar térmica	62
Figura 43. Modelo Wilo-Stratos-Z	67
Figura 44. Selección de la bomba Wilo	68
Figura 45. Curva de selección de la bomba del circuito secundario	69
Figura 46. Interacumulador sistema auxiliar Lapesa	76
Figura 47. Caldera de condensación de Grupo Bosch	77
Figura 48. Selección de la bomba del sistema auxiliar	78
Figura 49. Presupuesto Final	116

# 1 MEMORIA DESCRIPTIVA

---

## 1.1. Objetivo del proyecto

El propósito de este proyecto es el de dimensionar y proyectar una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria. Para de esta manera abastecer una residencia para estudiantes y profesorado en la ciudad de Almería, concretamente en la avenida de Cabo de Gata en el barrio de Vega de Acá.

Para el dimensionamiento de la instalación se deberá realizar previamente el cálculo del consumo de agua y demanda energética de la misma para poder obtener la aportación mínima de energía solar, con ello se elige la configuración pertinente. Cabe destacar que el proyecto sigue las diferentes pautas de los códigos técnicos y normativas correspondientes.

## 1.2. Precedentes

En este apartado vamos a analizar como se ha comportado en los últimos años y como se va comportar en los próximos la potencia instalada y la producción de energía solar térmica, concretamente la energía solar térmica de baja temperatura.

Centrándonos en la energía solar térmica de baja temperatura, la mayoría de la potencia en operación está instalada en China y Europa (83% del total entre ambas regiones), predominando en el país asiático los colectores de tubos de vacío y en Europa los de placa plana. El sector gozó de un crecimiento constante medio del 20% en todo el mundo entre los años 2000-2012 gracias al peso de China, donde ha crecido constantemente frente a las fluctuaciones producidas en Europa. Países como EE.UU. y Canadá que tenían un bajo índice de utilización de estas tecnologías en el mercado muestran además una caída.

Centramos en Europa, la contracción a partir de 2013 en términos de potencia instalada es importante, disminuyéndose un 11,8% respecto a 2012. Esta recesión afectó a casi todos los países que componen la región. La mayor traba para el sector actualmente es la ausencia de un marco regulatorio estable y eficaz, de programas de ayuda, y de la adecuada inversión en desarrollo tecnológico.

La Figura 1 resume la evolución en potencia instalada dentro de los grandes mercados de energía solar térmica en Europa:

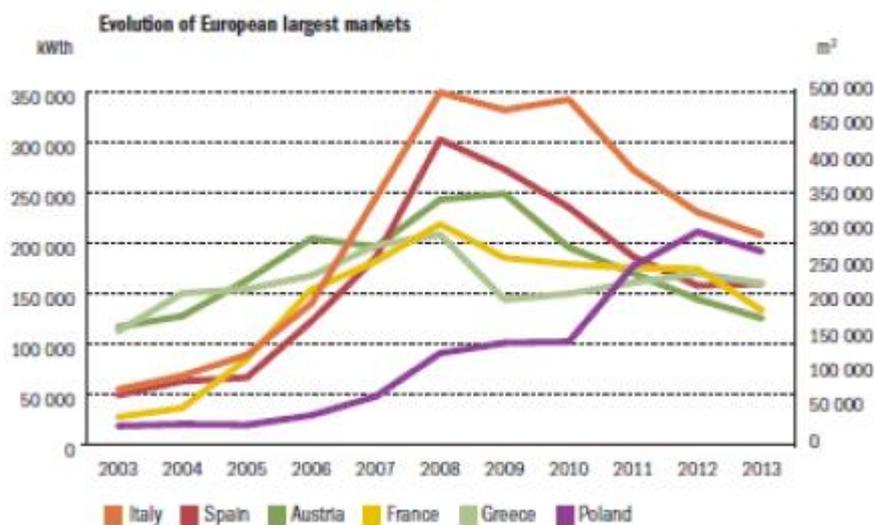


Figura 1. Evolución en los principales mercados europeos

En España, Andalucía es la zona que más está apostando por esta tecnología. Sin embargo, la normativa de la energía solar térmica es de aplicación en edificios de nueva construcción y en rehabilitación de edificios, lo que unido a nuestra coyuntura interna de gran cantidad de viviendas vacías y el freno a la construcción de nueva vivienda, conlleva un frenazo en la instalación de energía solar térmica hasta que no se absorba el stock existente de viviendas. Con todo, el sector residencial será el principal artífice del crecimiento de este sector en nuestro país, y dado que la demanda de climatización en España es significativa, se hace evidente la necesidad de disponer de soluciones competitivas en costes para instalaciones solares destinadas a climatización.

Cabe destacar que en el año 2010 el 47% del consumo de energía final en la UE-27 se destinaba a calefacción y refrigeración, principalmente en el sector residencial. Para 2020, se espera que esta proporción de demanda se mantenga, los sistemas de ahorro de energía deben suponer un fuerte impacto en la demanda de calor, mientras que la demanda refrigeración se incrementará como resultado de nuevas expectativas en términos de confort económico. En este horizonte 2020, el 21% de la demanda de calefacción y refrigeración deberá ser cubierto con renovables (actualmente se aproxima al 12%) aportando la solar térmica el 6%. Estas perspectivas se están ralentizando y presumiblemente se verán truncadas principalmente debido al escaso compromiso de los gobiernos, ya que no existen objetivos vinculantes y las naciones no parecen implicarse seriamente. Este tipo de compromisos si se afrontan con la perspectiva adecuada lejos de suponer “un coste” pueden transformarse en una gran oportunidad de crecimiento y un modelo de negocio para las economías del viejo continente.

En lo que a energía solar térmica se refiere, la apuesta por esta tecnología potenciaría las economías locales, la creación de empleo, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, la descentralización de la oferta de energía o la reducción de nuestra dependencia de las importaciones de combustibles fósiles

La siguiente gráfica ejemplifica lo anteriormente explicado, se observa como en la estimación que hace el Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE), se observa como en los próximos años se estima que la superficie instalada anualmente va a estancarse e incluso descender a lo largo de 2019 y 2020.

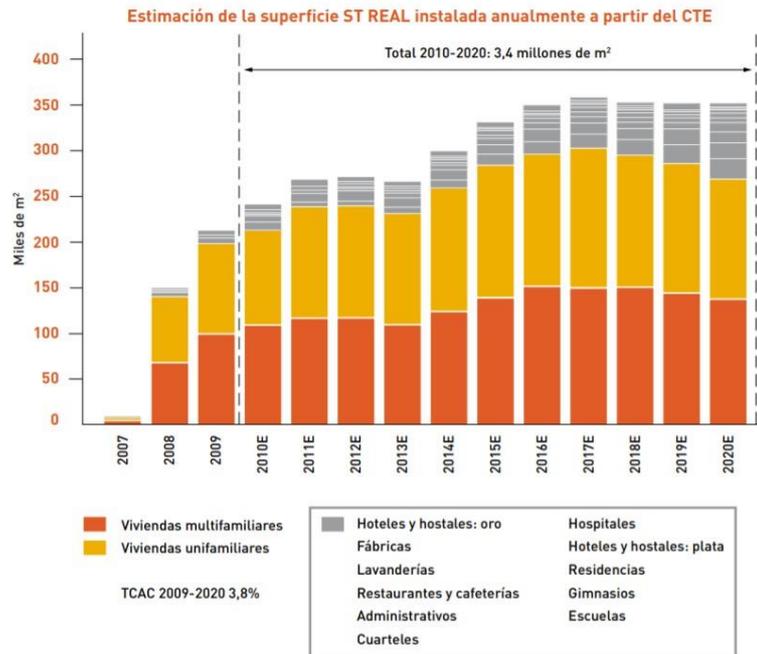


Figura 2. Estimación de la superficie real de energía solar térmica

En la siguiente gráfica se estima la producción de energía que generarán las instalaciones de energía solar térmica en los años indicados, se contrapone a la gráfica anterior (Figura 2), debido a que se prevé un aumento de la producción de energía solar térmica a pesar del estancamiento y descenso de la superficie de energía solar térmica instalada anualmente.

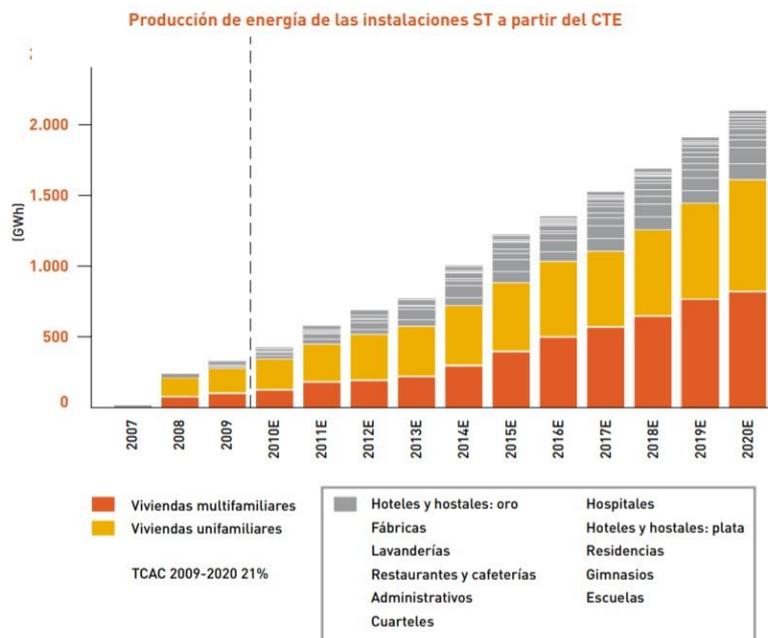


Figura 3. Producción de energía en instalaciones solares térmicas

### 1.3. Procedimiento de cálculo

#### → Localización

La primera sección se introduce exclusivamente la provincia y la localidad donde se sitúa el edificio a estudiar. A partir de estos datos, el software nos proporciona la zona climática donde se emplaza y latitud de la zona. De igual manera obtenemos una tabla de datos para cada uno de los meses del año, donde se expone la irradiación media global, la temperatura media de agua fría y la temperatura media ambiental.

The screenshot shows the CHEQ4 software interface. At the top, it says "CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas". Below this, there are input fields for "Provincia" (Almería) and "Municipio" (Almería). To the right, it shows "Zona climática" (Zona V) and "Latitud" (36° 50'). There is a map of Spain with a red dot indicating the location. Below the map, it says "Mapa provincia" and "Altura municipio seleccionado (m)" (16). There is also a field for "Altura de la instalación (m)" (16). In the center, there is a table with columns "Rad(MJ/m2)", "T.Red (°C)", and "T.Amb (°C)" for each month from Enero to Diciembre, plus a "Promedio" row. On the right side, there are several icons for "Localización", "Configuración", "Demanda", "Solar/Apoyo", "Otros parámetros", and "Resultados". At the bottom, there are buttons for "Datos proyecto", "Nuevo proyecto", "Abrir proyecto", "Guardar proyecto", "Ayuda", "Acerca de...", and "Salir".

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	10.2	12.0	12.4
Febrero	13.4	12.0	13.0
Marzo	17.7	13.0	14.4
Abril	23.5	14.0	16.1
Mayo	26.0	16.0	18.7
Junio	28.6	18.0	22.3
Julio	28.4	20.0	25.5
Agosto	25.3	21.0	26.0
Septiembre	20.6	19.0	24.1
Octubre	14.9	17.0	20.1
Noviembre	10.9	14.0	16.2
Diciembre	8.9	12.0	13.3
Promedio	19.0	15.7	18.5

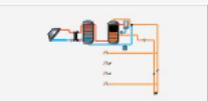
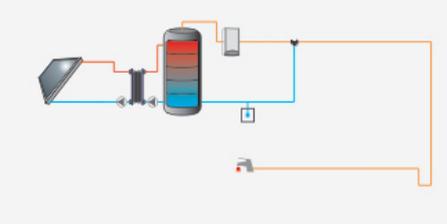
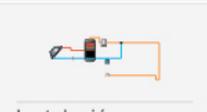
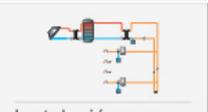
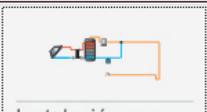
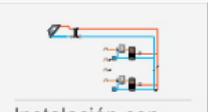
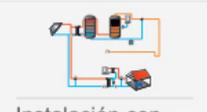
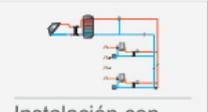
Figura 4. Localización, datos geográficos y climáticos del software CHEQ4

#### → Configuración

En esta sección se selecciona la configuración más acorde a las características de nuestra instalación.

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

ASIT    

CONSUMO ÚNICO		CONSUMO MÚLTIPLE			
 Instalación con sistema prefabricado	 Instalación con todo centralizado	 <b>INSTALACION CON INTERCAMBIADOR INDEPENDIENTE</b> Sistema solar térmico para producción de ACS en instalaciones de consumo único con acumulador solar, intercambiador externo y válvula termostática.		 Localización	 Configuración
 Instalación con interacumulador	 Instalación con apoyo distribuido			 Demanda	
 Instalación con intercambiador independiente	 Instalación con acumulación distribuida			 Solar/Apoyo	
 Instalación con intercambiador y piscina cubierta	 Instalación con intercambio distribuido			 Otros parámetros	
				 Resultados	

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

m

Figura 5. Selección de la configuración de la instalación

## → Demanda

En este apartado se selecciona el tipo de aplicación, es decir, la tipología del edificio donde se pretende proyectar la instalación de energía solar térmica. Tras dicha selección hay que indicar el número de ocupantes que puede albergar el edificio.

Existe la posibilidad en este apartado de introducir otras demandas de agua para el edificio, al igual que puede modificarse el porcentaje de ocupación del edificio en cada mes. Esta herramienta puede ejemplificar lo que ocurre en la realidad en ciertos edificios terciarios, como hoteles, hospitales o residencias que tienen ocupación temporal y dependiente de la época del año.

Con lo anteriormente explicado se obtiene la demanda según los ocupantes y el tipo de edificio en litros por día a una temperatura de 60 °C. De igual manera se proporciona la contribución solar mínima exigida según la demanda que tiene el edificio.

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

RSIT 

---

**CONSUMO ÚNICO**

Aplicación

Número de personas

Demanda calculada (l/día a 60 °C) 5.658

**CONSUMO MÚLTIPLE**

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

Demanda calculada (l/día a 60 °C)

**CONSUMO TOTAL**

Otras demandas (l/día a 60°C)

Demanda total (l/día a 60°C) 5.658

**OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	100	100	100	100	100	100
80	80	80	90	100	100	100

**CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA**

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

Figura 6. Cálculo de la demanda en litros por día

## → Solar/Apoyo

La sección de Solar/Apoyo se basa en la elección de la empresa y del modelo de captadores que nos distribuirán para la instalación.

Una vez hecha la anterior selección, se generan automáticamente una serie de datos dependientes del modelo que se haya seleccionado. Se debe introducir en el subapartado "Campo de captadores" el número de captadores, la cantidad de captadores que se dispongan en serie y tres datos que afectan al rendimiento del captador: la orientación, la inclinación y el porcentaje de sombras a las que puede estar sometidos los paneles solares. Con todo ello obtenemos el área total de captadores en metros cuadrados.

En el subapartado "Circuito primario/secundario", una vez dispuesto los anteriores datos, se genera el caudal primario, aunque puede ser modificado en el caso de que fuese necesario. Tras ello, se selecciona el porcentaje de anticongelante, la longitud del circuito, el diámetro de la tubería y el espesor y tipo de aislante de la tubería.

Por último, debe seleccionarse el tipo de sistema de apoyo y con la energía que funciona dicho sistema.

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

ASIT 

**CAPTADORES**

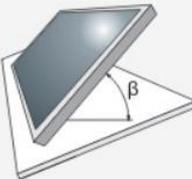
Empresa:

Marca/Modelo:

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

**Datos de ensayo**

Área (m2)	2,4
n0 (-)	0,818
a1 (W/m2K)	4,1
a2 (W/m2K2)	0,001
Qtest(l/hm2)	72
k50	0,88
Laboratorio	CENER
Certificación	NPS-41611



**CAMPO DE CAPTADORES**

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

Orientación (°):  Inclinación (°):  Área total captadores (m2): 72,00

**CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO**

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

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

**SISTEMA DE APOYO**

Tipo de sistema:

Tipo de combustible:



  
Localización

  
Configuración

  
Demanda

  
Solar/Apoyo

  
Otros parámetros

  
Resultados

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

Figura 7. Selección de empresa, modelo y número de captadores

## → Otros parámetros

El quinto apartado del software CHEQ4 se basa en la introducción del volumen de acumulación necesario de nuestro depósito.

En el subapartado “Distribución” para definir el circuito de distribución es necesario especificar la longitud total de las tuberías (impulsión y retorno o recirculación en su caso), el diámetro interior de la tubería (mm), el tipo de aislante y su espesor (mm).

Al igual que en el caso de circuito primario, existe a disposición del usuario la herramienta de cálculo de longitud equivalente.

En aquellas configuraciones que así lo requieran, también se deberá especificar la temperatura de impulsión (°C) o la potencia de los intercambiadores de consumo distribuido (kW).

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

RSIT 

**VOLUMEN DE ACUMULACIÓN**

Volumen total (l)



Vol/Área (l/m<sup>2</sup>)

**DISTRIBUCIÓN**

Long. circuito (m)  

Diám. tubería (mm)

Esp. aislante (mm)  T. imp.(°C)

Aislante

**VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES**

Tipo A (l)  Tipo C (l)

Tipo B (l)  Tipo D (l)

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

**DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES**

Long. total (m)

Diám. tubería (mm)

Esp. aislante (mm)

Aislante

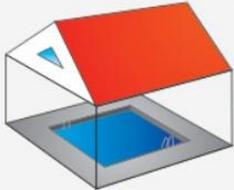
**PISCINA CUBIERTA**

Altura (m)  Temp. ambiente (°C)

Apertura diaria (h)  Temp. piscina (°C)

Superficie lámina (m<sup>2</sup>)  Renov. volumen día (%)

Humedad relativa (%)  Ocupación (pers/m<sup>2</sup>)



**Localización**



**Configuración**



**Demanda**



**Solar/Apoyo**



**Otros parámetros**



**Resultados**



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

+

Figura 8. Volumen de acumulación del depósito

## → Resultados

La última sección nos proporciona un conjunto de resultados. Tras comprobarse que se ha alcanzado la fracción solar mínima según los litros por día que se consuman en el edificio, se acaba el dimensionado de la instalación por el software obteniendo lo siguiente:

- Demanda neta (kWh/año): Demanda energética anual sin tener en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución.
- Demanda bruta (kWh/año): Demanda energética anual teniendo en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución.
- Aporte solar (kWh/año): Energía solar aportada por la instalación.
- Consumo auxiliar (kWh/año): Energía aportada por la instalación auxiliar de apoyo para satisfacer la demanda total.
- Reducción de CO<sub>2</sub> asociada a la utilización del sistema solar térmico (kg)
- Gráfica en la que se proyecta dependiendo de los meses, el porcentaje de fracción solar y la energía,

el consumo auxiliar, fracción solar, demanda bruta y aportación solar.

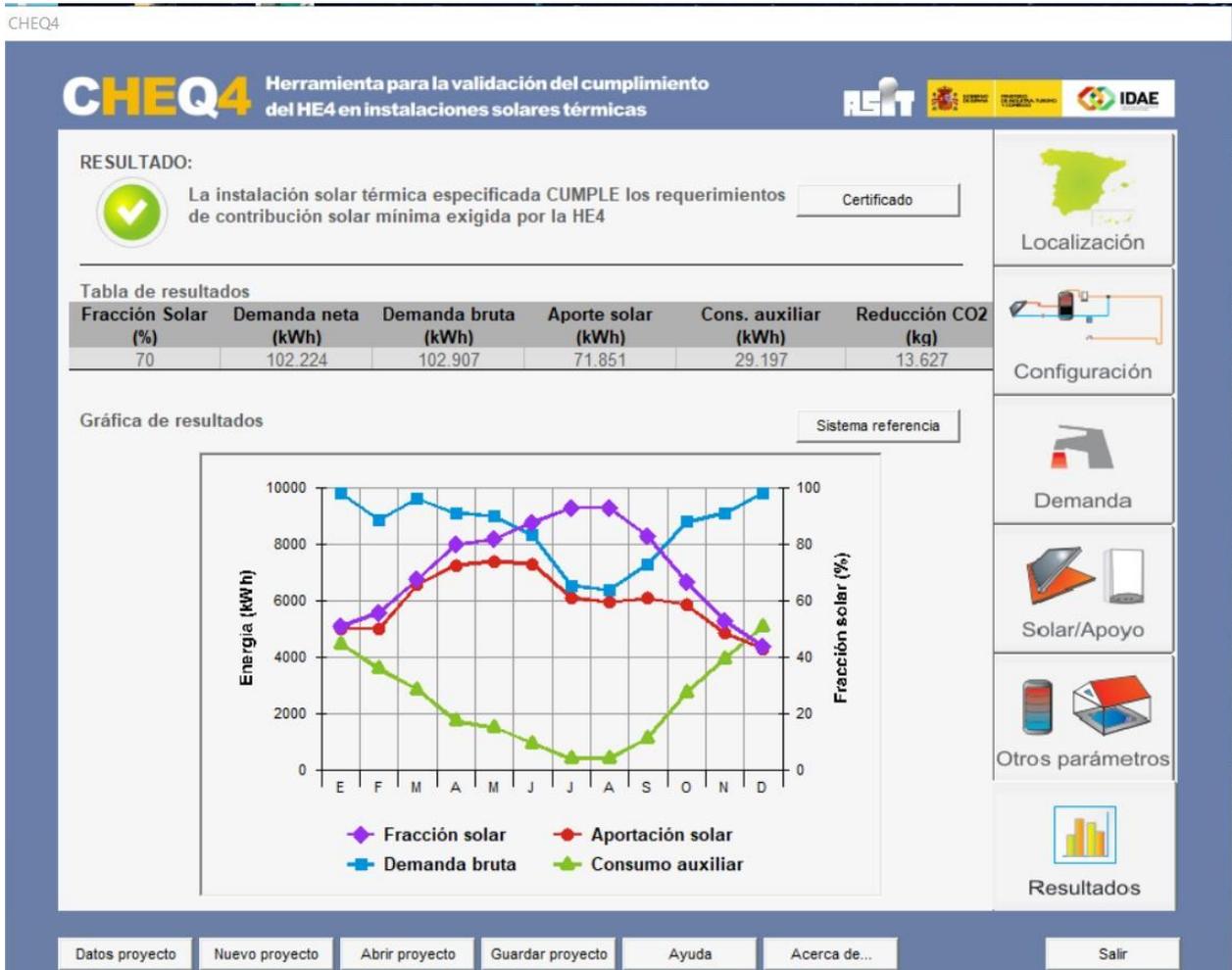


Figura 9. Resultados del software Cheq4

## 1.4. Descripción del edificio

El edificio en el que se basa este trabajo fin de grado es una residencia que pueda albergar a estudiantes y profesorado asociados a la universidad de Almería.



Figura 10. Situación geográfica de la parcela donde se emplaza el edificio

La parcela donde se encuentra el edificio tiene una superficie de  $5208 \text{ m}^2$ , la cual está destinada en casi su totalidad a la edificación de la residencia y una pequeña parte de ella en la instalación de una zona con árboles y asientos. Centrándonos en el edificio, este consta de 138 camas que están distribuidas en la planta baja y primera planta. La ocupación se estima del 100% en todos los meses del año, salvo en Julio y Agosto que es del 80% y en Septiembre que es del 90%.

El edificio consta de tres plantas, a continuación, se explica el uso principal de cada una de ellas y los espacios de los que se dispone en cada planta:

- Planta Sótano: Su principal uso es de aparcamiento aunque de igual manera contiene una serie de instalaciones, trasteros y almacenes.
- Planta Baja: Su principal uso es pública concurrencia –administrativo, es decir, está destinada a uso cultural religioso o de transporte de personas (pública concurrencia) y en él se realizan actividades de gestión o de servicios (administrativo). Tiene los siguientes espacios: aseos, gimnasio, vestíbulos, despachos, vestuarios, talleres, salas de reuniones y traducción, habitaciones, almacenes y biblioteca.
- Planta Primera: Su principal uso es residencial público, es decir, edificio destinado a proporcionar alojamiento temporal y está regentado por un titular. La primera planta consta de aseos, habitaciones simples y dobles, bibliotecas, zonas comunes e instalaciones.

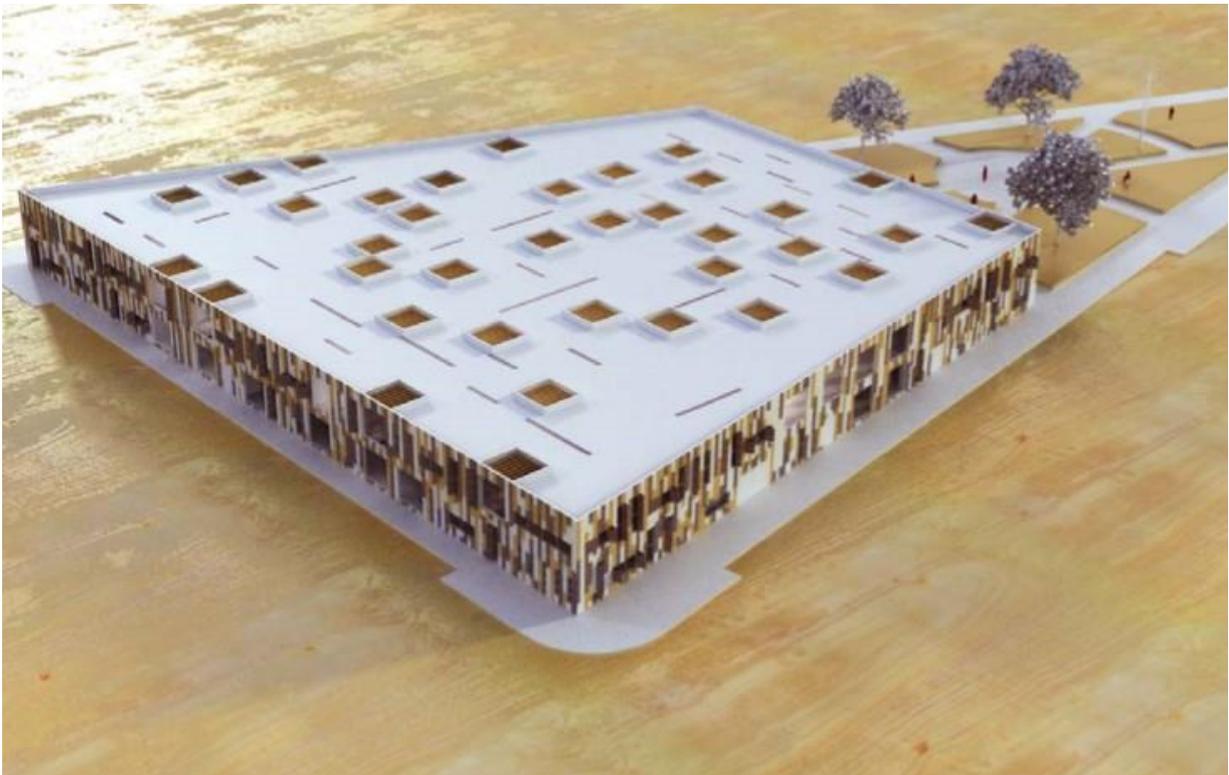


Figura 11. Vista aérea de la residencia de estudiantes

## 1.5. Descripción de la instalación

La instalación de energía solar térmica se utilizará para suministrar agua caliente sanitaria en las diferentes estancias y espacios de la residencia de estudiantes y profesorado.

### 1.5.1 Principio de funcionamiento

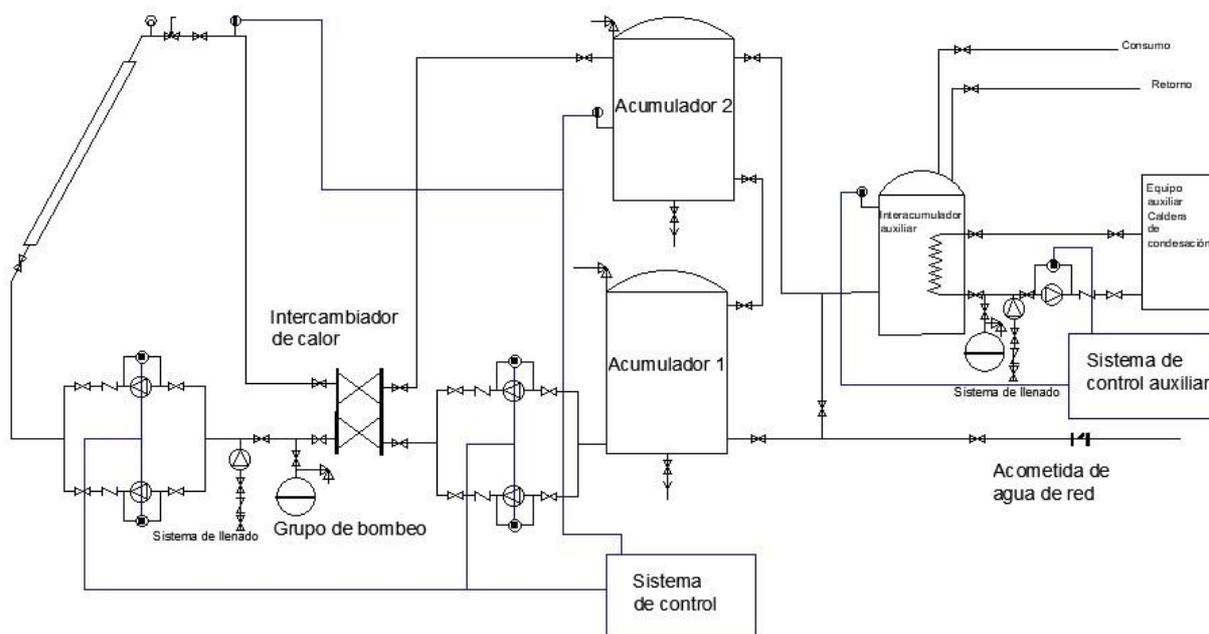


Figura 12. Principio de funcionamiento de la instalación y sistema de control

El principio de funcionamiento de una instalación de energía solar térmica es un proceso sencillo de transformación de energía solar. Se basa en la incidencia de los rayos solares sobre los captadores solares que se calientan y transforman la energía solar en energía térmica, con un fluido caloportador que suele ser aire o agua. Esta energía térmica se suele almacenar en depósitos para hacer uso de ella en cualquier momento.

La instalación debe contar con diferentes sistemas que a su vez están compuestos por los equipos necesarios para su funcionamiento. Estos sistemas son los siguientes:

- Sistema de captación

Está compuesto por el conjunto de captadores solares que componen la instalación y el circuito primario que transporta el fluido caloportador utilizado. Es el encargado de la recepción de la energía solar y su transformación en energía térmica. Está conformado por 30 captadores dispuestos en una configuración mixta serie-paralelo, la orientación de dichos captadores es la sur y una inclinación de 30°. Los captadores se dispondrán en baterías de 5 captadores, por lo que tendremos 6 baterías y una superficie de captación de 72 m<sup>2</sup>. El fluido caloportador es el agua y el caudal que deber ser movido por las bombas es de 2.592 litros.

- Sistema de intercambio

Este sistema se compone del intercambiador de calor en el que se cede la energía térmica en la que se había transformado la energía solar. El fluido caliente del circuito primario calienta el fluido frío del circuito secundario para luego ser almacenado en el depósito de acumulación.

- Sistema de acumulación

Como principal componente cuenta con el depósito de acumulación. Dependiendo de la instalación y tamaño del edificio puede ser uno o varios depósitos los que compongan dicho sistema. Su función básica es la de almacenar fluido (en nuestro caso agua) a la temperatura que nos interese para que esté disponible cuando los usuarios del edificio lo necesiten.

Estos depósitos deben tener un buen aislante, ya que lo ideal es que se produzca la menor pérdida de temperatura posible.

En nuestro caso tendremos 2 depósitos de 3500 litros cada uno para poder almacenar el agua necesaria para el suministro del edificio.

- Sistema de apoyo o auxiliar

Este sistema tiene como función aportar ayuda a la instalación en forma de energía adicional para que pueda funcionar. Cuando el sistema de captación no capta suficiente energía solar para que posteriormente sea transformada en energía térmica el sistema de apoyo realiza su función.

Normalmente está compuesto por una caldera convencional pero también es utilizado el termo eléctrico como principal variante del uso de energía convencional.

En nuestro caso este sistema se compone de:

Caldera auxiliar de condensación de 200 kW.

Interacumulador auxiliar de 4000 litros, y consta de un serpentín con capacidad para 38 litros.

Vaso de expansión de 8 litros.

Bomba para circular el caudal necesario, 7689,74 l/h.

- Sistema de control

La función de este sistema se basa en la regulación y el mantenimiento del buen funcionamiento de cada uno de los equipos de la instalación, entre los elementos que lo forman puede mencionarse los relés, termostatos o sondas.

La centralita se encarga de controlar la instalación solar incluyendo dos termostatos, una a la salida del campo de captadores y otra a la entrada del acumulador que se encuentra a menor temperatura. Dicha centralita se programa, optando por un sistema apropiado de arranque y parada. Llamando Tsc a la temperatura de salida del campo de captadores y Tsf a la temperatura de entrada al acumulador:

- Si  $T_{sc} > T_{sf} + 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  la bomba comienza a funcionar poniendo la instalación solar en marcha.
- Si  $T_{sc} < T_{sf} + 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  la bomba se para deteniendo el funcionamiento de la instalación solar.

El sistema de control de igual manera debe mantener el fluido caloportador en un rango de temperatura admisible, por lo que debe de evitar que el fluido baje de  $3^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura de congelación de este. Y de esta manera evitar la posible congelación del fluido y los consecuentes fallos en el sistema. Por ello en el momento en que el fluido tenga dicha temperatura se procederá al arranque de la bomba de circulación. Con el calentamiento de los captadores con la energía del depósito se calentará dicho fluido hasta alcanzar  $6^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura de congelación, llegado ese punto se produce la parada de la bomba.

La centralita reguladora encargada de controlar el equipo auxiliar incluye un termostato ubicado en el interacumulador auxiliar. Consideramos que el interacumulador auxiliar se mantiene a unos  $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, la regulación será la siguiente:

- Si la temperatura del interacumulador auxiliar no alcanza los  $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , se activan las bombas y la caldera poniendo en funcionamiento el sistema auxiliar.
- Si la temperatura en el depósito alcanza los  $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , se paran las bombas y parando la caldera.

- Sistema hidráulico

Está compuesto por bombas y los circuitos de tuberías que transportan el fluido a los distintos equipos y zonas del edificio para que pueda ser utilizada por el usuario.

Se han instalado tuberías de cobre de  $0,75''$ ,  $1''$  y  $1,25''$  en el circuito primario y secundario, mientras que en el circuito auxiliar se ha instalado  $1,75''$ . De acuerdo con el caudal que circula por cada tramo y se han aislado con coquillas de espesor de  $40 \text{ mm}$  para las tuberías que van por el exterior y de  $32 \text{ mm}$  para las que van por el interior.

Para el transporte del fluido caloportador se han instalado dos bombas idénticas en paralelo, dejando siempre una de reserva. De esta forma en caso de avería de una de las bombas, no hay necesidad de parar la instalación solar. Las bombas seleccionadas son capaces de circular un caudal de  $2.592 \text{ l/h}$ .

Este sistema dispone de un vaso de expansión de  $18 \text{ litros}$  para absorber las variaciones de volumen del fluido caloportador debido a la expansión que pueda producirse por los cambios de temperatura.

El sistema hidráulico consta de:

- Válvulas de corte: Se han instalado válvulas para aislar cada uno de los componentes y así poder proceder a las tareas de reparación y mantenimiento sin ningún tipo de problema.
- Válvulas de seguridad: Se ha instalado una válvula en el circuito primario conectada en el vaso de expansión y otra conectada a los acumuladores solares, protegiendo la instalación contra subidas de presión.
- Válvulas de retención: En la impulsión de cada bomba se ha instalado una válvula para impedir que el fluido pueda circular en dirección contraria.
- Purgadores: Se ha instalado un purgador a la salida de cada batería, en las partes altas de la instalación, para eliminar el aire que pueda formarse o entrar al circuito.

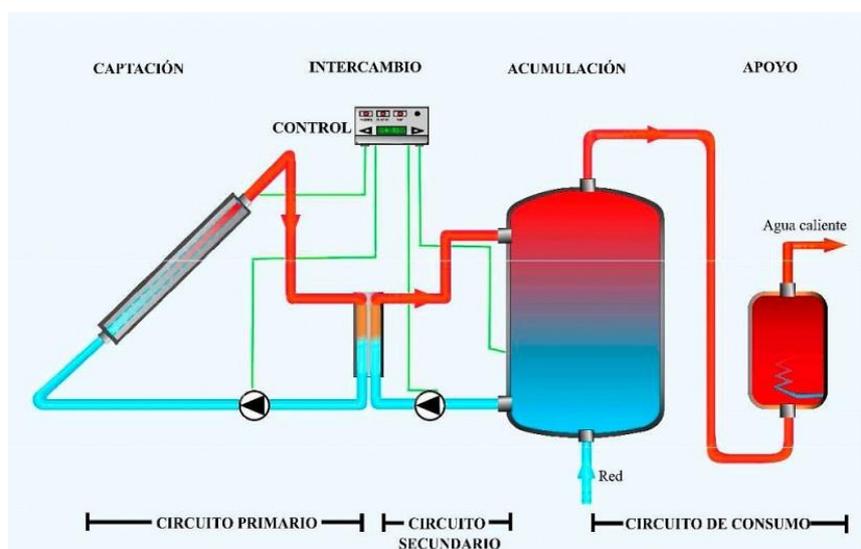


Figura 13. Sistemas de la instalación de energía solar

## 1.5.2. Descripción de equipos

### 1.5.2.1. Captadores solares

Los captadores solares son dispositivos que están diseñados para recoger la energía que se genera por la incidencia de los rayos de luz solar y convertirla en energía térmica. Estos equipos también pueden denominarse como colectores solares, ya que su función como hemos explicado anteriormente es la recoger la energía solar.

Se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura (utilizados principalmente en sistemas domésticos de calefacción) y los de alta temperatura (que se conforman mediante espejos y se utilizan para producir energía eléctrica).

Hay varios tipos:

- Colectores planos protegidos: son los más utilizados debido a su relación coste-producción, es la más rentable y favorable. El captador se encuentra en una caja rectangular, la cara que se expone al sol se cubre de un vidrio muy fino, mientras que el resto de las caras son opacas y están aisladas térmicamente.
- Colectores planos no protegidos: son una variante más económica que los colectores planos protegidos, se prescinde del vidrio protector y la placa está directamente expuesta al ambiente exterior. Tampoco tienen aislamiento perimetral. Su eficiencia es más limitada, por lo que necesitan una superficie más grande para las prestaciones deseadas.
- Tubos de vacío: en ellos se reduce la superficie captadora a cambio de pequeñas pérdidas de calor. La lámina captadora se coloca dentro de los tubos, los cuales tienen el mismo aspecto que un tubo fluorescente tradicional, pero con un color oscuro. Los paneles con estos tubos se forman con varios montados en una estructura de peine. Este sistema tiene ventajas como que su aislamiento es mayor, lo que le hace la mejor elección para climas muy fríos. Su flexibilidad hace que su colocación sea mejor y más fácil sin que se note en el rendimiento.

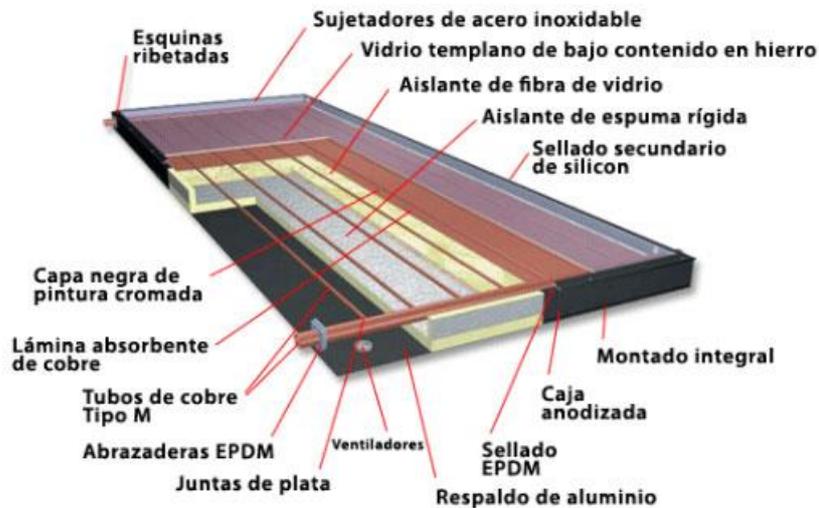


Figura 14. Partes de un captador solar protegido

### 1.5.2.2. Intercambiador 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.

Según su emplazamiento, se pueden distinguir dos grandes grupos de intercambiadores, como:

#### 1.- Intercambiadores de calor externos:

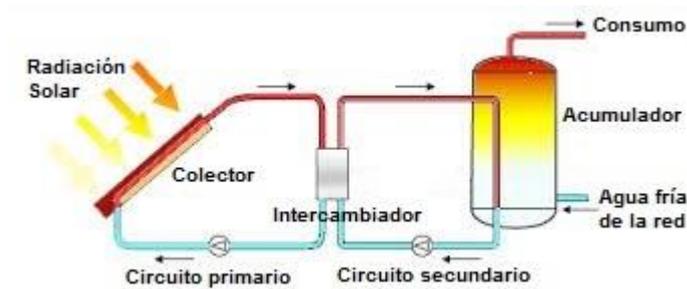


Figura 15. Intercambiador independiente del acumulador solar

El intercambiador se sitúa fuera del depósito de acumulación, instalándose de forma independiente ambos elementos. Este tipo de configuración se suele emplear en sistemas termosolares donde se emplean volúmenes de acumulación superiores a los 1000 litros de agua caliente.

El empleo de intercambiadores externos permite poder alcanzar potencias térmicas más elevadas con sólo cambiar el intercambiador que se disponga por otro de mayor capacidad de transmisión, sin necesidad de hacer más cambios en el resto de la instalación, o bien, ampliando el intercambiador existente añadiendo más superficie de intercambio (más placas).

Otra ventaja de usar intercambiadores externos es que permite abastecer a más de un depósito acumulador con un único intercambiador, debido a que ambos elementos son independientes.



Figura 16. Intercambiador de placas

Por ello, el empleo de configuraciones con intercambiadores externos es típico para aquellas instalaciones térmicas medianas y grandes.

Los intercambiadores de tipo externos se suelen construir de placas en acero inoxidable soldadas entre sí, de forma que se generan dos sistemas de canales completamente separados, uno para cada fluido, manteniendo un flujo en contra-corriente entre ellos para hacer más eficiente la transmisión de calor.

Al situarse el intercambiador fuera del acumulador, hace necesaria la instalación de dos bombas circulatorias, una en cada circuito (primario y secundario). Evidentemente es una solución más cara, pero resulta más eficiente cuando el tipo de instalación requiere de grandes necesidades térmicas y de mayores volúmenes de agua caliente.

## 2.- Intercambiadores de calor internos:

El intercambiador se sitúa dentro del depósito de acumulación realizándose dentro de él la transferencia de calor.

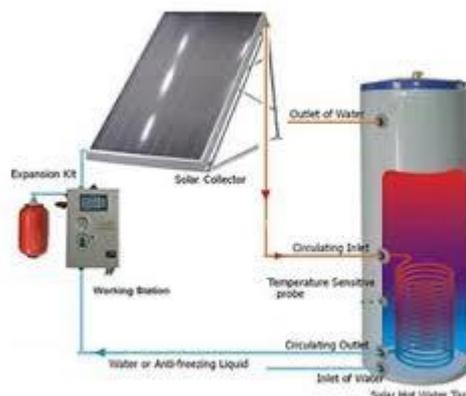


Figura 17. Conexión de instalaciones con intercambiador con serpentín

Las dos soluciones comerciales más empleadas son el sistema de intercambio interno mediante serpentín y los de doble pared.

Los de serpentín, como el que se muestra en la figura 16, consisten en sumergir una tubería (de cobre o acero inoxidable) en forma de espiral dentro del tanque de acumulación.

El serpentín se debe situar en la parte baja del acumulador, dado que es la parte fría, de manera que el gradiente de temperatura entre el fluido primario caloportador (el que circula dentro del serpentín) y el fluido del circuito secundario del acumulador sea el mayor posible. De esta manera, la potencia térmica de intercambio será máxima.

La entrada en el acumulador del fluido caliente del serpentín deberá realizarse a una altura comprendida entre el 50 y el 75% de la altura total del acumulador, mientras que la salida del serpentín se deberá realizar por la parte inferior del depósito acumulador.

Como ya se ha indicado, existe otra forma de realizar el intercambio de calor entre ambos circuitos, y es empleando depósitos acumuladores de doble pared.

En este caso, el depósito acumulador dispone de doble envoltente, es decir, que realmente está compuesto por dos depósitos, uno construido dentro del otro.

De esta manera, el fluido caloportador del circuito primario entra y rellena el espacio comprendido entre el depósito exterior y el interior.

Así, el fluido caloportador queda rodeando el volumen de almacenamiento del depósito más interior, donde se contiene el fluido a calentar del circuito secundario.

Con esta configuración la pared intermedia que separa el depósito interior del exterior funciona como elemento de intercambio, dando como resultado un rendimiento muy aceptable.

### **1.5.2.3. Acumulador solar**

Se trata de un depósito cuya finalidad principal se centra en independizar y separar el suministro de calor de la cantidad de energía a consumir, almacenando la energía térmica procedente de los captadores solares. De esta forma se consigue adecuar tanto el abastecimiento del recurso natural como su uso doméstico, trasladando el agua caliente acumulada para su empleo inmediato. Esta es rápidamente sustituida por la misma cantidad de agua fría proveniente de la red, que tras su paso por los captadores solares vuelve nuevamente a calentarse.

El acumulador solar, que está constituido por una cuba metálica fabricada a partir de material sintético y aislado, incorpora a su instalación uno o dos intercambiadores térmicos, aumentando al máximo su seguridad para evitar el riesgo de fugas y la pérdida de energía. Gracias a la posición vertical del acumulador, la estratificación de temperaturas se ejecuta con mayor facilidad y efectividad, por lo que no es necesario que todo el depósito esté a la temperatura marcada. De este modo se obtiene un mayor rendimiento de los captadores solares, evitando de nuevo las pérdidas térmicas.



Figura 18. Partes de un acumulador solar

La elección del tipo de acumulador depende, en primer lugar, del tamaño de la instalación. Si nos encontramos ante estructuras pequeñas o medianas, lo más probable es que el propio depósito contenga también el agua de consumo. Por el contrario, si hablamos de una instalación de grandes y complejas dimensiones, es fundamental que se establezcan gradualmente otros depósitos intermedios de inercia, para almacenar en estos la energía térmica que se traspasará posteriormente al acumulador solar. Además, en función de si los intercambiadores de calor son exteriores o están situados dentro del condensador, podemos obtener otras variantes. Si el depósito no presenta el intercambiador incorporado, el calentamiento del agua se efectúa en el exterior, mientras que si se incluye en su interior, tanto la acumulación del agua como su posterior aumento de temperatura se producen dentro del mismo depósito.



Figura 19. Tipos de acumulador solar

### 1.5.2.4. Vaso de expansión

El vaso de expansión es uno de los elementos de seguridad indispensables para que la instalación funcione correctamente, ya que su función es absorber la dilatación del fluido en el momento en el que se sobrecalienta.

Podemos encontrar varios tipos:

- Vasos de expansión abiertos: este tipo se encuentra en instalaciones de circuito abierto a la atmósfera y se sitúa en el punto más alto de la instalación. La altura mínima sobre el punto más alto de la instalación, que suelen ser los captadores, debe ser de 2 o 3 metros.
- Vasos de expansión cerrados: este tipo es el que se utiliza más comúnmente en instalaciones solares térmicas, ya que la totalidad de ellas se realizan en circuito cerrado.

#### Funcionamiento

Cuando el fluido caloportador se calienta se expande produciendo una sobrepresión. Este aumento de la presión hace que el empuje del fluido sobre la superficie de la membrana sea mayor que el empuje ejercido en el otro lado por la presión del gas y mayor que la resistencia a la flexión de la propia membrana. De esta manera, se produce una deformación de la membrana hacia la cámara del gas permitiendo la expansión del fluido hacia el vaso.

En el momento en el que el fluido se ha dilatado por completo el gas se encuentra comprimido, lo que provoca una sobrepresión en ese lado de la membrana. Pero esa ligera sobrepresión no supera en ningún caso el aumento de presión que se ocasionaría en el circuito si no se facilitara la expansión del fluido.

Finalmente, cuando el fluido se enfría se contrae reduciéndose así su presión. La sobrepresión alojada en la parte del gas produce entonces una deformación de la membrana hacia el lado del fluido, restaurándose la presión correspondiente a la temperatura más fría del fluido.

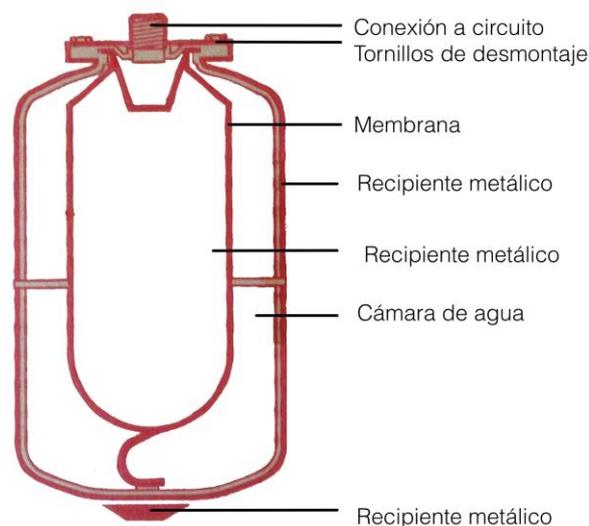


Figura 20. Partes de un vaso de expansión

### **1.5.2.5. Bombas**

En los sistemas termosolares de circulación forzada, es necesario la instalación de bombas circuladoras, normalmente de tipo centrífuga, también llamados electrocirculadores que son accionados por un motor eléctrico.

Toda bomba circuladora, para unas determinadas condiciones de trabajo y tipo de fluido a bombear, se caracteriza por el caudal de fluido bombeado y la altura manométrica de impulsión.

#### **Bombas circuladora para instalaciones termosolares**

Las bombas circuladoras, o circulatorias, de los sistemas termosolares de circulación forzada, son necesarias para generar el movimiento del fluido de trabajo desde la salida del depósito acumulador, una vez pasado por el intercambiador, hasta los colectores solares.

Al instalarse las bombas circuladoras para bombear el fluido caloportador del circuito primario, ya el depósito acumulador no es necesario colocarlo junto a los captadores solares en una posición elevada en el exterior del edificio, sino que pueden situarse en otra posición que más convenga, en el interior del edificio por ejemplo, resguardado, y en un lugar situado en posición más baja que los colectores solares.

En general, se pueden distinguir dos tipos de electrocirculadores:

- Electrocirculadores de rotor sumergido: son silenciosos, requieren un bajo mantenimiento y se montan en línea con la tubería y el eje horizontal.
  
- Monobloc: pueden ser montados con el eje en cualquier posición.

Con el paso del tiempo y el uso, en las tuberías de agua caliente se producen precipitaciones y corrosión, lo que hace disminuir el paso libre que queda dentro de la tubería para el agua, produciendo un aumento de la pérdida de carga. En este aspecto, se deberá cuidar la elección de los materiales de fabricación de las bombas para aplicaciones termosolares, que deberán ser muy resistentes a la corrosión.

Además, aunque los cálculos hidráulicos para este tipo de instalación se suelen realizar considerando agua como fluido de trabajo, en realidad el fluido de trabajo en el circuito primario de este tipo de instalaciones es una mezcla de agua con anticongelante. Este hecho unido al progresivo aumento de la pérdida de carga en las tuberías por incrustaciones, aconseja un cierto margen de seguridad en la selección de las prestaciones de la bomba, con objeto de poder hacer frente a estos imprevistos.

Las bombas circulatorias empleadas en los circuitos termosolares suelen tener varias velocidades y el fabricante lo indicará en sus gráficas de funcionamiento. Lo aconsejable es que se trabaje en una velocidad intermedia, con objeto de tener margen de actuación en el caso de ser necesaria variar la presión de suministro de la bomba ante cambios en las condiciones de la instalación.

Asimismo, previo a la aspiración de la bomba, se suele instalar un filtro con objeto de evitar que entren al interior de la bomba impurezas procedentes de los cordones de soldadura y otros desprendimientos del interior de la instalación.



Figura 21. Vista de un corte de una bomba circuladora



Figura 22. Bomba circuladora

### 1.5.2.6. Tuberías

Cuando se lleve a cabo el montaje de la instalación, tanto de las tuberías que conforman el circuito primario como las del secundario, se llevará a cabo bajo las más estrictas condiciones de limpieza, con objeto de evitar la formación de la legionela.

#### Guía técnica para la Prevención y Control de la Legionelosis en instalaciones

Esta bacteria se desarrolla en los circuitos de ACS, preferentemente a temperaturas en torno a los 37 °C, por lo que es imprescindible someter a toda instalación termosolar a labores de mantenimiento de prevención de la legionelosis de acuerdo a la legislación vigente.

Para el circuito primario por donde circula el fluido de trabajo caloportador desde los captadores solares hasta el intercambiador y su posterior retorno, se suelen utilizar tuberías de cobre o de acero inoxidable. En la actualidad se están desarrollando nuevos materiales plásticos termorresistentes, certificados y homologados para esta aplicación.

Para el circuito secundario o el de circulación del agua caliente sanitaria para consumo se podrán utilizar tuberías de cobre, de acero inoxidable o de acero galvanizado, pero nunca se utilizarán tuberías de acero negro para circuitos de agua caliente destino al consumo.

A continuación se realizarán algunas indicaciones para ciertos tipos de tuberías que pueden ser empeladas en las instalaciones termosolares:

- Tuberías de cobre: de todos es el tipo de tubería más recomendado, por su excelente relación calidad/precio. Ofrece gran resistencia a la corrosión, es maleable y dúctil que facilita las operaciones de montaje, y es inocua por lo que ofrece buenas condiciones de salubridad.
- Acero galvanizado: aunque es muy empleado en instalaciones de fontanería/plomería en agua fría, no se puede emplear como material en el circuito primario, dado que la protección del galvanizado se deteriora cuando se alcanzan temperaturas superiores a los 65 °C.
- Acero negro: no se puede emplear en instalaciones de agua caliente sanitaria (ACS), por producirse oxidaciones que afectan negativamente a la potabilidad del agua. Sólo es posible su uso como material de las conducciones del circuito primario.
- Tuberías de plástico termorresistentes: actualmente se están desarrollando nuevos materiales plásticos, que resultan muy competitivos de precio, y que pueden resistir sin problema temperaturas de trabajo superiores a los 100 °C. No obstante, por lo general este tipo de materiales se deterioran por la exposición directa a los rayos solares, por lo que su uso está restringido a espacios interiores o bajo estructuras de protección que los aisle de la acción directa de los rayos solares.
- 



Figura 23. Tuberías de cobre

### **1.5.2.7. Válvulas**

La elección del tipo de válvula más idónea se debe realizar atendiendo a la función que realiza dentro del circuito. Además, el tipo de válvula instalada deberá ser capaz de soportar con garantías los valores extremos de presión y temperatura que se alcancen en el sistema.

En general, la elección del tipo de válvula se realizará atendiendo el siguiente criterio:

- Para funciones de aislamiento: se suelen emplear válvulas de tipo esféricas.
- Para el equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado de tuberías: válvulas de esfera o macho.
- Para llenado de tuberías: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o macho.
- Para seguridad: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco de doble compuerta.

En aquellos sistemas sencillos, suele ser suficiente con colocar válvulas de seguridad en cada batería de captadores solares y en la entrada del sistema de acumulación.

Por otro lado, y para evitar que el líquido anticongelante del circuito primario circule en la dirección opuesta cuando el sistema está apagado, se suele montar una válvula de paso de sentido único, o bien una electroválvula que se abra en paralelo con el arranque de la bomba. Esta válvula antirretorno se utiliza para evitar retrocesos del fluido caloportador desde los colectores solares hacia la bomba causados por la convección natural.



Figura 24. Válvula de seguridad

## **1.6. Características de equipos**

### **1.6.1. Captadores solares**

El modelo de captadores solares elegido pertenece a la empresa sevillana Termicol, esta empresa tiene una amplia gama de captadores, el modelo seleccionado pertenece a la gama premium de dicha empresa. Es la familia T-S de captadores, son captadores ultraselectivos de parrilla que ofrecen niveles de rendimiento adecuados para climas y zonas de radiación solar muy adversos.

Características técnicas del captador :

- Longitud : 2130 mm
- Anchura : 1200 mm
- Longitud de absorción : 2057 mm
- Espesor : 100 mm
- Área bruta :  $2.5 m^2$
- Área de apertura :  $2.4 m^2$
- Peso en vacío : 38 kg
- Capacidad : 1.05 litros
- Aislamiento y protección: Marco de aluminio anodizado, cubierta de vidrio solar templado y aislamiento de lana de vidrio de 50 mm.

Características energéticas del captador :

- Rendimiento : 0.818
- Coeficiente de pérdida K1 :  $4.1 W/Km^2$
- Coeficiente de pérdida K2 :  $0.001 W/Km^2$
- Potencia pico : 1923 Wp
- $k_{50}$  : 0.88
- Caudal de ensayo:  $72 l/hm^2$
- Pérdida de carga : 3.0272 mbar



Figura 25. Captador T10S de Termicol

### 1.6.2. Intercambiador de calor

La línea Industrial de Alfa Laval es una amplia gama de productos utilizados en prácticamente todos los tipos de industria. Apto para una amplia gama de aplicaciones, este modelo se encuentra disponible con una extensa selección de tipos de placas y juntas.

Se ha elegido el modelo TL3-BFG/24M ya que cumple las características idóneas de potencia, salto de temperatura y caudal soportado.

Características del intercambiador elegido:

- Potencia: 40 kW
- Temperatura lado primario: 50 → 40 °C
- Temperatura lado secundario: 15 → 45 °C
- Caudal lado primario: 2.6 m<sup>3</sup>/h
- Caudal lado secundario: 2,6 m<sup>3</sup>/h
- Pérdida de carga en el circuito primario : 3,1 mca
- Pérdida de carga en el circuito secundario : 3,3 mca
- Conexión para circuito primario y secundario: ISO R 1 ¼"
- Material: AISI 316

- Superficie de intercambio :  $3.92 \text{ m}^2$
- Bastidor: Acero al carbono pintado.
- Placas: Acero inoxidable AISI 316, Titanio
- Conexiones: Rosca externa ISO-R 1" 1/4.
- Temp. máxima de trabajo: 130-140°C.
- Presión máxima de trabajo: Bastidor FG 16 bar.



Figura 26. Intercambiador de calor de Alfa Laval

### **1.6.3. Acumulador**

El modelo seleccionado ha sido Master Vitro MVV-3500-RB de la empresa Lapesa. Estos depósitos están diseñados para una capacidad de acumulación energética extraordinaria, que se traduce en un ahorro real. Además están preparados para su instalación junto con intercambiadores de placas.

Características del acumulador:

- Volumen : 3500 litros
- Diámetro exterior (D) : 1660 milímetros
- Altura total (H) : 2580 milímetros
- Diagonal : 3068 milímetros
- Entrada de agua red : 3 pulgadas
- Salida ACS : 3 pulgadas
- Recirculación ACS : 2 pulgadas
- Vaciado : 1 ½ pulgada
- Conexión lateral : 2 pulgadas

- Conexión "lapesa correx-up" : 1 ½ pulgada
- Conexiones sensores : ¾ pulgada
- Peso : 755 kilogramos



Figura 27. Acumulador MVV-3500-RB Lapesa

#### **1.6.4. Bombas**

La bomba seleccionada pertenece a la empresa Wilo, se ha elegido esta empresa debido a que es una de las principales fabricantes de bombas y abastecimiento de agua del mundo. El modelo seleccionado según las características de pérdida de carga que hay que superar y el caudal que hay que aportar es Wilo-Stratos-Z25.

Características de la bomba:

- Volumen de circulación máximo 8,8 m<sup>3</sup>/h
- Presión máxima de operación PN 10 bar
- Agua potable hasta 3,57 mmol/l (20 °dH): 0 °C a +80 °C
- Agua de calefacción: -10 °C a +110 °C
- Alimentación eléctrica 1~230 V, 50/60 Hz
- Tipo de protección IP X4D
- Conexión roscada o embreada (según el tipo) Rp 1 hasta DN 65

- Presión de trabajo máx. de la ejecución estándar: 6/10 bar (ejecución especial: 16 bar)
- Peso neto 5,3 kg
- Pérdida de carga máxima a vencer : 75 kPa



Figura 28. Bomba de circulación Wilo

#### **1.6.4. Vaso de expansión**

El vaso de expansión seleccionado pertenece a la empresa Ibaiondo, empresa vasca que se especializa en la fabricación de elementos de control, de seguridad y de almacenamiento para instalaciones hidráulicas. Se ha seleccionado el modelo 18 CMR que cumple las condiciones de almacenaje de agua en caso de necesitarse de su empleo.

Características del vaso de expansión :

- Tipo: 18 CMR
- Presión máxima : 10 bar
- Temperatura máxima de operación : 100 °C
- Temperatura mínima de operación : -10 °C
- Capacidad : 18 litros
- Precarga : 3 bar
- Dimensiones : 270x415 mm
- Conexión Agua : 3/4"
- Peso : 3,5 kilogramos



Figura 29. Vaso de expansión 18 CMR Ibaiondo

## **1.7. Normativa**

Debido a que se está realizando un proyecto de instalación real de energía solar térmica de baja temperatura, se debe tener en cuenta las restricciones y normativas aplicables a las que se deben de atener dicho tipo de instalaciones.

Se procede a nombrar las normas a tener en cuenta:

- Código Técnico de Edificación (CTE) HE-4
- Normas UNE
- Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)

### **1.7.1. Código Técnico de Edificación (CTE) HE-4**

- Contribución solar mínima de ACS (%)

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual para ACS o climatización de piscina cubierta, obtenidos a partir de los valores mensuales.

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

Tabla 1. Contribución solar mínima respecto de la demanda ACS y zona climática

La residencia de estudiantes y profesorado está situada, como hemos mencionado anteriormente, en el barrio de la Vega de Acá en la ciudad andaluza de Almería. Por ello podemos saber que si el edificio está emplazado en esta ciudad, la zona climática a la que pertenece es la V. Con ello y conociendo el valor aproximado de la demanda total de ACS que se tiene en el edificio se obtiene que la contribución solar mínima debe ser un 70%.

- Contribución solar máxima de ACS (%)

Si algún mes del año la contribución solar real sobrepase el 110 % de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100 %, se adoptarán cualquiera de las siguientes medidas:

- Dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario).
- Tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador).
- Vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares debiendo incluirse este trabajo en ese caso entre las labores del contrato de mantenimiento.
- Desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.

- Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación

El objeto de este apartado es determinar los límites en la orientación e inclinación de los módulos de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles.

Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:

- Ángulo de inclinación,  $\beta$  definido como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0 para módulos horizontales y 90° para verticales;
- Ángulo de acimut,  $\alpha$  definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y +90° para módulos orientados al oeste.

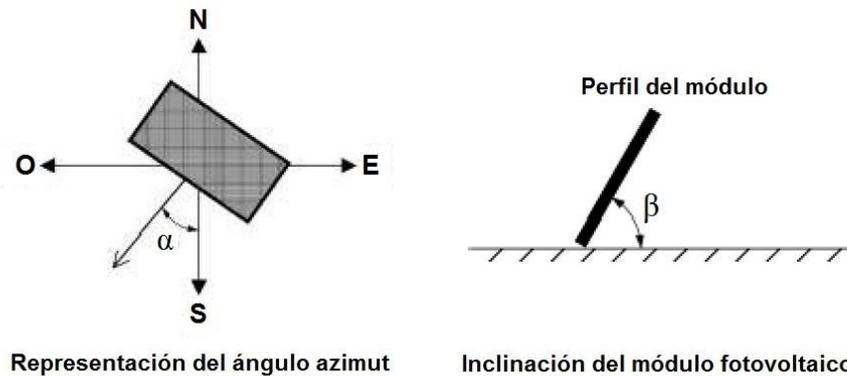


Figura 30. Representación de ángulo de inclinación y acimut

Determinado el ángulo de acimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima.

Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10 %, para superposición del 20 % y para integración arquitectónica del 40 %. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de acimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.

Si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores para latitud ( $\varphi$ ) = 41° y se corrigen de acuerdo a lo indicado a continuación.

Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de 41°, de acuerdo a las siguientes fórmulas:

- Inclinación máxima = inclinación ( $\varphi = 41^\circ$ ) – (41° - latitud);
- Inclinación mínima = inclinación ( $\varphi = 41^\circ$ ) – (41°-latitud); siendo 5° su valor mínimo.

En casos cerca del límite y como instrumento de verificación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$P\acute{e}rdid\acute{a}s (\%) = 100 * [1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 * 10^{-5} * \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$P\acute{e}rdid\acute{a}s (\%) = 100 * [1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{opt})^2] \quad \text{para } 15^\circ > \beta$$

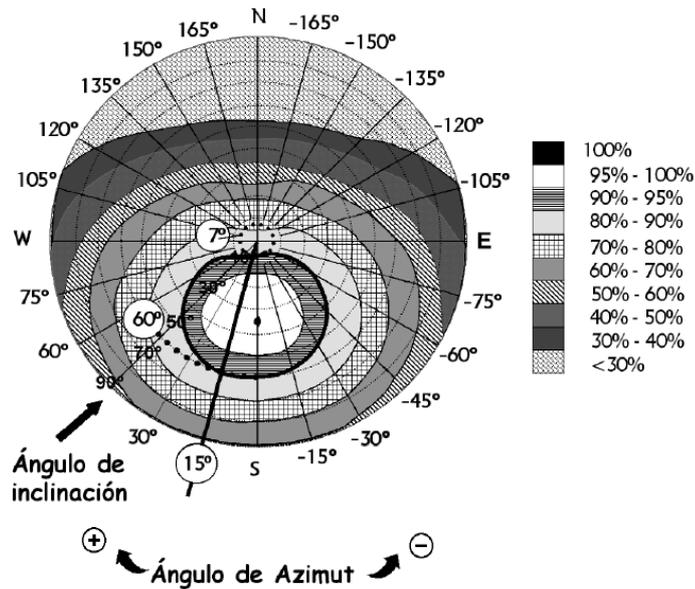


Figura 31. Porcentaje de energía respecto al máximo debido a pérdidas por orientación e inclinación

- Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras

Se describe un método de cálculo de las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debidas a sombras circundantes. Tales pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie, de no existir sombra alguna.

El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del sol. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Localización de los principales obstáculos que afectan a la superficie, en términos de sus coordenadas de posición acimut y elevación.
- Representación del perfil de obstáculos en el diagrama en el que se muestra las trayectorias del sol a lo largo de todo el año. Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2, ..., D14).

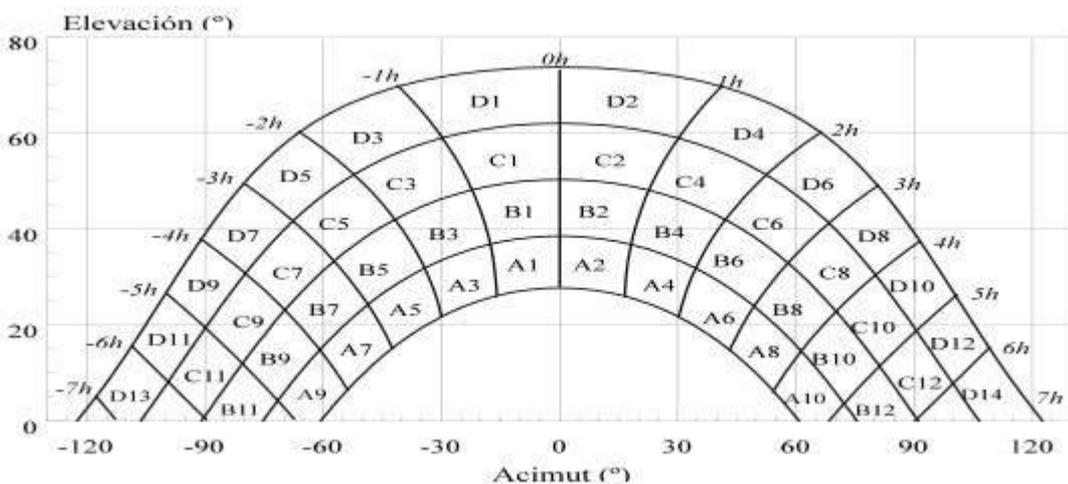


Figura 32. Patrón de sombras dependientes de la elevación y acimut

Cada una de las porciones representa el recorrido del sol en un cierto periodo de tiempo y tiene una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, en particular aquélla que resulte interceptada por el obstáculo.

- Sistema de acumulación

El sistema solar se debe concebir en función de la energía que aporta a lo largo del día, por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda.

Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:  $180 < A/V < 50$ , siendo A la suma de las áreas de los captadores [m<sup>2</sup>]; V el volumen del depósito de acumulación solar [litros].

- Sistemas de medida de energía suministrada

Las instalaciones solares o instalaciones alternativas que las sustituyan de más de 14 kW dispondrán de un sistema de medida de la energía suministrada con objeto 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.

En el caso de viviendas esta visualización y contraste de la energía producida por la instalación con respecto a la producción de proyecto podrá ser verificada de forma centralizada por quien la comunidad delegue o de manera individualizada por cada usuario particular mediante la incorporación de paneles de visualización, visores de lectura de contadores, etc. accesibles.

En el caso de instalaciones solares con acumulación solar distribuida será suficiente la contabilización de la energía solar de forma centralizada en el circuito de distribución hacia los acumuladores individuales.

## 1.7.2. Normas UNE

- UNE 100155

Establece los criterios para el diseño y cálculo del vaso de expansión.

- UNE 94002

Esta norma tiene como objetivo el cálculo de la demanda de energía térmica en las instalaciones de producción de agua caliente sanitaria proporcionando los valores de referencia de consumo de agua caliente sanitaria y las temperaturas de diseño necesarias.

- UNE 94003

Dicha norma trata de homogeneizar los datos de partida empleados en el cálculo de una instalación solar para producción de agua caliente.

Los datos de partida meteorológicos no variarán y gracias a ello se elimina la posibilidad de encontrar fuentes alternativas de información que produzcan errores. Los datos proporcionados son los valores de irradiación global diaria media sobre superficie horizontal y los de temperatura media ambiente en cada provincia de España.

### **1.7.3. Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)**

#### **IT 1.1.4.3.1. Preparación de agua caliente para usos sanitarios.**

En la preparación de agua caliente para usos sanitarios se cumplirá con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la legionelosis.

En los casos no regulados por la legislación vigente, el agua caliente sanitaria se preparará a una temperatura que resulte compatible con su uso, considerando las pérdidas en la red de tuberías.

Los sistemas, equipos y componentes de la instalación térmica, que de acuerdo con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la legionelosis deban ser sometidos a tratamientos de choque térmico se diseñarán para poder efectuar y soportar los mismos.

Los materiales empleados en el circuito resistirán la acción agresiva del agua sometida a tratamiento de choque químico.

No se permite la preparación de agua caliente para usos sanitarios mediante la mezcla directa de agua fría con condensado o vapor procedente de calderas.

#### **IT 1.2.4.2.1. Aislamiento térmico de redes de tuberías**

Todas las tuberías y accesorios, así como equipos, aparatos y depósitos de las instalaciones térmicas dispondrán de un aislamiento térmico cuando contengan:

- Fluidos refrigerados con temperatura menor que la temperatura del ambiente del local por el que discurran.
- Fluidos con temperatura mayor que 40 °C cuando estén instalados en locales no calefactados.

Cuando las tuberías o equipos estén instalados en el exterior, el aislamiento deberá poseer la protección suficiente contra la intemperie. En la realización de la estanquidad de las juntas se evitará el paso del agua de lluvia. Los equipos y componentes y tuberías, que se suministren aislados de fábrica, deben cumplir con su normativa específica en materia de aislamiento o la que determine el fabricante. En particular, todas las superficies frías de los equipos frigoríficos estarán aisladas térmicamente con el espesor determinado por el fabricante.

Espesores mínimos de aislamiento (mm) para tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes y discurren por el interior del edificio			
Diámetro exterior (°C)	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
Espesores mínimos de aislamiento (mm) para tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes y discurren por el exterior del edificio			
Diámetro exterior (°C)	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 2. Espesores mínimos fijados por el RITE

### **IT 1.2.4.6.1. Contribución de calor renovable o residual para la producción térmica del edificio**

En los edificios nuevos o sometidos a reforma, con previsión de demanda térmica una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirán mediante la incorporación de sistemas de aprovechamiento de calor renovable o residual.

Estos sistemas se diseñarán para alcanzar los objetivos de ahorro de energía primaria y emisiones de CO2 establecidos en el Código Técnico de la Edificación. En la selección y diseño de la solución se tendrán en consideración los criterios de balance de energía y rentabilidad económica.

La determinación de los coeficientes de paso de la producción de CO2 y de energía primaria, se realizarán de acuerdo con lo establecido en el apartado 2 de la IT1.2.2.

Las fuentes de calor renovable y residual pueden estar integradas en la propia generación térmica del edificio o ser accesibles a través de una red de distribución de energía térmica de distrito.

### **IT 1.3.4.4.5. Medición**

En esta instrucción queda detallada la instrumentación de medida de la que deben disponer todas las instalaciones térmicas para la supervisión de todas las magnitudes y valores de los parámetros que intervienen de forma fundamental en el funcionamiento de la misma.

Los aparatos de medida se situarán en lugares visibles y fácilmente accesibles para su lectura y mantenimiento.

El equipamiento mínimo de aparatos de medición será el siguiente:

- En colectores de impulsión y retorno de un fluido portador: un termómetro.
- En el vaso de expansión: un manómetro.
- En el circuito secundario de tuberías de un fluido portador: un termómetro en el retorno, uno por cada circuito.

- En las bombas: un manómetro para lectura de la diferencia de presión entre aspiración y descarga, uno por cada bomba.
- En el intercambiador de calor: termómetros y manómetros a la entrada y salida de los fluidos.

### **IT 2.3.3. Sistema de distribución de agua**

Establece las bases en las que la empresa instaladora realizará y documentará el procedimiento de ajuste y equilibrado de los sistemas de distribución de agua.

A lo largo del proyecto aparecen explicadas las especificaciones contenidas en esta instrucción, pudiendo así afirmar el cumplimiento de la misma.

### **IT 2.3.4. Control automático**

Establece el equipamiento mínimo del control de las instalaciones centralizadas de preparación de agua caliente sanitaria, referido tanto al control de la temperatura de la instalación como al control para los usuarios.

También queda recogido que cuando la instalación disponga de un sistema de control, mando y gestión o telegestión basado en la tecnología de la información, como es el caso de este proyecto, su mantenimiento y la actualización de las versiones de los programas deberá ser realizado por personal cualificado o por el mismo suministrador de los programas.

## **1.8. Bibliografía**

- Oficina Europea de Estadística (Eurostat). Base de datos de energía solar térmica, 2019.
- Código Técnico de la Edificación (CTE), apartado HE 4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.” 2013.
- AENOR, Norma UNE 100-155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” 2004.
- AENOR, Norma UNE 94002 “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria” 2005.
- AENOR, Norma UNE 94003 “Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones térmicas” 2007.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), 2013.
- Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT), Guía ASIT de la Energía Solar Térmica, 2010.
- Departamento de Ingeniería Energética, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, Documentación de la asignatura de Instalaciones Térmicas de la Edificación.
- Departamento de Ingeniería Energética, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, Documentación de la asignatura de Energía Solar.
- Catálogo de productos Lapesa.( <http://www.lapesa.com/>)
- Catálogo de productos Ibaiondo.( <http://www.ibaiondo.es/>)
- Catálogo de productos Salvador Escoda. (<https://www.salvadorescoda.com/>)

- Catálogo de productos Alfa Laval. (<https://www.alfalaval.es/>)
- Catálogo de productos Termicol. (<https://termicol.es/>)
- Catálogo de productos Genebre. (<http://www.genebre.es/>)
- Catálogo de productos Bosch. (<https://www.bosch-home.es/>)
- Catálogo de productos Wilo (<https://wilo.com/es/es/>)

## 2 MEMORIA DE CÁLCULO

---

### 2.1. Datos de partida

#### 2.1.1. Datos geográficos

La residencia de estudiantes, como se ha mencionado anteriormente, está situada en la ciudad de Almería, concretamente en la avenida Cabo de Gata (barrio Vega de Acá). Como datos geográficos reseñables pueden exponerse los siguientes:

Latitud	36° 50' 0" N
Longitud	2° 27' 0" W
Elevación sobre el nivel del mar	27 msnm
Zona climática	V
Número de camas	138

Tabla 3. Datos geográficos de la residencia

#### 2.1.2. Datos climáticos

El Código Técnico de Edificación (CTE) clasifica el territorio español en 5 zonas climáticas, las cuales se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal.

Si fuera necesaria mayor exactitud en cuanto a conocer concretamente la zona climática de algún municipio o ciudad que no quedase claro, al estar en los límites de las diferentes zonas climáticas, se puede consultar un documento que proporciona el CTE. En este documento aparecen todas las localidades de España junto con la zona climática correspondiente.

La zona climática que corresponde a Almería es la zona climática V. Esta zona engloba gran parte de Andalucía, Extremadura y Castilla La Mancha, son estas las que reciben una mayor radiación solar global media como se puede observar en la Figura 32.

Fuente: INM .Generado a partir de isólinas de radiación solar global anual sobre superficie horizontal.

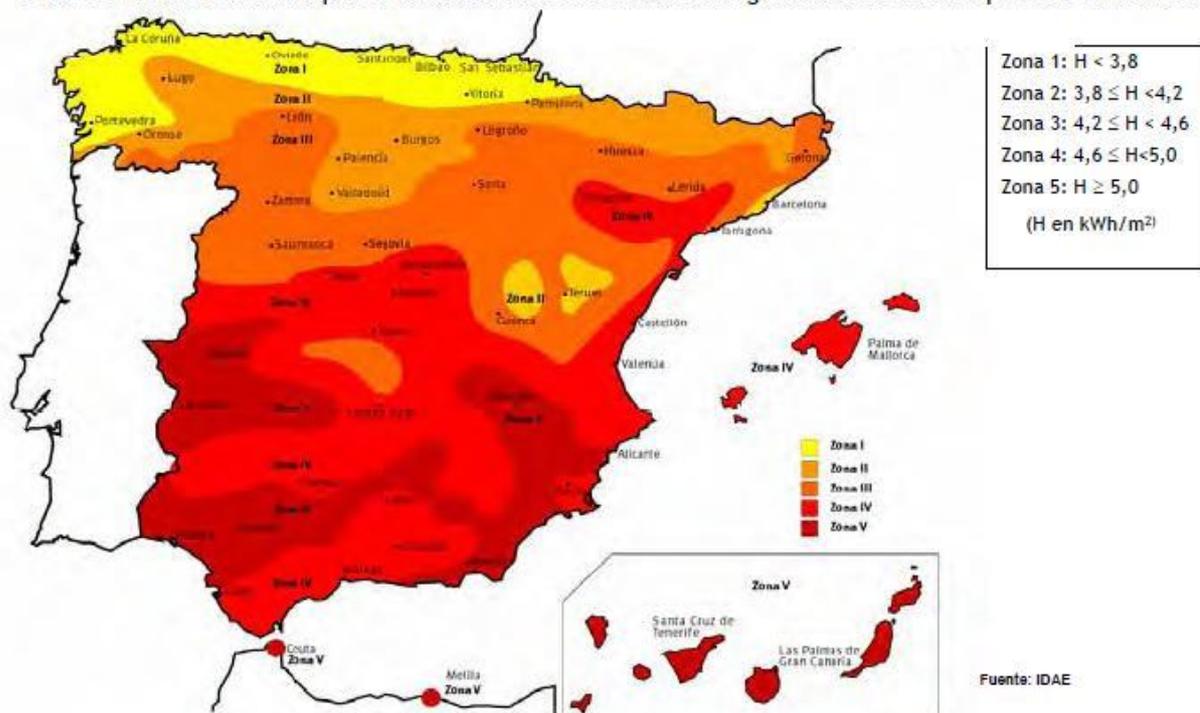


Figura 33. Mapa de radiación y zonas climáticas de España

Se ha utilizado el software CHEQ4 suministrado por el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía) para conocer los datos climáticos que se obtienen en el lugar donde se proyecta la residencia. Este software a partir de la localidad donde se realice la instalación nos proporciona tres datos principales para cada mes del año.

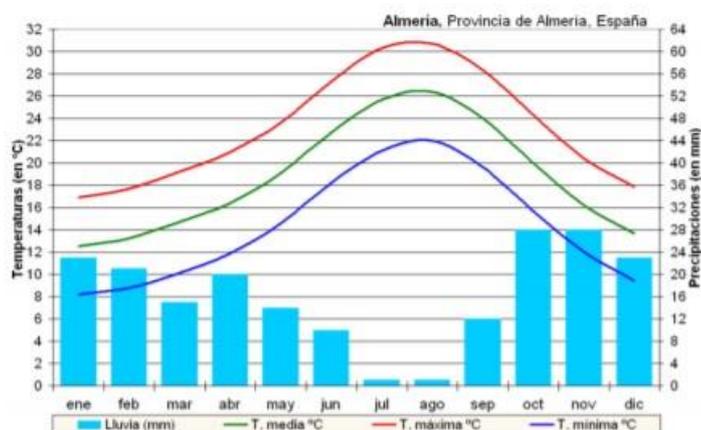


Figura 34. Precipitaciones y variación de temperatura en Almería

Se obtiene la irradiación global, temperatura ambiental media y temperatura media de agua fría. En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos para nuestro caso.

	Irradiación global media (MJ/m <sup>2</sup> )	Temperatura media de agua fría Tac (°C)	Temperatura media ambiental Tm (°C)
Enero	10.2	12.0	12.4
Febrero	13.4	12.0	13.0
Marzo	17.7	13.0	14.4
Abril	23.5	14.0	16.1
Mayo	26.0	16.0	18.7
Junio	28.6	18.0	22.3
Julio	28.4	20.0	25.5
Agosto	25.3	21.0	26.0
Septiembre	20.6	19.0	24.1
Octubre	14.9	17.0	20.1
Noviembre	10.9	14.0	16.2
Diciembre	9.0	12.0	13.3

Tabla 4. Irradiación global media, temperatura media de agua fría y temperatura media ambiental proporcionada por el software CHEQ4

## **2.2. Cálculos iniciales**

### **2.2.1. Cálculo del consumo de agua**

Según el código técnico CTE HE-4 que establece las demandas unitarias de los diferentes edificios, expresada en litros por persona y día. Esta tabla tiene como objetivo final el cálculo de la contribución solar mínima. Esta demanda unitaria viene referenciada a una temperatura de 60 °C.

En nuestro caso esta demanda unitaria a 60°C corresponde a una residencia, ya que la instalación ha sido proyectada para una residencia de estudiantes.

Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60 °C<sup>(1)</sup>

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

Tabla 5. Demanda litros/día\*unidad para cada tipo de edificio

El cálculo del consumo de agua para la residencia de estudiantes es el siguiente:

$$Q_{ACS} = Q_U * N_p = 41 \frac{\text{litros}}{\text{día} * \text{persona}} * 138 \text{ personas} = 5658 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

Siendo:

$$Q_U : \text{Demanda unitaria} \frac{\text{litros}}{\text{día} * \text{persona}} \quad N_p : \text{Número de personas}$$

## 2.2.2. Cálculo de la demanda energética

### Datos de partida

Para el cálculo de la demanda energética necesitamos conocer los siguientes datos:

$$Q_{ACS} = 5658 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \quad \rho_{\text{agua}} = 1 \frac{\text{kilogramos}}{\text{litros}} \quad C_p = 4.182 \frac{\text{kilojulios}}{\text{kilogramos} * \text{Kelvin}} \quad T_{ac} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Siendo:

$$Q_{ACS}: \text{Consumo de agua} \left( \frac{\text{litros}}{\text{día}} \right) \quad \rho_{\text{agua}}: \text{Densidad del agua} \left( \frac{\text{kilogramos}}{\text{litros}} \right)$$

$$C_p: \text{Calor específico del agua} \left( \frac{\text{kilojulios}}{\text{kilogramos} * \text{Kelvin}} \right) \quad T_{ac}: \text{Temperatura de agua caliente} (^\circ\text{C})$$

Expresión de cálculo de la demanda energética:

$$D_{ACS} = Q_{ACS} * \rho_{agua} * C_p * (T_{ac} - T_{af}) * \Delta_t$$

Siendo:

$D_{ACS}$  : Demanda energética por mes ( $\frac{J}{mes}$ )

$\Delta_t$ : Días de cada mes (días)

$T_{af}$ : Temperatura media fría (°C)

	RAD(MJ/m2)	Taf (°C)	Tamb (°C)	Días
Enero	10.2	12	12.4	31
Febrero	13.4	12	13	28
Marzo	17.7	13	14.4	31
Abril	23.5	14	16.1	30
Mayo	26	16	18.7	31
Junio	28.6	18	22.3	30
Julio	28.4	20	25.5	31
Agosto	25.3	21	26	31
Septiembre	20.6	19	24.1	30
Octubre	14.9	17	20.1	31
Noviembre	10.9	14	16.2	30
Diciembre	8.9	12	13.3	31

Tabla 6. Datos de irradiación, temperatura fría media, temperatura media ambiental y días por mes. Fuente: CTE-HE4

Mes del año	Demanda energética (J/mes)	Demanda energética (MJ/mes)
Enero	35276045760	35276,04576
Febrero	31862234880	31862,23488
Marzo	34541128140	34541,12814
Abril	32715687600	32715,6876
Mayo	32336375280	32336,37528
Junio	29870845200	29870,8452
Julio	29396704800	29396,7048
Agosto	28661787180	28661,78718
Septiembre	29159634600	29159,6346
Octubre	31601457660	31601,45766
Noviembre	32715687600	32715,6876
Diciembre	35276045760	35276,04576

Tabla 7. Demanda energética de cada mes expresado en J/mes y MJ/mes

## Demanda energética (MJ/mes)

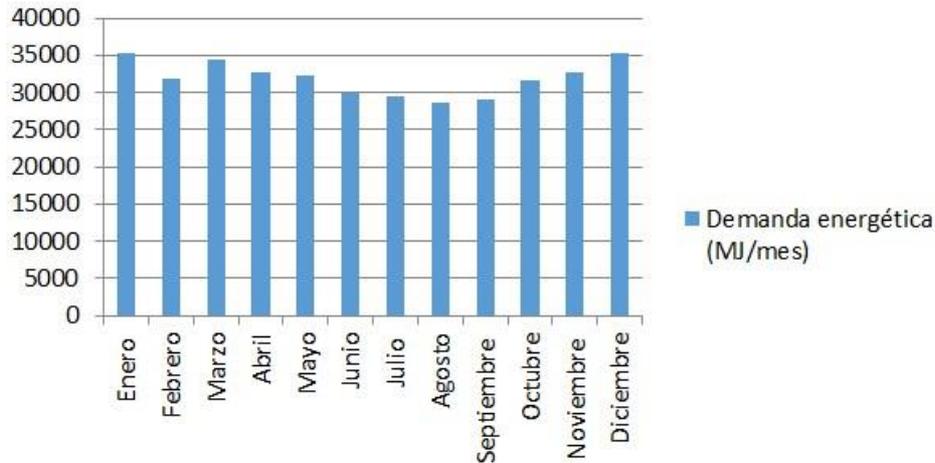


Figura 35. Gráfica de demanda energética en MJ/mes

### 2.3. Cálculo de la superficie de captación

Debido a que el Código Técnico de la Edificación (CTE) delimita la demanda mínima que puede cubrir la instalación solar, es necesario calcular la fracción de demanda cubierta, la cual se expresa como el cociente entre la demanda anual cubierta por la radiación solar y la demanda anual total:

$$f = \frac{Q_{solar}}{Q_{consumida}}$$

Siendo:

- $Q_{solar}$  : Potencia solar térmica destinada a cubrir parte de la demanda energética anual.
- $Q_{consumida}$  : Potencia térmica consumida durante el año.

El valor mínimo que fija el Código Técnico de la Edificación para la contribución solar mínima para esta instalación es del 70%, esto es debido a que la demanda de la residencia de estudiantes esta comprendida en el rango entre 5000 y 10000 litros por día y la residencia esta situada en Almería, zona climática V.

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

Tabla 8. Contribución solar mínima frente a la zona climática y demanda ACS del edificio

A partir de los siguientes datos de partida se procederá a analizar como varía la fracción de demanda cubierta modificando el número de captadores utilizados, de esta manera podremos comprobar qué superficie de captación es necesaria para cumplir los requisitos del CTE.

- Ángulo acimut:  $0^\circ$ .
- Número de captadores en serie: 2
- Inclinación de los captadores:  $30^\circ$  sobre horizontal.
- $F_R U_L : 4.1 \text{ W/m}^2 * K$ .
- $F_R(\alpha n)_n : 0.88$ .

- Análisis de la superficie de captación

Se procede a la realización de una serie de gráficas para la selección del número de captadores o superficie de captación.

Como anteriormente se ha expuesto, nuestra contribución solar mínima es del 70%, por lo que tendrá que ser superada para el correcto funcionamiento de la instalación.

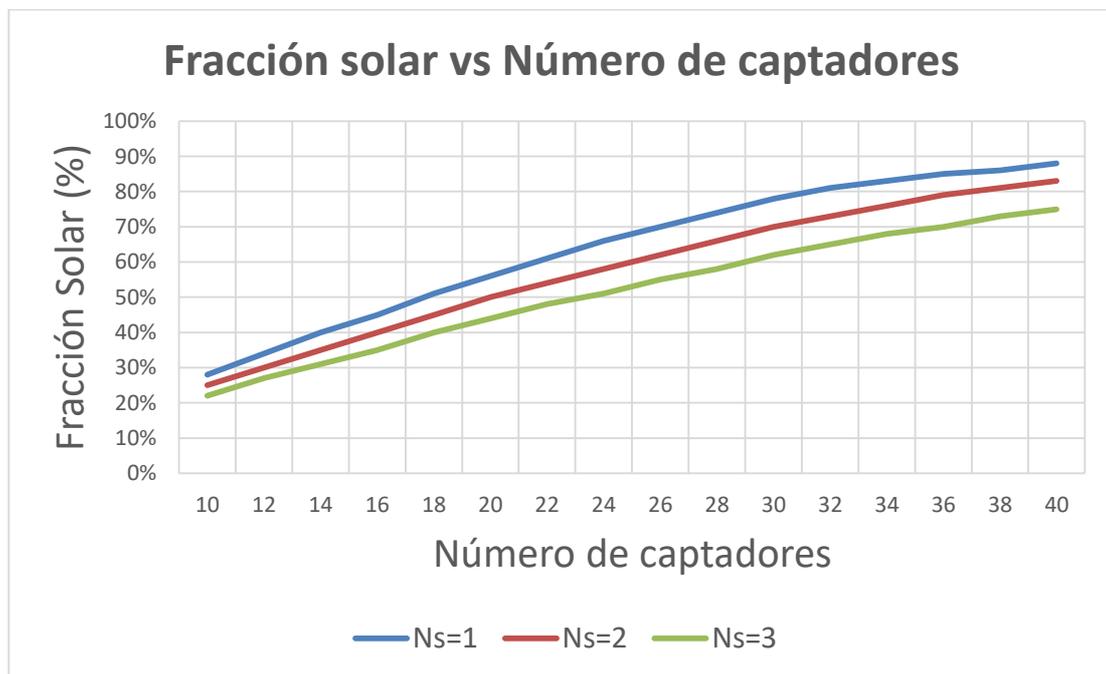


Figura 36. Fracción solar frente al número de captadores para distintos captadores en serie

En esta gráfica se puede observar la evolución de las tres series, a medida que aumentamos el número de captadores aumenta la fracción solar. Aunque si aumenta el número de de captadores en serie este aumento se reduce respecto a los que tienen menos captadores en serie.

Se debe buscar el equilibrio en el tipo de configuración seleccionada (en serie, paralelo o mixto serie-paralelo) por lo que se ha optado por tener dos captadores en serie.

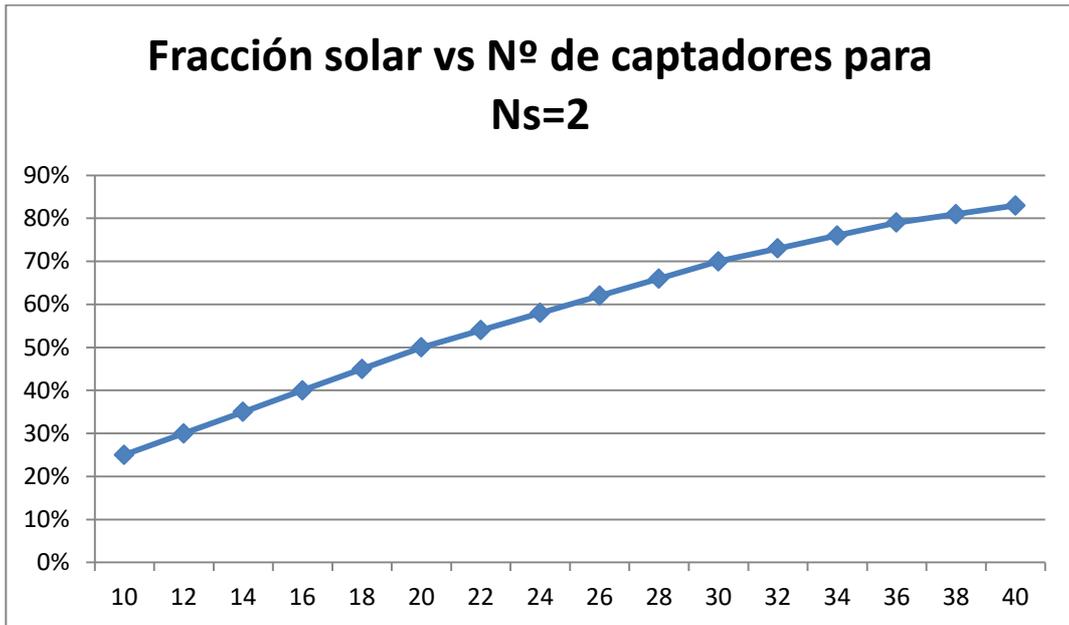


Figura 37. Fracción solar frente a número de captadores para dos captadores en serie

Por lo tanto como se puede observar en la figura 37, si tenemos dos captadores en serie para que se cumpla la contribución solar mínima, fijada por la norma en 70%, se deberá disponer de 30 captadores. Estos 30 captadores equivalen a 72 metros cuadrados, ya que los captadores seleccionados tienen un área de 2,4 metros cuadrados.

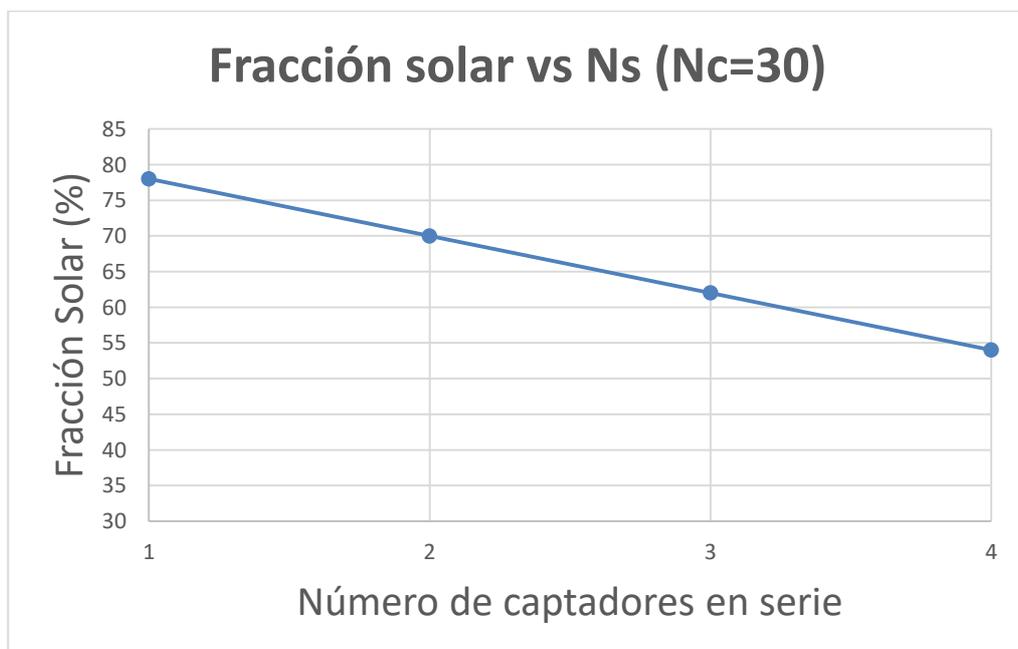


Figura 38. Fracción solar frente a captadores en serie para Nc=30

En la figura 38, se aprecia la variación de la fracción solar en función del número de captadores en serie. En esta gráfica se han impuesto el número de captadores de la instalación, el volumen de acumulación y la fracción V/A. Se obtiene de ésta que el número idóneo para la contribución solar mínima es el de dos captadores en serie. También se observa que a medida que aumentamos el número de captadores en serie se reduce la fracción solar, en estos casos la fracción se podría satisfacer aumentando el volumen de acumulación y el número de captadores de la instalación.

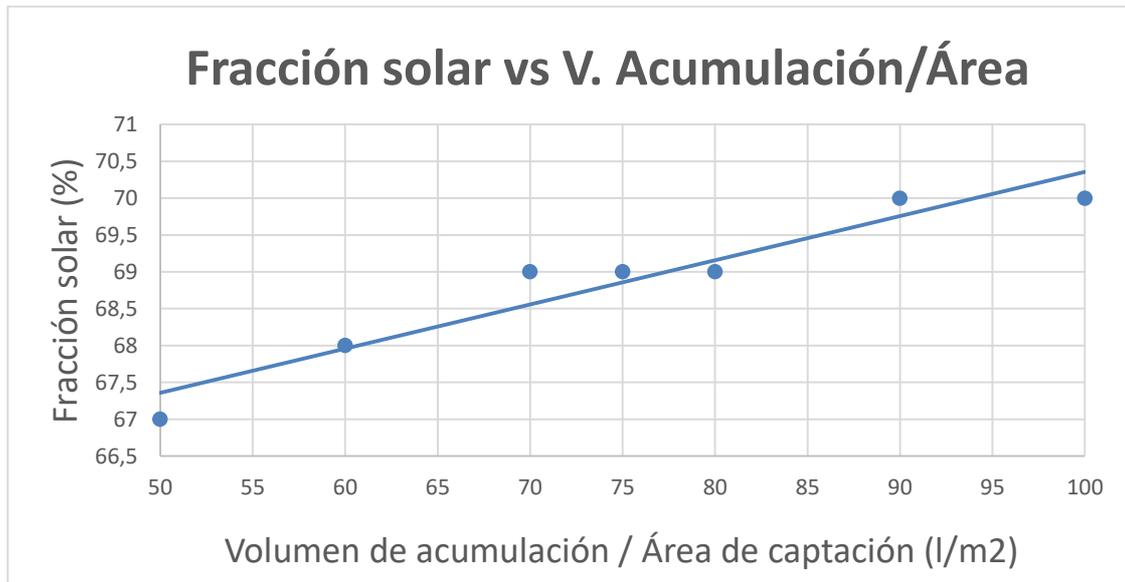


Figura 39. Fracción solar frente a Volumen de acumulación/Área de captación

En la figura 39, se puede observar como evoluciona la fracción frente a la relación de volumen de acumulación y el área de captación. Se ha fijado el número de captadores en serie en 2, el número de captadores en 30 y sabiendo que el área de el captador seleccionado, Termicol T10S, tiene un área de  $2,4 \text{ m}^2$ . Se puede extraer de dicha gráfica que la contribución mínima solar o fracción solar mínima, en nuestro caso 70%, se cumple para una relación de volumen de acumulación entre área de captación de 90 y por lo tanto tendremos un volumen de acumulación de 6500 litros, que en nuestro caso este volumen se dividirá en dos depósitos.

- Disposición de captadores

Los diferentes tipos de conexión posibles para nuestra instalación son los siguientes:

- El conexionado en serie genera un incremento de las temperaturas bastante elevado debido a la entrada del fluido de un captador en otro, aunque el caudal de circulación es bajo y genera elevadas pérdidas de carga, provocando dificultades en el funcionamiento de la bomba.
- Por otro lado, en el conexionado en paralelo deberá utilizarse un mayor caudal de circulación debido a que este se divide en ramas para abastecer a los diferentes captadores. En este tipo de conexión la temperatura del fluido se incrementa hasta un valor similar en todos los paneles. Las pérdidas de carga son reducidas debido a circuito de tuberías más corto que la conexión en serie.
- La última conexión que puede ser utilizada es la conexión mixta serie-paralelo que suele se usadas en instalaciones de un mayor tamaño para paliar las desventajas de las conexiones en serie y paralelo. De esta forma se alcanza un equilibrio entre el caudal del fluido empleado, las pérdidas de carga y rendimiento que obtenemos de la instalación.

Tras conocer qué ventajas y desventajas tienen cada uno de las conexiones posibles nos decantamos por que el campo de captadores solares se dispondrá según la configuración mixta serie-paralelo, en la cual tendremos 6 bloques de 5 captadores conectados en paralelo. Cada bloque estará conectado en serie con otro bloque de 5 captadores en paralelo, como se ejemplifica en la siguiente imagen.

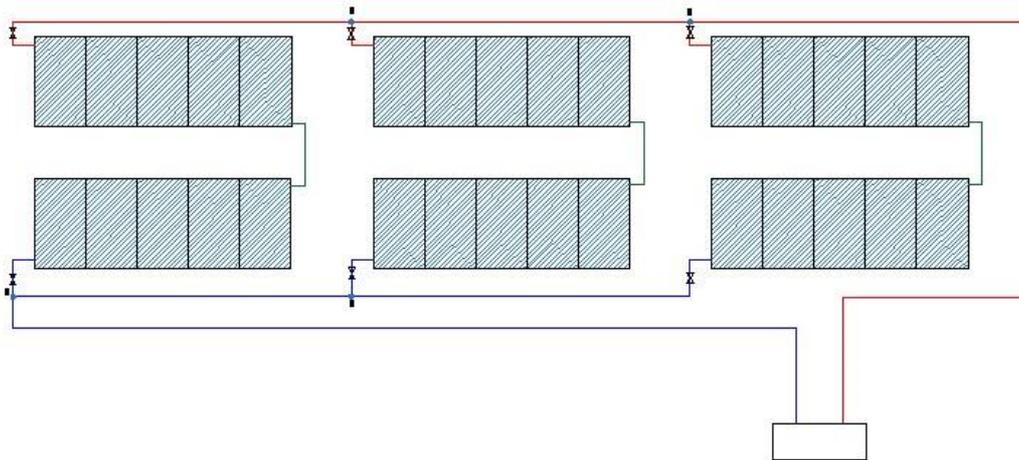


Figura 40. Distribución y configuración de la instalación de energía solar térmica

Conclusiones:

- Superficie de captación :  $72 \text{ m}^2$
- Agrupación de captadores: Configuración serie-paralelo para 30 captadores, con baterías de 5 captadores y número de captadores en serie igual a 2.
- Volumen de acumulación: 6500 litros
- Fracción solar: 70%
- Pérdidas debido a la orientación, inclinación y sombras

Según se indica en el Código Técnico de la Edificación la mejor orientación posible para el campo de captadores es la Sur, la cual ha sido elegida para la instalación proyectada.

De igual manera el CTE fija que en los edificios con suministros y demanda constante es aconsejable que la inclinación de los captadores solares esté cercana a la latitud de la ciudad donde se encuentre, siendo aceptable un rango de variación en el ángulo de inclinación de  $\pm 10^\circ$ . En la instalación a estudio se ha fijado un ángulo de inclinación de  $30^\circ$ , este ángulo cumple con el requisito del código técnico, ya que la latitud de Almería es  $36^\circ$  y estaría dentro de rango de error aceptado.

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 * [1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 * 10^{-5} * \alpha^2]$$

Siendo:

- Inclinación de captadores : 30°.
- Inclinación de captadores óptima : 36°.
- Ángulo acimut : 0°.

Los resultados de las pérdidas son de un 0.432%, por lo tanto, se cumple el requisito fijado sobre pérdidas del CTE, la condición para pérdidas de orientación e inclinación se fija en un 10%.

En este caso las pérdidas de sombras son consideradas como nulas ya que es un edificio apartado de los otros edificios al estar edificado en un solar. Debido a esto no hay ningún obstáculo que genere sombras al campo de captadores.

- Pérdida de carga de los captadores

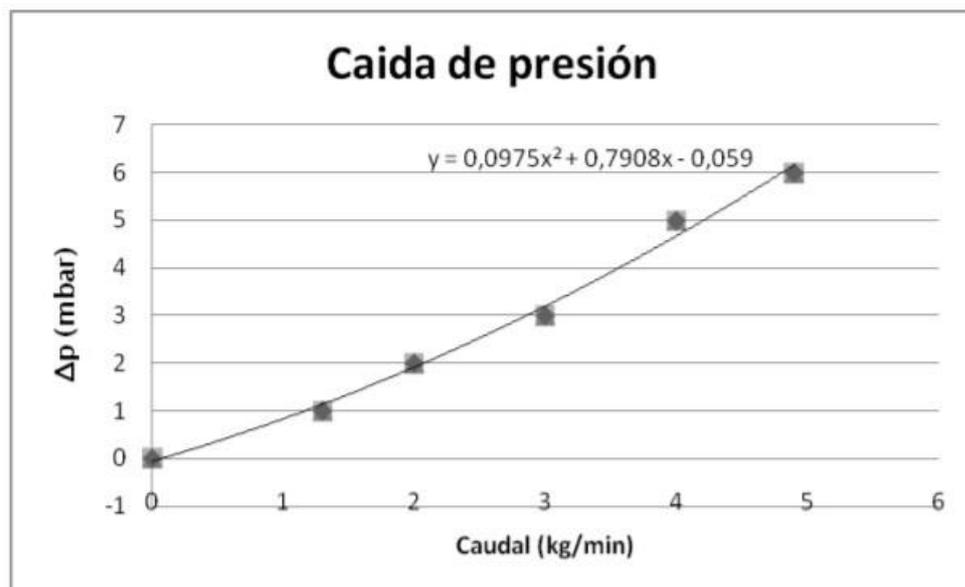


Figura 41. Caída de presión captador Termicol T10S

La caída de presión producida en el interior del absorbedor debido a las fricciones del fluido se representa en la gráfica experimental, mostrándose el ajuste cuadrático para poder extrapolar los valores a cualquier caudal másico.

Para conocer la caída de presión del modelo seleccionado se utilizará el caudal test que nos proporciona el fabricante, apareciendo en el software CheQ4. El caudal test tiene un valor de  $72 \frac{l}{m^2 * h}$ .

$$Q = 72 \frac{l}{m^2 * h} * \frac{1 h}{60 min} * 2.4 min = 2.88 \frac{l}{min}$$

Observando la gráfica que tenemos podemos extraer el valor de la caída de presión. Teniendo un caudal de  $2.88 \frac{l}{min}$  se obtiene una pérdida de 3.0272 mbar.

Al saber que la disposición de nuestra instalación es una configuración mixta serie-paralelo. En la cual, tendremos bloques de 5 captadores en paralelo en serie con otro bloque de 5 captadores en paralelo. Por lo tanto la pérdida de carga total será:

$$\Delta_p = 3.0272 \text{ mbar} * 2 = 6.0544 \text{ mbar}$$

## **2.4. Cálculo del volumen de acumulación**

La finalidad de este apartado es la de conocer la capacidad que debe tener el depósito de acumulación de nuestra instalación de energía solar térmica.

El sistema solar se debe concebir en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por lo tanto, se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser esta simultánea con la generación.

Según el CTE-HE4, el volumen de acumulación debe estar sujeto a una serie de limitaciones. Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

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

Siendo:

*A : la suma de las áreas de los captadores (m<sup>2</sup>)*

*V: el volumen del depósito de acumulación solar (litros)*

Teniendo en cuenta que diariamente se consumen unos 6500 litros en la residencia de estudiantes y el área de captación de nuestra instalación es de 72 metros cuadrados, debido a que utilizados 30 captadores solares los cuales tienen un área unitaria de 2.4 metros cuadrados.

Para cubrir la demanda de almacenar los litros correspondientes de fluido, se ha seleccionado un acumulador de la empresa Lapesa y el modelo Master Vitro MVV-3500-RB. Tendremos dos depósitos en serie de 3500 litros cada uno, de esa forma se podrá almacenar y suministrar el agua caliente sanitaria en nuestra instalación.

## **2.5. Cálculo de red de tuberías**

### **2.5.1. Cálculo de caudal del circuito primario**

El cálculo del caudal del circuito primario es un paso esencial para el dimensionado de la red de tuberías. Para este apartado necesitaremos conocer el número de captadores que son utilizados en la instalación de energía solar, el caudal de ensayo del captador, la densidad del fluido caloportador y el área unitaria de los captadores.

La expresión del cálculo del caudal del circuito primario es la siguiente:

$$Q_{primario} = G_{ensayo} * A_{captador} * \frac{N_{captadores}}{Ns}$$

Siendo:

- $Q_{primario}$  : caudal del circuito primario.
- $G_{ensayo}$  : caudal de ensayo del captador, con valor de  $72 \frac{l}{h \cdot m^2}$ .
- $A_{captador}$  : área de captador, con valor de  $2.4 \text{ m}^2$ .
- $N_{captadores}$  : número de captadores, con valor de 30 captadores.
- $Ns$  : captadores en serie.

$$Q_{primario} = 2592 \frac{L}{h}$$

## 2.5.2. Dimensionado de red de tuberías

En este apartado se seleccionarán los diámetros de las tuberías que transportan el agua fría y caliente por la instalación. Se diseñará la red de tuberías con el fin de minimizar los metros de tuberías y generar las menores pérdidas de carga en la instalación, de esta forma la bomba para impulsar el fluido tendrá que dar una menor presión y por lo tanto consumirá menos electricidad. Se utilizará la técnica de retorno invertido con la idea de no tener que recurrir a válvulas de equilibrado que la red de tuberías presente estabilidad y equilibrio.

Para ello se debe cumplir unas normas sobre velocidad y pérdida de carga en las tuberías que vienen impuestas, son las siguientes:

- La velocidad con la que circula el agua en las tuberías debe ser menor de 2 m/s en zonas o locales habitados. En el caso de que sean zonas exteriores la velocidad de circulación tendrá como límite 3 m/s. En nuestro caso, tenemos parte de la instalación de tuberías en el exterior y la otra parte de las tuberías que conectan el campo de captadores con la sala de máquinas en el interior. Por lo tanto, en la cubierta tendremos una velocidad máxima del fluido de 3 m/s, mientras que en el interior del edificio el máximo se fijará en 2 m/s.
- La pérdida de carga admisible debe estar en el siguiente rango:  $200 < Dp < 400 \text{ Pa/m}$ .

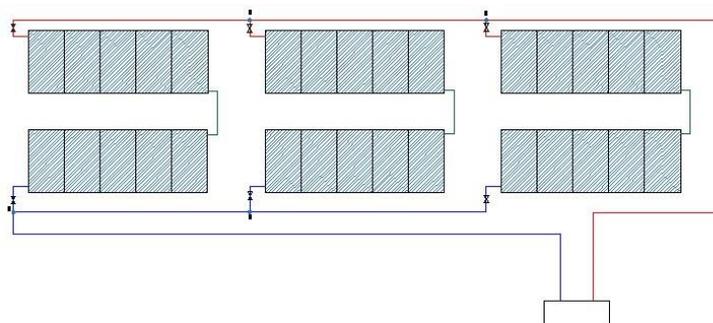


Figura 42. Distribución y configuración de la instalación de energía solar térmica

A partir de la configuración seleccionada, procedemos a describir cada uno de los tramos de tuberías que lo componen, exponiendo la longitud y el caudal de fluido que circula por cada uno de ellos.

Tramos	Longitud (m)	Caudal (L/h)
Tramo 1	76,91	2592,00
Tramo 2	12,47	864,00
Tramo 3	7,91	1728,00
Tramo 4	4,55	864,00
Tramo 5	12,47	864,00
Tramo 6	7,91	1728,00
Tramo 7	77,89	2592,00

Tabla 9. Tramos de la instalación junto con su longitud y caudal

La selección de los diámetros de las tuberías se realizará mediante una serie de cálculos en una hija Excel donde se implementan las fórmulas para calcular la velocidad y las pérdidas de carga en función del caudal, la longitud y el diámetro de los tramos de tuberías.

A continuación se exponen tablas en las que se ejemplifica lo explicado anteriormente y la selección de los diámetros según las normas expuestas al comienzo de este punto.

	Pérdidas de carga unitarias (Pa/m)					
D(")	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75
D (mm)	12,70	19,05	25,40	31,75	38,10	44,45
T1	21562,63	3006,28	750,32	256,74	107,12	51,23
T2	2937,12	419,60	106,19	36,68	15,42	7,42
T3	10272,80	1446,40	362,96	124,65	52,15	24,99
T4	2937,12	419,60	106,19	36,68	15,42	7,42
T5	2937,12	419,60	106,19	36,68	15,42	7,42
T6	10272,80	1446,40	362,96	124,65	52,15	24,99
T7	21562,63	3006,28	750,32	256,74	107,12	51,23

Tabla 10. Pérdidas según el diámetro de cada tramo de tuberías

	Velocidad (m/s)				
D(")	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75
D (mm)	19,05	25,40	31,75	38,10	44,45
T1	2,53	1,42	0,91	0,63	0,46
T2	0,84	0,47	0,30	0,21	0,15
T3	1,68	0,95	0,61	0,42	0,31
T4	0,84	0,47	0,30	0,21	0,15
T5	0,84	0,47	0,30	0,21	0,15
T6	1,68	0,95	0,61	0,42	0,31
T7	2,53	1,42	0,91	0,63	0,46

Tabla 11. Velocidades según el diámetro de cada tramo de tuberías

Aunque algunos de los diámetros seleccionados tienen una pérdida de carga algo superior al límite de 400Pa/m se asumirán ya que utilizar un diámetro produce una diferencia de pérdida de carga peor que asumir este pequeño incremento de la pérdida de carga en ciertos tramos.

Por lo tanto una vez seleccionado los diámetros para los tramos de tuberías, se debe conocer qué tipos de accesorios tenemos en cada tramo, ya que estos accesorios generan una pérdida de carga adicional al tramo al que pertenezca. Los tipos de accesorios que hay en nuestra instalación son los codos de 90°, ramas en T alineada, ramas en T derivada y válvulas. En la siguiente tabla se expone los accesorios de cada tramo

Tramo	Accesorios
Tramo 1 (Nudo 2 - Nudo 3)	6 codos de 90°
Tramo 2 (Nudo 2 - Nudo 3)	Rama en T alineada, 2 válvulas y 5 codos de 90°
Tramo 3 (Nudo 2 - Nudo 3)	Rama en T derivada
Tramo 4 (Nudo 2 - Nudo 3)	Rama en T derivada, 2 válvulas y 4 codos de 90°
Tramo 5 (Nudo 2 - Nudo 3)	Rama en T alineada, 2 válvulas y 5 codos de 90°
Tramo 6 (Nudo 2 - Nudo 3)	Rama en T alineada
Tramo 7 (Nudo 6 - Nudo 1)	Rama en T derivada y 10 codos de 90°

Tabla 12. Accesorios de cada tramo de la instalación

En la Tabla 13 se exponen las longitudes equivalentes asociadas a cada uno de los accesorios anteriormente descritos:

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. Longitudes equivalentes de los accesorios.

Según estas longitudes equivalentes se obtienen las pérdidas de cargas de cada uno de los accesorios que se encuentran en los tramos de tuberías.

Una vez se conocen los accesorios y las características de los tramos de tuberías se proceden a calcular las pérdidas de cargas totales, sumando a la pérdida total en las tuberías, las pérdidas de carga en los equipos y en los accesorios

	V	L	D	Dp <sub>t</sub>	L <sub>acc</sub>	Dp <sub>t</sub>	Dp <sub>Acc</sub>	Dp <sub>eq</sub>	Dp <sub>total</sub>
Tramo	(L/h)	(m)	(")	(Pa/m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
Tramo 1	2592,00	74,75	1,25	256,7	6,60	19,2	1,7	0	20,9
Tramo 2	864,00	17,40	0,75	419,6	2,98	7,3	1,3	0,6	9,2
Tramo 3	1728,00	4,57	1,00	363,0	2,48	1,7	0,9	0	2,6
Tramo 4	864,00	4,56	0,75	419,6	3,26	1,9	1,4	0,6	3,9
Tramo 5	864,00	12,47	0,75	419,6	7,75	5,2	3,3	0	8,5
Tramo 6	1728,00	7,91	1,00	363,0	0,24	2,9	0,1	0,6	3,6
Tramo 7	2592,00	85,74	1,25	256,7	6,77	22,0	1,7	0	23,8

Tabla 14. Características de los tramos de la instalación

Siendo:

- V: el volumen que circula por cada tramo
- L: la longitud de cada tramo
- D: el diámetro de las tuberías

- Dp<sub>t</sub>: la pérdida de carga de las tuberías expresadas en Pa/m y kPa
- L<sub>acc</sub>: la longitud equivalente de los accesorios
- Dp<sub>Acc</sub>: la pérdida de carga de los accesorios
- Dp<sub>eq</sub>: la pérdida de carga de los equipos
- Dp<sub>total</sub>: la suma de las pérdidas de carga de las tuberías, equipos y accesorios

Tras conocer qué pérdida de carga tenemos en cada tramo es necesario comprobar los diferentes circuitos que puede haber en nuestra instalación y averiguar cuál de ellos es el más desfavorable, es decir, el que tiene una mayor pérdida de carga.

Como se puede observar en la siguiente tabla, el circuito más desfavorable es el circuito 3, que está compuesto por los tramos 1, 3, 5, 6 y 7. La pérdida de carga que tiene este circuito es 59,25 kPa. A partir del circuito con mayor pérdida de carga se selecciona la bomba que tendrá que impulsar el fluido.

	Circuito 1	Dp <sub>tot</sub> (kPa)	Circuito 2	Dp <sub>tot</sub> (kPa)	Circuito 3	Dp <sub>tot</sub> (kPa)
Tramo						
T1	1	20,89	1	20,89	1	20,89
T2	1	9,16	0	0,00	0	0,00
T3	0	0,00	1	2,56	1	2,56
T4	0	0,00	1	3,88	0	0,00
T5	0	0,00	0	0,00	1	8,48
T6	1	3,56	1	3,56	1	3,56
T7	1	23,75	1	23,75	0	23,75
Dp <sub>cir</sub> (kPa)		57,36		54,65		59,25

Tabla 15. Circuitos de la instalación.

## 2.6. Dimensionado de equipo de intercambio

El CTE fija una relación para comprobar los límites de potencia que tiene que tener el intercambiador solar que tenemos que utilizar. Dicha relación es entre la capacidad de energía que tiene el intercambiador y el área total de captadores solares.

$$P_{intercambiador} (W) \geq 500 * A_{captadores} (m^2)$$

En nuestro caso, la instalación está compuesta por 30 captadores con área unitaria de 2,4 m<sup>2</sup>, por lo tanto:

$$P_{intercambiador} (W) \geq 36000$$

$$P_{intercambiador} \geq 36 \text{ kW}$$

A partir de la siguiente ecuación y atendiendo al criterio que fija el Código Técnico de la Edificación, se puede obtener el rango de diferencias de temperaturas admisibles por el equipo de intercambio de calor.

$$P_{intercambiador} = Q_{primario} * C_p * \Delta T$$

$$36 \text{ kW} \geq Q_{primario} * C_p * \Delta T$$

Sabiendo que:

$$Q_{primario} = 2592 \frac{l}{h} \quad C_p = 4184 \frac{J}{K*kg}$$

$$\Delta T \geq 11,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El intercambiador elegido es el modelo TL3-BFG/24M de la empresa Alfa Laval, ajustandose a la necesidades de potencia, caudal soportado y salto de temperatura.

Nº de placas	Potencia máxima (kW)	Caudal primario (m³/h)	Caudal secundario (m³/h)	Pérdida de carga en el primario (mca)	Pérdida de carga en el secundario (mca)
24	40	2,6	2,6	3,1	3,3

## 2.7. Dimensionado de la bomba

La bomba seleccionada para transportar el fluido por la instalación es el modelo Wilo-Stratos-Z es una bomba de recirculación de rotor húmedo con conexión de rosca o embrizada. Se ha seleccionado la bomba de dicho fabricante debido a que es uno de los principales fabricantes mundiales de bombas y sistemas para el abastecimiento de agua y la climatización, además de su amplia gama y gran fiabilidad.



Figura 43. Modelo Wilo-Stratos-Z

Dentro de Wilo-Stratos-Z se debe seleccionar el modelo que se ajuste a las características de la instalación, en nuestro caso la pérdida de carga que se debe vencer para transportar el fluido es de 59,257 kPa que equivalen a 6,04 mca. Por otro lado, el caudal que debe soportar la bomba es de 2592 L/h lo que es igual a 2,592 m<sup>3</sup>/h. Dicha bomba consume una potencia de 9 W, siendo una bomba monofásica.

Como podemos observar introducimos en la gráfica aportada por el fabricante para obtener el modelo de la bomba que satisfaga las características de la instalación.

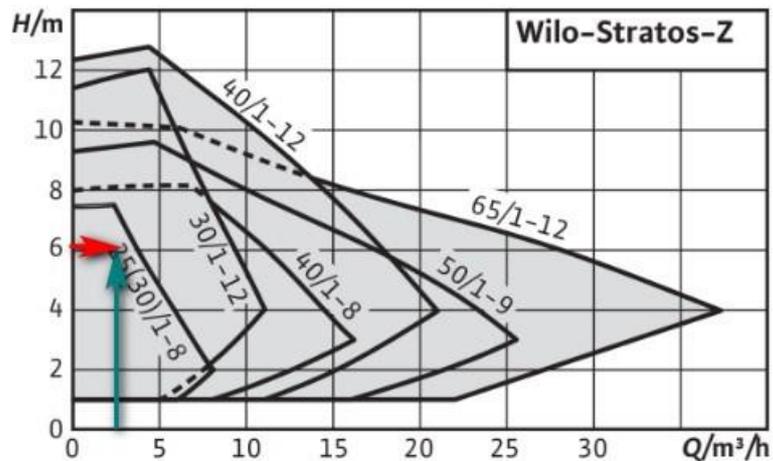


Figura 44. Selección de la bomba Wilo

Una vez conocidas las características de nuestra instalación, mediante la gráfica que aporta el fabricante se elige el modelo de la bomba preseleccionada. Como se puede observar en dicha gráfica con los datos que tenemos se debe seleccionar el modelo Wilo-Stratus-Z25.

### **2.7.1. Dimensionado de la bomba del circuito secundario**

El dimensionado de la bomba de circulación del secundario se realiza de forma parecida al del circuito primario. Debido a la longitud de este circuito, la bomba tendrá que vencer 3,3 mca de pérdida de carga del intercambiador y 1,2 kPa (0,12 mca) de la pérdida de carga en los 2,25 metros de tuberías del circuito.

La pérdida de carga del intercambiador viene impuesta por el producto y por el fabricante en última instancia, mientras que la pérdida de carga de la red de tuberías del sistema secundario se ha realizado de igual manera que para el primario. A partir del cálculo en Excel, en el que sabiendo el caudal que circula por el circuito secundario (similar al caudal del circuito primario) y los metros de tuberías, se ha seleccionado un diámetro que cumpla los requisitos de velocidad y pérdidas de carga, en nuestro caso es de 1,25”.

Una vez se conoce el diámetro del circuito secundario, la longitud de tuberías el conjunto de accesorios que están en dicho sistema (en nuestro caso varias válvulas) se obtiene la pérdida de carga que genera en el sistema.

Que queda:

$$H = 3,42 \text{ m . c . a .}$$

Esta bomba moverá un caudal del orden del caudal del circuito primario, por ello se elige una bomba de circulación Wilo-Star-Z-20/7. En la siguiente gráfica se puede observar la selección de dicha bomba:

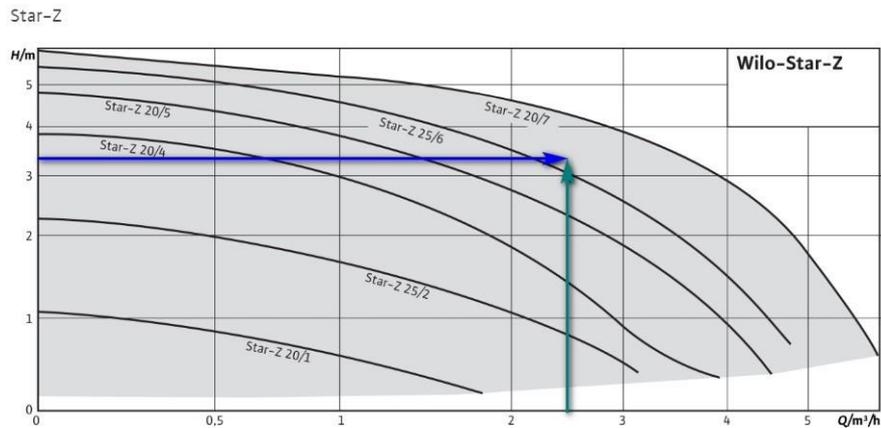


Figura 45. Curva de selección de la bomba del circuito secundario

## 2.8. Dimensionado del vaso de expansión

La instalación debe tener un vaso de expansión para poder contener las posibles modificaciones que se producen en el volumen del fluido que se transporta por el circuito al variar la temperatura, manteniendo la presión que se ha establecido y evitando de esa manera pérdidas y reposiciones de agua.

El dimensionado de este equipo viene fijado por la norma UNE 100155: Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión. El volumen del vaso de expansión se puede calcular a partir de la expresión:

$$V_{VExp} = V_{RE} * C_e * C_p$$

Siendo:

- $V_{VExp}$  : volumen del vaso de expansión
- $V_{RE}$  : volumen total, que incluye volumen de red tuberías y de los distintos equipos
- $C_e$  : coeficiente de expansión
- $C_p$  : coeficiente de presión

### • Volumen total

El volumen total para el cálculo del volumen del vaso de expansión se compone de la suma del volumen de la red de tuberías, del volumen del fluido de los captadores y del volumen de los intercambiadores.

$$V_{RE} = V_{RT} + V_S + V_C$$

Siendo:

- $V_{RT}$  : Volumende la red de tuberías
  - $V_S$  : Volumen de seguridad
  - $V_C$  : Volumen del fluido de los captadores
- El volumen de la red de tuberías es aquel comprendido en los diferentes tramos de tuberías de la instalación, al tener tramos de diferente diámetro se deben calcular de forman individual con la siguiente fórmula:

$$V_{RT} = L * \pi * \frac{D_i^2}{4}$$

Tramo	Longitud (m)	Diámetro de tubería	Volumen
Tramo 1	76,91	1,25"	0,06089
Tramo 2	12,47	0,75"	0,00355
Tramo 3	7,91	1,00"	0,00401
Tramo 4	4,56	0,75"	0,00130
Tramo 5	7,91	0,75"	0,00225
Tramo 6	12,47	1,00"	0,00632
Tramo 7	77,89	1,25"	0,06167

Tabla 16. Volúmenes de las tuberías de cada tramo de la instalación

$$V_{RT} = 0,13999 \text{ m}^3$$

$$V_{RT} = 139,99 \text{ litros}$$

- El volumen del fluido en los captadores es la capacidad que tienen los captadores utilizados en la instalación. La capacidad del captador solar depende del modelo y empresa que los suministra. En nuestro el modelo seleccionado ha sido T10 S de la empresa Termicol, cuya capacidad por captador es de 1.05 litros.

$$V_C = 1.05 * 30 = 31,5 \text{ litros}$$

- El volumen de seguridad que se debe introducir es aproximadamente un 10% de la suma del volumen de fluido en los captadores y en las tuberías de la instalación. Por lo tanto:

$$V_I = 0.1 * (31.5 + 139,99) = 17,15 \text{ litros}$$

$$V_{RE} = V_{RT} + V_S + V_C = 188,64 \text{ litros}$$

- **Coeficiente de expansión**

El coeficiente de expansión es siempre positivo y menor que la unidad y representa la relación entre el volumen útil del vaso de expansión, que debe ser igual al volumen de fluido expansionado, y el volumen de fluido contenido en la instalación.

$$C_e = (3,24 \cdot T^2 + 102,13 \cdot T - 2708,3) \cdot 10^{-6}$$

Esta fórmula se obtiene de la norma UNE 100155:2004, utilizándose para calcular el coeficiente de expansión para temperaturas comprendidas entre 30 y 120 grados. Por lo tanto se realiza el cálculo del coeficiente de expansión para los valores que comprenden dicho rango para ver como se comporta el coeficiente.

Temperatura del fluido caloportador (°C)	Coeficiente de expansión (Ce)
30	0,003272 → 0,333 %
40	0,006561 → 0,66 %
50	0,010498 → 1,05%
60	0,015084 → 1,51 %
70	0,020317 → 2,03 %
80	0,026198 → 2,62 %
90	0,032727 → 3,27 %
100	0,039905 → 3,99 %
110	0,04773 → 4,77 %
120	0,056203 → 5,62 %

Tabla 17. Variación del coeficiente de expansión según la temperatura

Como se puede observar en la anterior gráfica a medida que aumenta la temperatura del fluido caloportador aumenta el coeficiente de expansión. Si la instalación funciona correctamente no se deben alcanzar temperaturas tan altas como las expuestas, pero para el dimensionado del vaso de expansión se va a elegir la situación más desfavorable.

Por lo tanto:

$$C_e = 0,056203$$

- **Coeficiente de presión**

Este coeficiente, es siempre positivo y mayor que la unidad, representa la relación entre el volumen total y el volumen útil del vaso de expansión.

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

Siendo:

- $P_M$  : Presión máxima
- $P_m$  : Presión mínima

Para el cálculo de la presión absoluta máxima partimos de la presión de tarado de la válvula de seguridad. Dicha presión de tarado deberá ser menor o igual que la presión máxima de servicio del elemento menos resistente de la instalación.

Una expresión válida es la siguiente, consistente en considerar el 90% de la presión de tarado de la válvula de seguridad (manométrica) y pasarla a presión absoluta, la presión de tarado de la válvula estará entre 6 y 10 bar:

$$P_M = 0,9 * P_{vs} + 1 = 10 \text{ bar}$$

$$P_{vs} = 10 \text{ bar}$$

Por su parte la presión mínima será igual a la presión absoluta de llenado en el punto donde se instala el vaso. Sumamos uno para pasar presiones manométricas en bar a presiones absolutas y añadimos un factor de seguridad, en este caso 0,5:

$$P_m = P_0 + 1 + 0.5 = 2,24 \text{ bar}$$

La presión de llenado es igual a la diferencia de altura entre la situación del vaso de expansión y el punto donde se sitúa la instalación, en nuestro caso la diferencia es de 7 metros y 40 centímetros.

$$P_0 = 0,74 \text{ bar}$$

Por lo tanto obtendremos que:

$$C_p = \frac{10}{10 - 2.24} = 1,29$$

$$V_{VExp} = V_{RE} * C_e * C_p = 188,64 * 1,29 * 0,056203 = 13,68 \text{ litros}$$

Por lo tanto se ha seleccionado un vaso de expansión de acorde al volumen necesario. Se ha seleccionado un vaso de expansión de la marca Ibaiondo Vaso de expansión 18 CMR con una capacidad para 18 litros.

## **2.9. Dimensionado de los equipos auxiliares**

Se procede al dimensionado del interacumulador auxiliar y la caldera eléctrica. Serán utilizados cuando los captadores solares que componen la instalación de energía solar térmica no puedan aportar la demanda total que requiere dicho edificio.

En este sistema auxiliar también tendrán que ser dimensionados tanto la bomba auxiliar que impulsa el fluido en dicho sistema como el vaso de expansión y la alimentación de gas natural que la caldera de condensación necesita para generar el calor suficiente para calentar la cantidad demandada de agua por el edificio.

### **2.9.1. Dimensionado del interacumulador auxiliar**

Primero ha de calcularse el caudal instantáneo que tendría soportar el interacumulador auxiliar en el caso en el que la instalación no genere la energía suficiente para hacer frente a la demanda del edificio.

Para ello debemos atender a la norma UNE 149201:2017, en la cual están estipulados los caudales instantáneos mínimos de cada uno de los elementos que consumen agua.

La temperatura  $T_{ACS}$  se ha elegido en base a lo establecido la norma UNE 149201:2017 e igualmente establecida en la norma DB-HS4 "Suministro de agua en edificios de vivienda". En la segunda norma expuesta se establece la temperatura de ACS entre 50 y 65 °C, mientras que en la norma UNE 149201:2017 se establece que para temperaturas menores de 60°C serán mayores los caudales de cada uno de los aparatos seleccionados. Por lo que la temperatura que se fija es de 60°C.

**Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato**

<b>Tipo de aparato</b>	<b>Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm<sup>3</sup>/s]</b>
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Tabla 18. Tabla de caudales instantáneos mínimos según norma UNE 149201:2017

En la residencia de estudiantes se contabilizan los siguientes elementos:

- Lavabo: 130 unidades
- Ducha: 106 unidades
- Bañera: 1 unidad
- Inodoro: 144 unidades
- Lavavajillas: 2 unidades
- Lavadora: 6 unidades
- Grifo de garaje: 4 unidades
- 

$$Q_t = \sum_{i=1}^7 q_i * n_i = 42.6 \frac{dm^3}{s}$$

Siendo:

- $q_i$  : el caudal instantáneo mínimo para cada aparato
- $n_i$  : el número de unidades de cada uno de los aparatos

Determinación del caudal de cálculo o caudal simultáneo según apartado 5 de la Norma UNE 149201:2017				
Tipo de edificación	$Q_t > 20 \text{ l/s}$	$Q_t \leq 20 \text{ l/s}$		
		Si todo $Q_{\min} < 0,5 \text{ l/s}$	Si algún $Q_{\min} \geq 0,5 \text{ l/s}$	
			$Q_t \leq 1 \text{ l/s}$	$Q_t > 1 \text{ l/s}$
Edificios de viviendas	$Q_c = 1,7 \times (Q_t)^{0,21} - 0,7$	$Q_c = 0,682 \times (Q_t)^{0,45} - 0,14$	$Q_c = Q_t$	$Q_c = 1,7 \times (Q_t)^{0,21} - 0,7$
Edificios de oficinas, estaciones, aeropuertos	$Q_c = 0,4 \times (Q_t)^{0,54} + 0,48$			
Edificios de hoteles, discotecas, museos	$Q_c = 1,08 \times (Q_t)^{0,5} - 1,83$	$Q_c = 0,692 \times (Q_t)^{0,5} - 0,12$	$Q_c = Q_t$	$Q_c = (Q_t)^{0,366}$
Edificios de centros comerciales	$Q_c = 4,3 \times (Q_t)^{0,27} - 6,65$			
Edificios de hospitales	$Q_c = 0,25 \times (Q_t)^{0,65} + 1,25$			

Tipo de edificación	$Q_t > 20 \text{ l/s}$	$Q_t \leq 20 \text{ l/s}$		
		$Q_t \leq 1,5 \text{ l/s}$	$Q_t > 1,5 \text{ l/s}$	
Edificios de escuelas, polideportivos	$Q_c = -22,5 \times (Q_t)^{0,5} + 11,5$	$Q_c = Q_t$	$Q_c = 4,4 \times (Q_t)^{0,27} - 3,41$	

Donde:

$Q_t$  es el caudal total instalado (suma de los caudales mínimos de cada aparato  $Q_{\min}$  según la tabla 2.1 del DB HS4)

$Q_c$  es el caudal simultáneo de cálculo

Tabla 19. Determinación del caudal simultáneo según la norma UNE 149201:2017

La residencia de estudiantes es considerada como edificio de viviendas y junto con el anterior cálculo de caudal instantáneo que es  $Q_t > 20 \frac{\text{l}}{\text{s}}$  se obtiene que la ecuación para calcular el caudal simultáneo:

$$Q_c = 1,7 * Q_t^{0,21} - 0,7 = 3.0379 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

El cálculo del volumen del interacumulador auxiliar se realizará para unos 20 minutos, tiempo estimado para el funcionamiento del equipo auxiliar:

$$Q_c = 3.0379 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * 20 \text{ min} = 3645,48 \text{ L}$$

Se elige un interacumulador para el sistema auxiliar de la empresa Lapesa, el interacumulador tendrá 4000 L, siendo el modelo MVV-4000-SB.

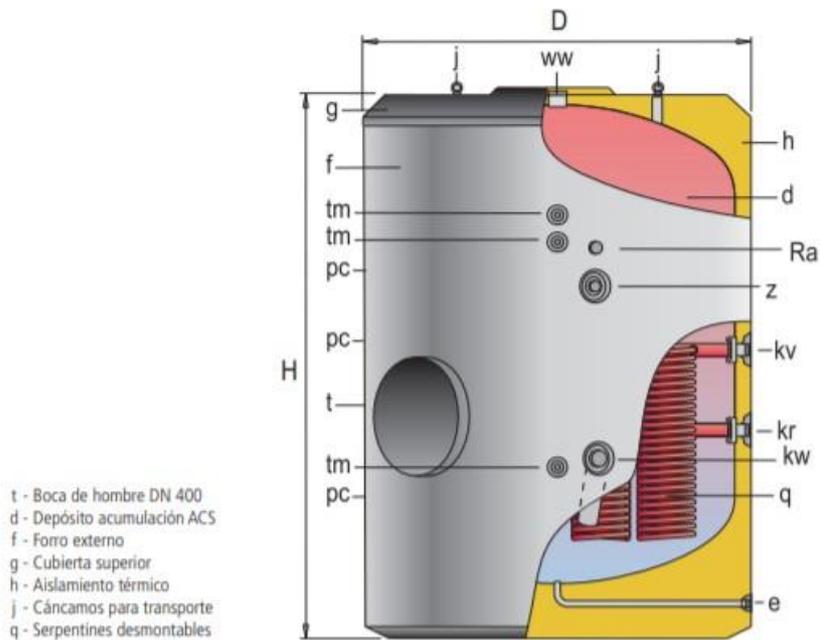


Figura 46. Interacumulador sistema auxiliar Lapesa

## 2.9.2. Dimensionado de la caldera de condensación

Las calderas de condensación son calderas de gas que aprovechan el calor generado al enfriar el vapor de agua contenido en los humos de la combustión, antes de que éstos se vayan por la chimenea. En las calderas tradicionales, estos humos se van directamente por la chimenea sin aprovechar su poder calorífico.

Este calor recuperado se utiliza para precalentar el agua que retorna más fría del circuito de calefacción y se termina de calentar el quemador de la caldera, necesitando así menos cantidad de gas.

$$P_{caldera} = Q_c * C_p * \frac{T_{ACS} - T_{AF}}{t_{preparación}}$$

Siendo:

- $P_{caldera}$  : Potencia útil de la caldera
- $Q_c$  : Volumen del interacumulador auxiliar (litros).
- $C_p$  : Calor específico del agua
- $T_{ACS}$  : Temperatura del agua caliente sanitaria (°C)
- $T_{AF}$  : Temperatura del agua fría (°C), la más desfavorable de la tabla 4.
- $t_{preparación}$  : tiempo de preparación, se supone 1 hora y 30 min.

$$P_{caldera} = 4000 * 4,18 * \frac{60 - 12}{5400} = 148,62 \text{ kW}$$

La temperatura  $T_{ACS}$  se ha elegido en base a lo establecido la norma UNE 149201:2017 e igualmente establecida en la norma DB-HS4 "Suministro de agua en edificios en edificios de vivienda". En la segunda norma expuesta se establece la temperatura de ACS entre 50 y 65 °C, mientras que en la norma UNE 149201:2017 se establece que para temperaturas menores de 60°C serán mayores los caudales de cada uno de los aparatos seleccionados.

Tras conocer la potencia útil de la caldera, se debe introducir un coeficiente de seguridad sobre dicho valor para tener en cuenta las pérdidas térmicas que se pueden producir durante el suministro de agua caliente sanitaria como pérdidas que se pueden producir en el interacumulador auxiliar.

$$P_{caldera\_real} = 1.3 * P_{caldera} = 193,21 \text{ kW}$$

La caldera de condensación seleccionada es Condens 7000 F de la marca Grupo Bosch con una potencia de 200 kW, de esta forma es posible calentar los litros de agua necesarios para el correcto funcionamiento del sistema auxiliar de la instalación. Esta caldera tendrá un salto de temperatura de 20°C, 80/60.



Figura 47. Caldera de condensación de Grupo Bosch

### **2.9.3. Dimensionado de la bomba auxiliar**

Para dimensionar dicha bomba debe de tenerse en cuenta la potencia de la caldera seleccionada y el salto de temperatura que se obtiene en dicha caldera.

Por lo tanto se debe hacer uso de la siguiente fórmula para obtener el caudal de agua que debe mover dicha bomba:

$$P_{caldera} = m * C p_w * \Delta_t$$

Siendo:

- $P_{caldera}$  : Potencia útil de la caldera, kW.
- $m$  : Caudal de agua, l/s.
- $Cp_w$  : Calor específico del agua, 4,19 kJ/K\*kg.
- $\Delta_t$  : Salto de temperatura en la caldera, nuestro caso es 20.

$$m = 2,136 \frac{l}{s} = 7.689,74 l/h$$

Con dicho caudal las tuberías deberán de ser de 1,75", junto con las válvulas y las tuberías y equipos se genera una pérdida de carga de 9,2 kPa. Tras calcular el caudal que debe desplazar la bomba, se procede a la selección de la misma. Se ha seleccionado una bomba de la empresa Wilo. A partir de la curva característica de la bomba se obtiene el modelo que cumple los requisitos.

La bomba auxiliar elegida será Wilo-Stratos-Z-40 que se adecua a la exigencias de la instalación.

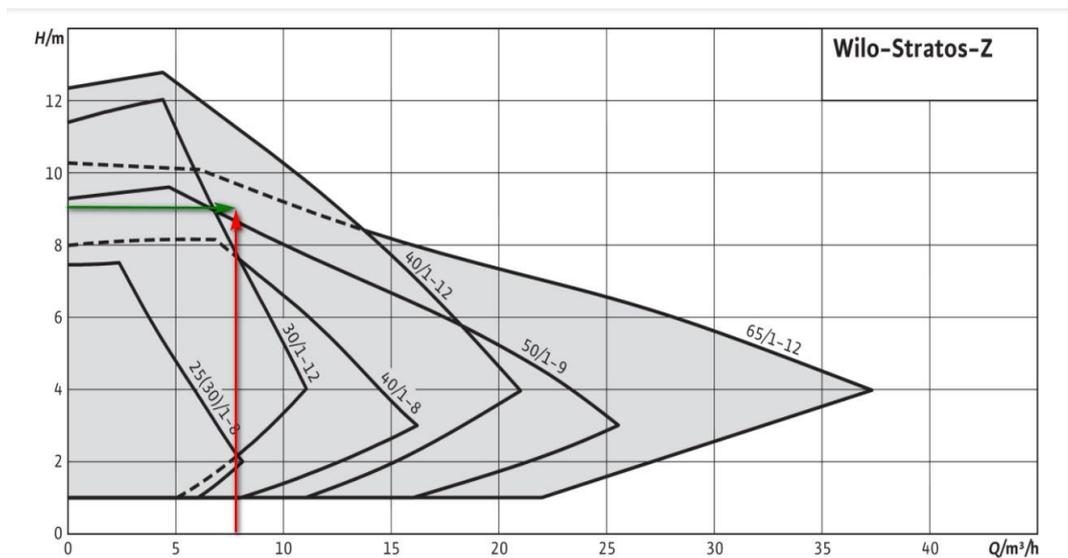


Figura 48. Selección de la bomba del sistema auxiliar

#### 2.9.4. Dimensionado del vaso de expansión auxiliar

$$V_{VExp} = V_{RE} * C_e * C_p$$

- Volumen total

El volumen total para el cálculo del volumen del vaso de expansión se compone de la suma del volumen de la red de tuberías, volumen del serpentín del interacumulador auxiliar y de la caldera.

$$V_{RE} = V_{RT} + V_S + V_C$$

Siendo:

- $V_{RT}$  : Volumen de la red de tuberías
- $V_S$  : Volumen del serpentín del interacumulador auxiliar
- $V_C$  : Volumen de la caldera

- Volumen de tuberías:

$$V_{RT} = L * \pi * \frac{D_i^2}{4} = 8.11 * \pi * \frac{0,03175^2}{4} = 0,012585m^3$$

$$V_{RT} = 12,59 \text{ litros}$$

- Volumen del serpentín del interacumulador auxiliar:

$$V_S = 38 \text{ litros}$$

- Volumen de la caldera:

$$V_C = 33,6 \text{ litros}$$

- **Coefficiente de expansión**

Se calcula el coeficiente de expansión para la temperatura más desfavorable, 120 °C.

$$C_e = (3,24 \cdot T^2 + 102,13 \cdot T - 2708,3) \cdot 10^{-6}$$

$$C_e = 0,056203$$

- **Coefficiente de presión**

Este coeficiente, es siempre positivo y mayor que la unidad, representa la relación entre el volumen total y el volumen útil del vaso de expansión.

$$C_p = \frac{10}{10 - 2.24} = 1,29$$

$$V_{VExp} = V_{RE} * C_e * C_p = 84,19 * 1,29 * 0,056203 = 6,1 \text{ litros}$$

Por lo tanto se ha seleccionado un vaso de expansión de acorde al volumen necesario. Se ha seleccionado un vaso de expansión de la marca Ibaiondo Vaso de expansión 8 CMR con una capacidad para 8 litros.

## **2.9.5. Dimensionado de la alimentación del gas a caldera**

Para el cálculo del caudal de alimentación del gas a la caldera se deben tener varios factores en cuenta: el rendimiento que tiene la caldera, el poder calorífico inferior del gas natural, que es el combustible utilizado para generar la combustión y que se genere el calor suficiente para calentar el agua, y la potencia que tiene dicha caldera.

La fórmula utilizada para el cálculo del caudal es la siguiente:

$$\eta = \frac{P_{caldera}}{PCI * m_{cble}}$$

Siendo:

- $\eta$  : Rendimiento de la caldera, 1,053 (105,3%)
- $P_{caldera}$  : Potencia de la caldera, 200 kW
- $PCI$  : Poder calorífico inferior, 34,6 kJ/kg de cble
- $m_{cble}$  : caudal de combustible,  $m^3/kg$

$$m_{cble} = \frac{200 \frac{kJ}{s} * 3600 \frac{s}{h}}{34,6 \frac{MJ}{kg} * 1000 \frac{kJ}{MJ} * 0,737 \frac{kg}{m^3} * 1,053} = 26,81 \frac{m^3}{h}$$

## **2.10. Cálculo de espesor del aislamiento**

### **2.10.1. Espesor de aislamiento para red de tuberías**

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Industria (RITE) en su apartado IT1.2.4.2.1. Aislamiento térmico de redes de tuberías fija las condiciones que deben cumplirse para aislar los distintos tramos de tuberías que componen el circuito primario de la instalación.

El aislamiento de las tuberías se realiza debido a diferentes factores:

- Reducción de las pérdidas energéticas.
- Evitar condensaciones en la superficie de las tuberías.
- Reducción de riesgos, evitando el contacto con superficies calientes.
- Reducción de posibles congelaciones en tuberías en exteriores de los edificios.
- Minimizar un posible incremento de temperatura en el agua de consumo humano.

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

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

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

Tabla 21. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios

Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (°C)		
	> -10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	30	25	20
$35 < D \leq 60$	40	30	20
$60 < D \leq 90$	40	30	30
$90 < D \leq 140$	50	40	30
$140 < D$	50	40	30

Tabla 22. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el interior de edificios

Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (C)		
	> -10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	50	45	40
$35 < D \leq 60$	60	50	40
$60 < D \leq 90$	60	50	50
$90 < D \leq 140$	70	60	50
$140 < D$	70	60	50

Tabla 23. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el exterior de edificios

Al no ser imprescindible un mayor aislamiento en las tuberías que transportan agua fría a los captadores, se supondrán los mismos aislamientos que para las tuberías de agua caliente. Esto es debido a que el cometido de la instalación es el aumento de temperatura de la misma y por lo tanto se adopta la medida anteriormente expuesta.

Una vez dimensionada la red de tuberías y obtenidos los diámetros de las tuberías y atendiendo a las tablas que recoge el RITE y que se exponen anteriormente, se pueden fijar los correspondientes aislamientos para cada uno de los tramos de tuberías.

Cabe destacar que al ser un circuito cerrado y continuo el RITE obliga a incrementar en 5 mm el espesor seleccionado para cada tubería.

- En el tramo 1, tendremos una parte que discurre por el interior del edificio y el resto por el exterior. En los que 56,49 m son interiores por lo tanto al tener un diámetro de tubería de 1,25" el aislamiento de 30 mm. En los 20,42 m restantes, que discurren por el exterior del edificio y al igual que todo el tramo tiene un diámetro de 1,25", el aislamiento que se debe poner es de 40 mm.
- En el tramo 2 discurre completamente todo el tramo por el exterior y el diámetro de las tuberías de 0,75", el aislamiento que se fija a la tubería es de 40 mm.
- El tramo 3 que transporta fluido discurre completamente todo el tramo por el exterior y el diámetro de las tuberías de 1", el aislamiento que se fija a la tubería es de 40 mm.
- En el tramo 4 discurre completamente todo el tramo por el exterior y el diámetro de las tuberías de 0,75", el aislamiento que se fija a la tubería es de 40 mm.
- En el tramo 5 discurre completamente todo el tramo por el exterior y el diámetro de las tuberías de 0,75", el aislamiento que se fija a la tubería es de 40 mm.
- En el tramo 6 discurre completamente todo el tramo por el exterior y el diámetro de las tuberías de 1", el aislamiento que se fija a la tubería es de 40 mm.
- En el tramo 7, tendremos una parte que discurre por el interior del edificio y el resto por el exterior. En los que 56,99 m son interiores por lo tanto al tener un diámetro de tubería de 1,25" el aislamiento de 30 mm. En los 20,91 m restantes, que discurren por el exterior del edificio y al igual que todo el tramo tiene un diámetro de 1,25", el aislamiento que se debe poner es de 40 mm.

### **2.10.2. Espesor de aislamiento para depósito de acumulación**

Los depósitos de acumulación generalmente son suministrados por la empresa proveedora con sus respectivos aislamientos para minimizar las pérdidas caloríficas y de esta manera tener el mayor ahorro energético posible.

Se ha seleccionado Master Vitro MVV-3500-RB que es un depósito de acumulación de Lapesa. Estos vienen provistos de un aislamiento térmico de fábrica, están aislados con espumarígida de poliuretano PU inyectada en molde, de 80 mm de espesor, con pieza aislante del mismo material en la BH DN400 lateral.

### **2.10.3. Espesor de aislamiento para vaso de expansión**

Para una conductividad térmica de  $\lambda=0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ , será como mínimo de 30 mm de espesor. El aislamiento debe ir recubierto de pintura tipo asfáltica, clorocaucho o similar.

El modelo elegido en nuestra instalación está homologado y es diseñado de acuerdo a la normativa actual.

### **2.10.4. Espesor de aislamiento para intercambiador de calor**

Teniendo en cuenta la temperatura de trabajo del equipo y su localización interior, el aislamiento para un material con conductividad térmica de  $0,003 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  será de 20 mm. Será un aislante de la empresa Maquituls, el material aislante es poliuretano de espuma rígida y soporta temperaturas hasta  $180 \text{ °C}$ .

## **2.11. Selección de accesorios**

Para el correcto funcionamiento de la instalación de energía solar térmica deben de introducirse una serie de accesorios, cuya función es:

- Válvulas de retención: se sitúa una en el grupo de bombeo del circuito primario.
- Válvula de seguridad: situadas en vaso de expansión, acumulador e interacumulador auxiliar.
  
- Válvulas de corte: se seleccionan de los diámetros correspondientes según donde se dispongan, se situarán en:
  - Entrada y salida del conjunto de captadores.
  - Entrada y salida de acumuladores.
  - Entrada al grupo de bombeo primario.
  - Entrada y salida del interacumulador y conexión con el sistema auxiliar.
- Purgador automático: Situado a la salida del vaso de expansión y del campo solar.
- Purgador de aire: situado a la entrada y salida de la batería de captadores.
- Filtros: situados en la entrada de agua de acometida
- Sistema de llenado y vaciado: se disponen en la instalación para mantener presión de trabajo constante y la temperatura de los captadores dentro de los límites de seguridad.

# 3 PLIEGO DE CONDICIONES

---

## 3.1 Objetivo de los pliegos

La finalidad del pliego de condiciones técnicas es explicar y asegurar la puesta en práctica de los criterios generales de la instalación de captadores solares de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria, situada en el barrio de la Vega de Acá en la ciudad de Almería.

Hay que definir los diferentes equipos y materiales para llevar a cabo la instalación. De igual manera, hay que definir el montaje de cada uno de los equipos y los ensayos parciales para comprobar el correcto funcionamiento, detallando su mantenimiento.

## 3.2 Normativa

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

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

- Normas como las UNE de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), normas NTE del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo o de las Compañías suministradores de energía eléctrica, etc. En ocasiones, a falta de normativa española, podrán utilizarse de organismos internacionales, como CER, ISO, etc.

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

### **3.3 Condiciones de materiales y equipos**

#### **3.3.1. Captadores**

##### **3.3.1.1 Generalidades**

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

- Nombre del fabricante.
- Tipo.
- Número de serie.
- Año de fabricación.
- Superficie total del captador.
- Dimensiones del captador.
- Presión máxima de trabajo.
- Temperatura de estancamiento a 1000 W/m<sup>2</sup> y 30°C.
- Volumen del fluido de transferencia de calor.
- Peso del captador vacío.
- Lugar de fabricación.

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

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

La instalación de sistemas integrados en cubierta se debería realizar mediante procedimiento acreditado por el fabricante y de forma que se garanticen las características funcionales y de durabilidad del conjunto. Los datos para la caracterización térmica, hidráulica y mecánica del captador Solar deberían proceder de los resultados del ensayo realizado conforme a la norma UNE 12975. A estos efectos, es importante señalar que la función de rendimiento del captador siempre está relacionada con una superficie útil y un caudal de ensayo.

### **3.3.1.2. Modelo de captador**

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

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

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

### **3.3.1.3. Estructura soporte y sujeción del captador**

La estructura soporte cumplirá los requisitos establecidos en el CTE-SE. Todos los materiales de la estructura soporte se deberían proteger contra la acción de los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la acción combinada del aire y el agua.

Las estructuras de acero deberían protegerse mediante galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas de zinc o tratamientos anticorrosivos equivalentes. La realización de taladros en la estructura se debería llevar a cabo antes de proceder al galvanizado o protección de la estructura. La tornillería y piezas auxiliares deberían estar protegidas por galvanizado o cincado, o bien serán de acero inoxidable.

### **3.3.2. Válvulas**

- Generalidades

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

La elección de las válvulas se realizará, de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura).

Siguiendo los siguientes criterios:

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

Las válvulas de seguridad, por su importante función, deberían ser capaces de derivar la potencia máxima del captador o grupo de captadores, incluso en forma de vapor, de manera que en ningún caso sobrepase la máxima presión de trabajo del captador o del sistema. Los purgadores automáticos resistirán las presiones y temperaturas máximas alcanzables en el circuito correspondiente. Los del circuito primario se recomienda que resistan, al menos, temperaturas de 150°C.

- Materiales

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

- Válvulas de esfera:

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

- Válvulas de asiento:

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

- Válvulas de seguridad de resorte:

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

- Válvulas de retención de capeta:

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

- Válvulas de retención de muelle:

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

- Purgadores automáticos de aire:

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

### **3.3.3. Vasos de expansión**

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

- Fabricante
- Marca
- Modelo

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

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

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

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

### **3.3.4. Bombas**

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

- Fabricante
- Marca
- Modelo
- Características eléctricas

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

- Cuerpo en fundición o bronce. Partidos, o no, según planos. Se incluirán conexiones para cebado, venteo, drenaje y manómetros en impulsión y descarga.
- Rodete de fundición/polysulfone o bronce.
- Eje en acero inoxidable AISI 316.
- Tubo de estanqueidad en acero inoxidable.
- Cojinetes a bolas de carbono, a prueba de polvo y humedad.
- Cierres Mecánicos: todas las bombas deberán de estar provistas con cierres mecánicos y separadores de sedimentos.
- Juntas torcas de EPDM.
- Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.
- Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto.
- Motor de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220V/1~ o 220/380V/ 3~, 50 Hz,
- IP.44 clase F.
- Presión de aspiración 2 maca. para 82 °C.
- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, número de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.

- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

### **3.3.5. Acumuladores**

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

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

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

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

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

Los depósitos vendrán equipados de fábrica con las bocas necesarias soldadas antes de efectuar el tratamiento de protección interior. Al objeto de este pliego de condiciones podrán utilizarse depósitos de las siguientes características y tratamientos:

- Depósitos de acero galvanizado en caliente de cualquier tamaño, con espesores de galvanizado no inferiores a los especificados en la Norma UNE 37.501.
- Depósitos de acero con tratamiento epoxi dicó.
- Depósitos de acero inoxidable de cualquier tamaño.
- Depósitos de cobre de cualquier tamaño.

- Acumuladores no metálicos que, además de soportar las condiciones extremas del circuito, resistan la acción combinada de presión y temperatura más desfavorable y este autorizada su utilización por la Administración Competente.

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

### **3.3.6. Intercambiadores de calor**

Los intercambiadores de calor serán de acero inoxidable AISI 316 L. El Intercambiador seleccionado resistirá la presión máxima de la instalación. Los Materiales soportarán temperaturas de 110 o y serán compatibles con el fluido de trabajo.

#### **3.3.6.1. Intercambiadores externos**

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

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

Se podrán utilizar intercambiadores de placas desmontables o electro soldadas. El Material de las placas será acero inoxidable o cobre.

### **3.3.7. Sistema eléctrico y de control**

La instalación eléctrica y de control cumplirá con el vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) en todos los puntos que sean de aplicación.

Se construirá un cuadro eléctrico específico para la instalación solar, los cuales deben seguir los requisitos de las especificaciones comprendidas en el REBT y con las recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

El sistema de control consistirá en un controlador digital programable e incorporará una adquisición de datos de la instalación en tiempo real, tele gestionable a distancia a través de un modem ya incorporado.

Los datos a chequear serán: caudales, temperaturas en captadores, acumuladores, potencia y energía inyectadas en cada servicio y número de horas de funcionamiento de las bombas.

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

- El usuario estará protegido contra posibles contactos directos e indirectos.
- El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.
- El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superiores a la de congelación del fluido.
- Activar la bomba de circulación en función del salto de temperatura entre la salida de la batería de captadores y la parte baja del acumulador.
- La localización e instalación de los sensores de temperatura deberá asegurar un buen contacto térmico con la parte en la cual hay que medir la misma.
- La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que detecten exactamente las temperaturas que se desean controlar, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los colectores y las zonas de estancamiento.
- La precisión de los sistemas de control y la regulación de los puntos de consigna asegurará que en ningún caso las bombas estén en marcha con diferencias de temperaturas menores de 2 o ni paradas con diferencias superiores a 7 °C.
- La diferencia de temperatura entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial no será inferior a 2 °C.
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.
- El rango de temperatura ambiente de funcionamiento del sistema de control estará, como mínimo, entre -10 °C y 50 °C.
- El tiempo mínimo entre fallos especificados por el fabricante del sistema de control diferencial no será inferior a 7000 horas.

### **3.3.8. Aparatos de medida**

- Medida de temperatura

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

Las diferencias de temperatura del fluido de trabajo se realizarán mediante termopilas, termómetros de resistencia (conectados en dos brazos de un circuito en Puente) o termopares emparejados, de forma que la señal de salida sea única en todos los casos.

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

- Medida de caudal

La medida de caudales de líquidos se llevará a cabo mediante turbinas, medidores de flujo magnético, medidores de flujo de desplazamiento positivo o procedimientos gravimétricos, de forma que la precisión sea igual o superior a 3% en todos los casos.

Cuando exista un sistema de regulación exterior, este estará precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas.

Se suministrarán los siguientes datos, que deberán ser facilitados por el fabricante:

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

- Medida de energía térmica.

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

- Contador de agua, descrito anteriormente.
- Dos sondas de temperatura.
- Microprocesador electrónico, montado en la parte superior del contador o separado.

La posición del contador y de las sondas define la energía térmica que se medirá, la de instalación solar o la energía del sistema auxiliar. Las sondas se dispondrán en la entrada y la salida del sistema auxiliar para obtener su energía térmica. Mientras que para poder conocer la energía de la instalación solar se debe ubicar una sonda a la entrada del agua fría del acumulador solar y en la salida del agua caliente de este.

El microprocesador podrá estar alimentado por la red eléctrica o mediante pilas, con una duración de servicio mínima de 3 años. El microprocesador multiplicará la diferencia de ambas temperaturas por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionará la cantidad de energía.

- Medida de presión

Se harán con manómetros equipados con dispositivos de amortiguación de las oscilaciones de la aguja indicadora.

El equipamiento mínimo de aparatos de medición será el siguiente:

- Vasos de expansión: un manómetro.
- Bombas: un manómetro para la lectura de la diferencia de presión entre aspiración y descarga de cada bomba.
- Intercambiadores de calor: manómetros a la entrada y a la salida.

### **3.3.9 Aislamiento**

El material usado como aislamiento debería cumplir con la norma UNE 100171. El material aislante situado a la intemperie debería protegerse adecuadamente frente a los agentes atmosféricos de forma que se evite su deterioro. Como protección del material aislante se podrá utilizar una cubierta o revestimiento de escayola protegido con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio.

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

### **3.3.10 Tuberías y accesorios**

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

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

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

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

- Accesorios:
- Compensadores de dilatación.

Se utilizarán en los circuitos de agua caliente.

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

La situación será siempre entre dos puntos fijos garantizados como tales, capaces de soportar los esfuerzos de dilatación y de presión que se originan. Los extremos del compensador serán de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chafán de 37o 30' y un talón de 1,6 mm cuando el diámetro nominal de la tubería sea de hasta 2" inclusive. Para tuberías de diámetro superior, las conexiones serán por medio de bridas en acero al carbono s/normas DIN 2502 o 2503, según las presiones sean de 6 y 10 o 16 Kg/cm<sup>2</sup>. Estas bridas irán soldadas a los cuellos del compensador por los procedimientos recomendados para la soldadura de piezas en acero al carbono de espesores medios.

- Juntas:

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

- Lubricante de roscas.

General: no endurecedor, no venenoso. Acoplamientos dieléctricos o latiguillos. Se incluirán acoplamientos dieléctricos o latiguillos en las uniones entre cobre y acero o fundición, tanto en la conducción de impulsión, como en el retorno

- Derivaciones:

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

- Codos en bombas:

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

- Sombreretes:

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

- Guías:

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

- Termómetros:

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

- Manómetros:

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

- Válvulas de seguridad:

Se incluirán todas las válvulas de seguridad indicadas, o necesarias (de tarado Adecuado) para un funcionamiento completamente seguro y correcto de los sistemas. Durante el periodo de pruebas de la instalación se procederá al timbrado de las mismas. Las válvulas de seguridad de alivio serán de paso angular y carga por resorte. Serán adecuadas para condiciones de trabajo de 0 a 120 °C y hasta 25 kg/cm<sup>2</sup>. Los materiales de fabricación serán bronce RG-5 para el cuerpo, vástago, tornillo de fijación, tuerca deflectora y la tobera, latón para el cabezal y obturador, acero cadmiado para el resorte Y PTFE para la junta.

- Purgadores de aire:

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

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

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

- Vaciados:

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

- Conexiones a equipos:

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

### **3.4 Provisión del material**

Los componentes instalados deberán ser de marcas acreditadas y en su caso homologados, para que ofrezcan las máximas garantías posibles. Se dispondrá de un lugar adecuado y seguro para almacenar los materiales y elementos de la instalación hasta el momento en que estos vayan a ser puestos en obra.

Los captadores, 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°.

### **3.5 Condiciones de montaje**

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

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

#### **3.6.1 General**

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

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

#### **3.6.2 Pruebas parciales**

Todas las pruebas estarán precedidas de una comprobación de los materiales al momento de su recepción a obra. Durante la ejecución de obra, todos los tramos de tubería, uniones o elementos que vayan a quedar ocultos, deberían ser expuestos para su inspección y debería quedar expresamente aprobado su montaje antes de quedar ocultos. Adicionalmente, se inspeccionarán los soportes de tubería utilizados, los diámetros, trazados y pendientes de tuberías, la continuidad de los aislamientos, etc.

- Pruebas de equipos

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

- Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas

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

- Pruebas de libre dilatación

Una vez que las pruebas anteriores de las redes de tuberías hayan resultado satisfactorias y se haya comprobado hidrostáticamente el ajuste de los elementos de seguridad, las instalaciones equipadas con captadores solares se llevarán hasta la temperatura de estancamiento de los elementos de seguridad, habiendo anulado previamente la actuación de los aparatos de regulación automática. Durante el enfriamiento de la instalación y al finalizar el mismo, se comprobará visualmente que no hayan tenido lugar deformaciones apreciables en ningún elemento o tramo de tubería y que el sistema de expansión haya funcionado correctamente.

### **3.6.3 Pruebas finales**

Las pruebas finales permitirán garantizar que la instalación reúne las condiciones de calidad, fiabilidad y seguridad exigidas en proyecto. Son aceptables, las pruebas finales que se realicen siguiendo las instrucciones indicadas en la norma UNE-EN 12599. Las pruebas de libre dilatación y las pruebas finales de la instalación solar se realizarán en un día soleado y sin demanda. En la instalación solar se llevará a cabo una prueba de seguridad en condiciones de estancamiento del circuito primario, a realizar con este lleno y la bomba de circulación parada, cuando el nivel de radiación sobre la apertura del captador sea superior al 80% del valor de irradiación que defina como máxima el proyectista, durante al menos una hora.

### **3.6.4. Ajustes y equilibrado**

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

- Sistemas de distribución de agua

Se comprobará que el fluido anticongelante contenido en los circuitos expuestos a heladas cumple con los requisitos especificados en el proyecto. Cada bomba, de la que se debería conocer la curva característica, debería ser ajustada al caudal de diseño, como paso previo al ajuste de los caudales en circuitos. De cada circuito hidráulico se deberían conocer el caudal nominal y la presión, así como los caudales nominales cada uno de los ramales.

Los distintos ramales, o los dispositivos de equilibrado de los mismos, serán equilibrados al caudal de diseño. Se debería comprobar el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales mediante el procedimiento previsto en el proyecto. De cada intercambiador de calor se deberían conocer la potencia, temperatura y caudales de diseño, debiéndose ajustar los caudales de diseño que lo atraviesan. Cuando exista más de un grupo de captadores solares en el circuito primario del subsistema de energía solar, se debería probar el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales de la instalación mediante el procedimiento previsto en el proyecto. Se comprobará el mecanismo del subsistema de energía solar en condiciones de estancamiento, así como el retorno a las condiciones de operación nominal sin intervención del usuario con los requisitos especificados en el proyecto.

- Control automático

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

### **3.6.5. Recepción**

- Recepción provisional

El objeto de la recepción es comprobar que la instalación está de acuerdo con los servicios contratados y que se ajusta, por separado cada uno de sus elementos y globalmente, a lo especificado en el proyecto. Una vez realizadas las pruebas funcionales con resultados satisfactorios, se procederá al acto de recepción provisional de la instalación por parte de la propiedad, con lo que se da por finalizado el montaje de la instalación. El acto de recepción provisional 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, en la que se incluyen las bases de proyecto y los criterios adoptados para su desarrollo.
- Una copia reproducible de los planos definitivos, comprendiendo, como mínimo, los esquemas de principio de todas las instalaciones, los planos de sala de máquinas y los planos de plantas donde se debería indicar el recorrido de las conducciones y la situación de las unidades terminales.

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

Desde el acta de recepción provisional, la propiedad podrá y deberá notificar cualquier incidencia en el funcionamiento de la instalación. Transcurrido el plazo estipulado desde el acta de recepción, la recepción provisional se transformara en recepción definitiva. A partir de la recepción definitiva entrará en vigor la garantía.

### **3.7 Mantenimiento**

Se basa en las condiciones generales que debe seguirse para el adecuado mantenimiento de las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria.

Se definen tres escalones de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma:

- Vigilancia.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

#### **3.7.1 Plan de vigilancia**

El plan de vigilancia se refiere a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Puede ser llevado a cabo por el usuario, siendo este asesorado por el instalador.

<i>Elemento de la instalación</i>	<i>Operación</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Captadores	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.
Circuito primario	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV - Ausencia de humedad y fugas.
	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín.
Circuito secundario	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 superior del depósito.

Tabla 24. Alcance de los planes de vigilancia

### **3.7.2 Plan de mantenimiento preventivo**

Ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento necesarias y sustitución de los elementos desgastados o fungibles para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

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

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

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

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Captadores	6	IV- Diferencias sobre original.
		IV- Diferencias entre captadores.
Cristales	6	IV- Condensaciones y suciedad.
Juntas	6	IV- Agrietamientos, deformaciones.
Absorbedor	6	IV- Corrosión, deformaciones.
Carcasa	6	IV- Deformación, oscilaciones, ventanas de respiración.
Conexiones	6	IV- Aparición de fugas.
Estructura	6	IV- Degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos.
Captadores (*)	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Llenado parcial del campo de captadores

Tabla 25. Plan preventivo sistema de captación.

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

Tabla 26. Plan preventivo sistema de acumulación.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Intercambiador de placas	12	CF - Eficiencia y prestaciones.
	12	Limpieza.
Intercambiador de serpentín	12	CF - Eficiencia y prestaciones.
	12	Limpieza.

Tabla 27. Plan preventivo sistema de intercambio.

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

Tabla 28. Plan preventivo circuito hidráulico.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está bien cerrado para que no entre polvo.
Control diferencial	12	CF - Actuación.
Termostato	12	CF - Actuación.
Verificación del sistema de medida	12	CF - Actuación.

Tabla 29. Plan preventivo sistema eléctrico y de control.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Sistema auxiliar	12	CF- Actuación.
Sondas de temperatura	12	CF- Actuación.

Tabla 30. Plan preventivo sistema de energía auxiliar.

Siendo:

CF: Control de funcionamiento

IV: Inspección visual

### **3.7.3 Mantenimiento correctivo**

Las actividades de mantenimiento correctivo no pueden estar sometidas a un plan, dado el carácter impredecible de estas acciones. Son operaciones que se realizan debido a la detección por anomalías o fallo en el funcionamiento de la instalación.

Los costes económicos forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento. Pueden no estar incluidas la mano de obra ni reposiciones necesarias de equipos.

# 4 PRESUPUESTO

- **4.1. Sistema de captación**

Descripción	Precio unitario (€)	Cantidad	Unidades	Precio (€)
<u>Captador solar</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Termicol o similar</li> <li>- Modelo : T-10S o similar</li> <li>- Dimensiones : 2130x1200 mm</li> <li>- Área de apertura : 2.4 m<sup>2</sup></li> <li>- Peso: 38 kg</li> <li>- Capacidad : 1.05 litros</li> <li>- Coef. pérdida K1 : 4.1 W/Km<sup>2</sup></li> <li>- Coef. pérdida K2 : 0.001 W/Km<sup>2</sup></li> <li>- k50 : 0.88</li> <li>- Caudal de ensayo: 72 l/hm<sup>2</sup></li> <li>- Pérdida de carga : 3.0272 mbar</li> </ul>	768,00	30	Ud	23.040,00
<u>Estructura de soporte de captadores</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Termicol o similar</li> <li>- Modelo : EST5-T10 o similar</li> <li>- Inclinación 30 °</li> <li>- Estructuras para baterías de captadores en terraza plana.</li> <li>- Material : Acero galvanizado</li> </ul>	525,00	6	Ud	3.150,00
<u>Conexión batería de captadores</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Termicol o similar</li> <li>- Tipo : Batcapt o similar</li> <li>- Sistema de purga, seguridad y de cierre necesarios.</li> </ul>	120,00	40	Ud	4.800,00
<u>Conexión de adaptación</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Termicol o similar</li> </ul>	18,00	40	Ud	720,00

- Tipo: Racorbat o similar				
- Racores de adaptación				
Presupuesto total del sistema de captación .....				31.710,00

• **4.2. Sistema de acumulación**

Descripción	Precio unitario (€)	Cantidad	Unidades	Precio (€)
<u>Acumulador</u>	6.737,00	2	Ud	13.474,00
- Empresa : Lapesa o similar				
- Modelo: Master Vitro MVV-3500-RB o similar				
- Volumen : 3500 litros				
- Diámetro exterior : 1660 milímetros				
- Altura total : 2580 milímetros				
- Entrada de agua red : 3 pulgadas				
- Salida ACS : 3 pulgadas				
- Recirculación ACS : 2 pulgadas				
- Vaciado : 1 ½ pulgada				
- Conexión lateral : 2 pulgadas				
- Conexión "lapesa correx-up" : 1 ½ pulgada				
- Conexiones sensores : ¾ pulgada				
- Peso : 755 kilogramos				
Presupuesto total del sistema de acumulación.....				13.474,00

• **4.3. Sistema de intercambio**

Descripción	Precio unitario (€)	Cantidad	Unidad	Precio (€)
<u>Intercambiador de calor</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Alfa Laval o similar</li> <li>- Modelo: TL3-BFG/24M o similar</li> <li>- Potencia: 40 kW</li> <li>- T. primario: 50 → 40 °C</li> <li>- T.secundario: 15 → 45 °C</li> <li>- Caudal primario: 3.6 m³/h</li> <li>- Caudal secundario: 3.5 m³/h</li> <li>- Pérdida de carga en primario: 3,1 mca</li> <li>- Pérdida de carga en secundario: 3,3 mca</li> </ul>	1.687,00	1	Ud	1.687,00
<u>Aislamiento Intercambiador</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Maquituls o similar</li> <li>- Espesor : 20 mm</li> <li>- Conductividad térmica: 0,003 W/m·K</li> <li>- Material: Poliuretano de espuma rígida.</li> <li>- Temperatura máxima 180 °C</li> </ul>	74.95	1	Carcasa con aislamiento	74.95
Presupuesto total del sistema de intercambio.....				1.761,95

• **4.4. Sistema de hidráulico**

Descripción	Precio unitario (€)	Cantidad	Unidad	Precio (€)
<u>Bomba de circulación primario</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Wilo o similar</li> <li>- Modelo: Wilo-Stratos-Z25 o similar</li> <li>- Volumen máximo : 8,8 m3/h</li> <li>- Presión máx : 10 bar</li> <li>- Agua de calefacción: -10 °C a +110 °C</li> <li>- Alimentación eléctrica 1~230 V, 50/60 Hz</li> <li>- Peso neto : 5,3 kg</li> <li>- Caudal primario : 2.592 l/h</li> <li>- Consumo : 9 W</li> <li>- Potencia : 0,10 kW</li> <li>- Altura máx. impulsión: 8 m</li> </ul>	1.094,00	2	Ud	2188,00
<u>Bomba de circulación secundario</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa: Wilo o similar</li> <li>- Modelo : Wilo-Star-Z-20/7 o similar</li> <li>- Peso : 2,9 kg</li> <li>- Alimentación eléctrica 1~230 V, 50 Hz</li> <li>- Tipo de protección IP44</li> <li>- Diám. nominal Rp ½, Rp 1</li> <li>- Presión máx. 10 bar</li> <li>- Caudal secundario :2.592 l/h</li> <li>- Potencia : 57 W</li> <li>- Altura máx. impulsión: 6 m</li> </ul>	761,00	2	Ud	1522,00
<u>Vaso de expansión</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Ibaiondo o similar</li> <li>- Modelo : 18 CMR o similar</li> </ul>	30,84	1	Ud	30,84

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presión máxima : 10 bar</li> <li>- Temperatura máx: 100 °C</li> <li>- Temperatura min: -10 °C</li> <li>- Capacidad : 18 litros</li> <li>- Dimensiones : 270x415 mm</li> <li>- Peso : 3,5 kilogramos</li> </ul>				
<u>Tubería de cobre 0,75"</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa: Salvador Escoda o similar</li> </ul>	8,59	29,49	metro	253,32
<u>Tubería de cobre 1"</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa: Salvador Escoda o similar</li> </ul>	11,63	15,83	metro	184,10
<u>Tubería de cobre 1,25"</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa: Salvador Escoda o similar</li> </ul>	20,50	154,81	metro	3.183,61
<u>Codo 90 ° 0,75"</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa: Salvador Escoda o similar</li> <li>- Diámetro exterior: 22 mm</li> <li>- Modelo :Codo H-H 90°</li> </ul>	1,61	2	Bolsa 10 ud	3,22
<u>Codo 90 ° 1,25"</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa: Salvador Escoda o similar</li> <li>- Diámetro exterior: 35 mm</li> <li>- Modelo : Codo H-H 90°</li> </ul>	11,25	16	Ud	180
<u>Te reducida H-H-H 90°</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa: Salvador Escoda o similar</li> <li>- Modelo: Te reducida 35-28-28</li> </ul>	28,05	2	Ud	56,10
<u>Te reducida H-H-H 90°</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa: Salvador Escoda o similar</li> <li>- Modelo: Te reducida 28-22-22</li> </ul>	12,70	1	Bolsa 10 Ud	12,70

<u>Válvula de corte</u> - Empresa: Salvador Escoda o similar - Diámetro : 1,5" - Válvula de esfera - Presión max : 25 bar - Temp : -10/130 °C	30,60	26	Ud	795,6
<u>Válvula de corte</u> - Empresa: Salvador Escoda o similar - Válvula de esfera - Presión max : 25 bar - Temp : -10/130 °C	13,15	6	Ud	78,9
<u>Válvula de retención</u> - Empresa: Salvador Escoda o similar - Modelo:Sei Rosca 1-1/2"	17,74	5	Ud	88,7
<u>Válvula de seguridad</u> - Empresa: Salvador Escoda o similar - T. maxima : 120°C - Manómetro - Rosca 1-1/4"	133,99	3	Ud	401,97
<u>Aislamiento tubería 1,25"</u> - Empresa: Salvador Escoda o similar - Espesor 40 mm	18,35	41,33	metro	758,41
<u>Aislamiento tubería 1,25"</u> - Empresa: Salvador Escoda o similar - Espesor 32 mm	10,21	113,48	metro	1158,63
<u>Aislamiento tubería 1"</u> - Empresa: Salvador Escoda o similar	18,05	15,82	metro	285,55

- Espesor 40 mm				
<u>Aislamiento tubería 0,75"</u> - Empresa: Salvador Escoda o similar - Espesor 40 mm	15,44	29,5	metro	455,48
<u>Sistema de llenado y vaciado</u> - Empresa : Caldia Solar o similar - Modelo : Segursol Electrónico - Capacidad : 300 Litros (25-35 captadores) - Peso : 23 kg - Medidas: 1,64X0,61X0,61 m - Tensión de alimentación: 220/230 V	1.940,00	1	Ud	1.940,00
<u>Filtro</u> - Empresa : Genebre o similar - Medida : 1,25" - Material : Latón UNE-EN 12165 - Extremos rosca gar (BSP) H-H ISO 228/1 - Temperatura máx: 120 °C - Presión máx : 16 bar	23,61	1	Ud	23,61
<u>Purgador automático de aire</u> - Empresa : Genebre o similar - Cuerpo de latón - Flotador en PP - Junta de cierre elastómero - Extremo rosca macho - Presión máx : 16 bar - Temperatura máx : 120 °C	23,54	6	Ud	141,24
Presupuesto total del sistema hidráulico .....				13741,98

• **4.5. Sistema auxiliar**

Descripción	Precio unitario (€)	Cantidad	Unidad	Precio (€)
<u>Caldera de condensación</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Bosch o similar</li> <li>- Modelo:Condens 7000 F o similar</li> <li>- Potencia : 200 kW</li> <li>- Peso: : 210 kilogramos</li> <li>- Consumo eléctrico : 230 W</li> <li>- Dimensiones : 1317x670x1624 mm</li> <li>- Salto de temperatura : 80/60</li> <li>- Combustible : Gas natural</li> </ul>	12.100,00	1	Ud	12.100,00
<u>Interacumulador auxiliar</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Lapesa o similar</li> <li>- Modelo : MVV-4000-SB</li> <li>- Capacidad 4000 litros</li> <li>- Temp. Máx del deposito: 90°C</li> <li>- Presión máx : 8 bar</li> <li>- Peso : 980</li> <li>- Capacidad serpentines : 38 L</li> <li>- Temp. Máx calentamiento:120 °C</li> </ul>	11.098,00	1	Ud	11.098,00
<u>Tubería de cobre 1,75"</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Salvador Escoda o similar</li> </ul>	24,48	8,11	metro	198,53
<u>Aislamiento tubería 1,75"</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Salvador Escoda o similar</li> <li>- Espesor: 32 mm</li> </ul>	11,41	8,11	metro	92,54
<u>Válvula de seguridad</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Salvador Escoda o similar</li> </ul>	133,99	2	Ud	267,98

<ul style="list-style-type: none"> <li>- T. maxima : 120°C</li> <li>- Manómetro</li> <li>- Rosca 1-1/4"</li> </ul>				
<u>Válvula de retención</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Salvador Escoda o similar</li> <li>- Modelo:Sei Rosca 1-1/2"</li> </ul>	17,74	2	Ud	35,48
<u>Válvula de corte</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Salvador Escoda o similar</li> <li>- Válvula de esfera</li> <li>- Presión max : 25 bar</li> <li>- Temp : -10/130 °C</li> </ul>	13,15	8	Ud	105,2
<u>Termómetro</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Salvador Escoda o similar</li> <li>- Bimetálicos con vaina</li> <li>- Temp : 0-120 °C</li> <li>- Longitud : 100 mm</li> </ul>	17,29	1	Ud	17,29
<u>Manómetro</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Salvador Escoda o similar</li> <li>- Presión : 0 -10 bar</li> </ul>	13,44	1	Ud	13,44
<u>Vaso de expansión</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Ibaiondo o similar</li> <li>- Modelo : 8 CMR</li> <li>- Presión máxima : 10 bar</li> <li>- Capacidad : 8 litros</li> </ul>	22,84	1	Ud	22,84
<u>Bomba de circulación</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Wilo o similar</li> <li>- Modelo : Wilo Stratos Z 40 o similar</li> <li>- Agua calefacción: -10 °C 110 °C</li> <li>- Alimentación eléctrica 1~230 V, 50/60 Hz</li> </ul>	3.376,00	1	Ud	3.376,00

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de protección IP X4D</li> <li>- Conexión roscada o embridada (según el tipo) Rp 1 hasta DN 65</li> <li>- Presión de trabajo máx. de la ejecución estándar: 6/10 bar (ejecución especial: 16 bar)</li> <li>- Consumo : 25 W</li> <li>- Potencia : 0,45 kW</li> <li>- Caudal : 7689,74 l/h</li> <li>- Altura máxima de impulsión: 12m</li> </ul>				
Presupuesto total del sistema de auxiliar.....				27.327,30

• **4.6. Sistema de control**

Descripción	Precio unitario (€)	Cantidad	Unidad	Precio (€)
<u>Centralita reguladora diferencial</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa : Soler o similar</li> <li>- Modelo: LDTC</li> </ul>	152,89	1	Ud	152,89
<u>Termómetro</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa: Salvador Escoda o similar</li> <li>- Bimetálicos con vaina</li> <li>- Temp : 0-120 °C</li> <li>- Longitud : 100 mm</li> </ul>	17,29	3	Ud	51,87
<u>Manómetro</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresa: Salvador Escoda o similar</li> <li>- Presión : 0 -10 bar</li> </ul>	13,44	4	Ud	53,76
Presupuesto total del sistema de control.....				258,52

- **4.7. Presupuesto total**

Sistemas	Presupuesto (€)
Sistema de captación	31.710,00
Sistema de acumulación	13.474,00
Sistema de intercambio	1.761,95
Sistema hidráulico	13.741,98
Sistema auxiliar	27.327,30
Sistema de control	258,52
<b>TOTAL SIN IVA</b> .....	<b>88.273,75€</b>
<b>TOTAL (21% IVA)</b> .....	<b>106.811,24 €</b>

→ Ratio €/ m<sup>2</sup> de captación : 1.483,49 €

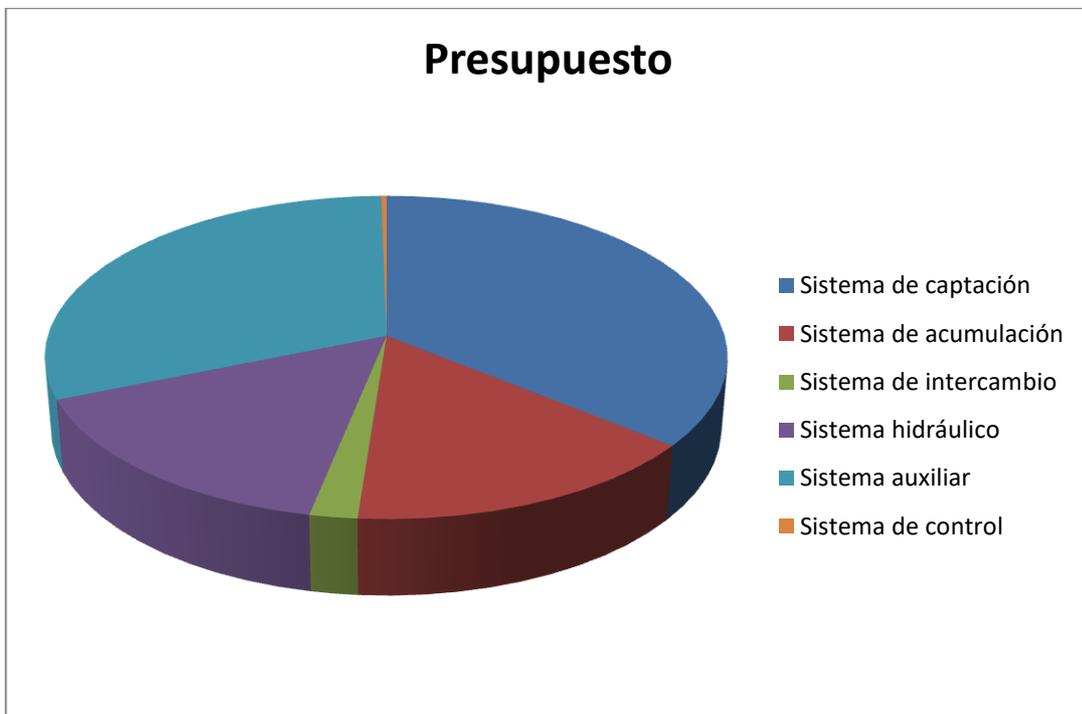
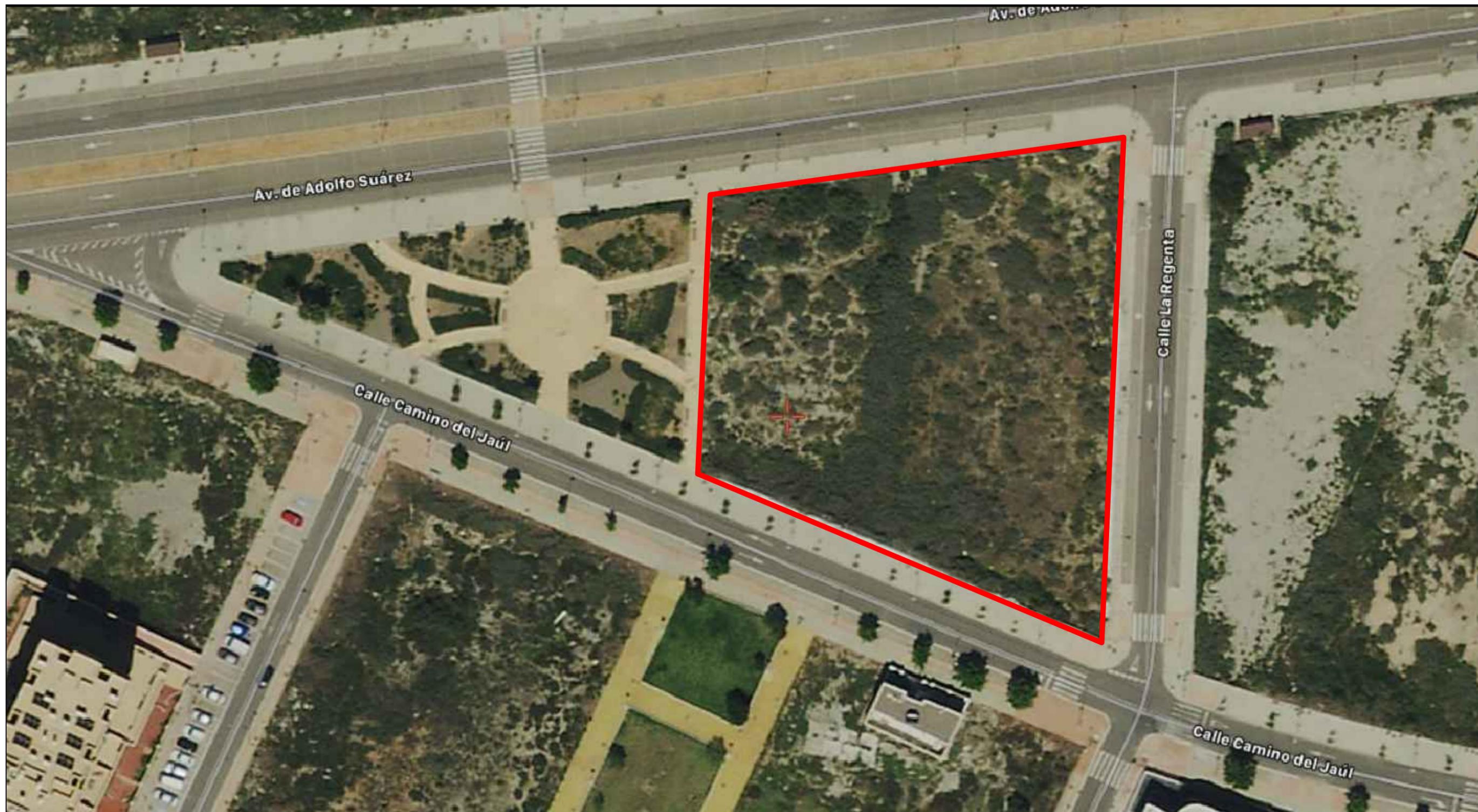


Figura 49. Presupuesto Final

# 5 PLANOS

---



Leyenda:

 Perímetro de la parcela



Firma:

Fdo: Lorenzo Rodríguez Díaz

Nombre:

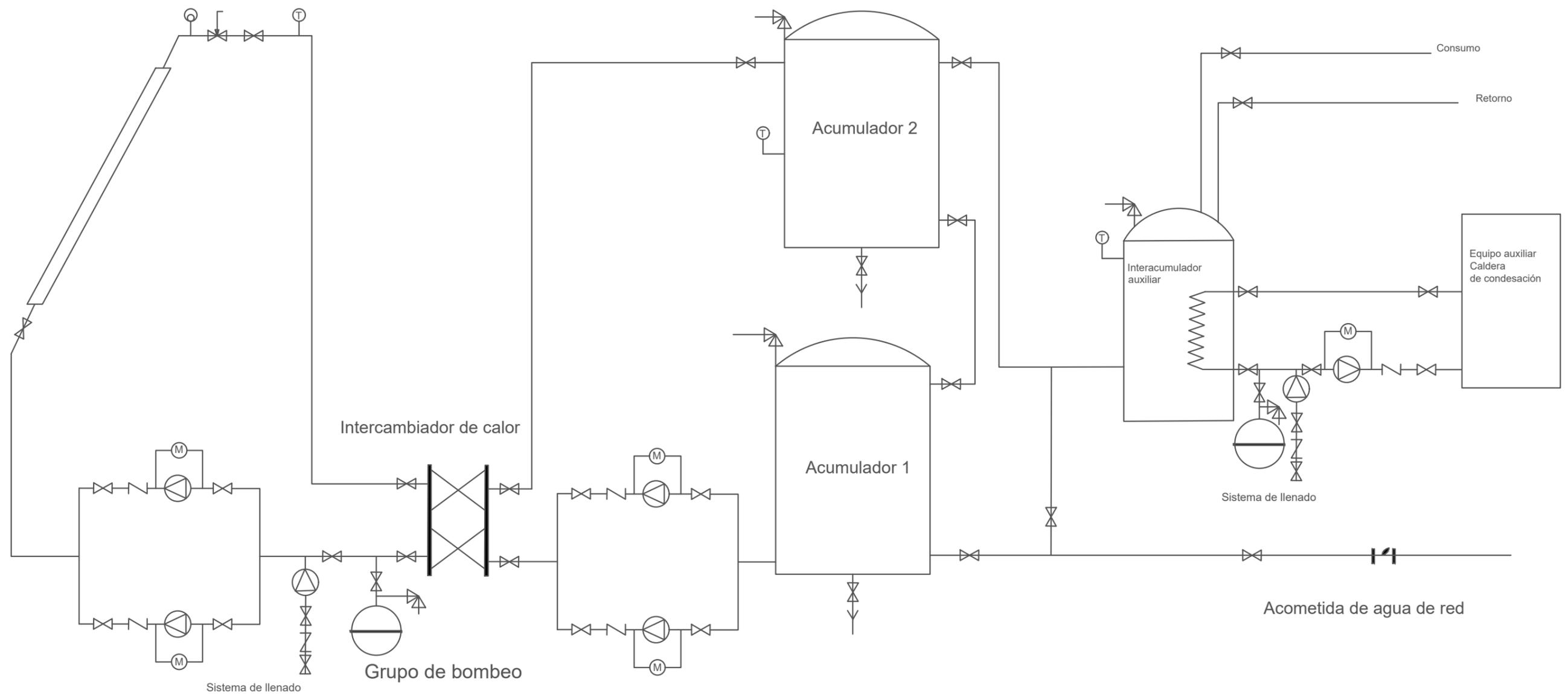
Plano de situación de la parcela del edificio

Fecha:

Número de plano : 1  
Escala : 1:1000

Trabajo Fin de Grado:

Diseño de una instalación de energía solar en una residencia de estudiantes para la producción de ACS



Leyenda:



Válvula de corte



Válvula de vaciado



Válvula de retención



Bomba



Manómetro



Purgador



Filtro



Vía de desagüe



Válvula de seguridad



Termómetro



Escuela Técnica Superior de  
**INGENIERÍA DE SEVILLA**

Firma:

Fdo: Lorenzo Rodríguez Díaz

Nombre:

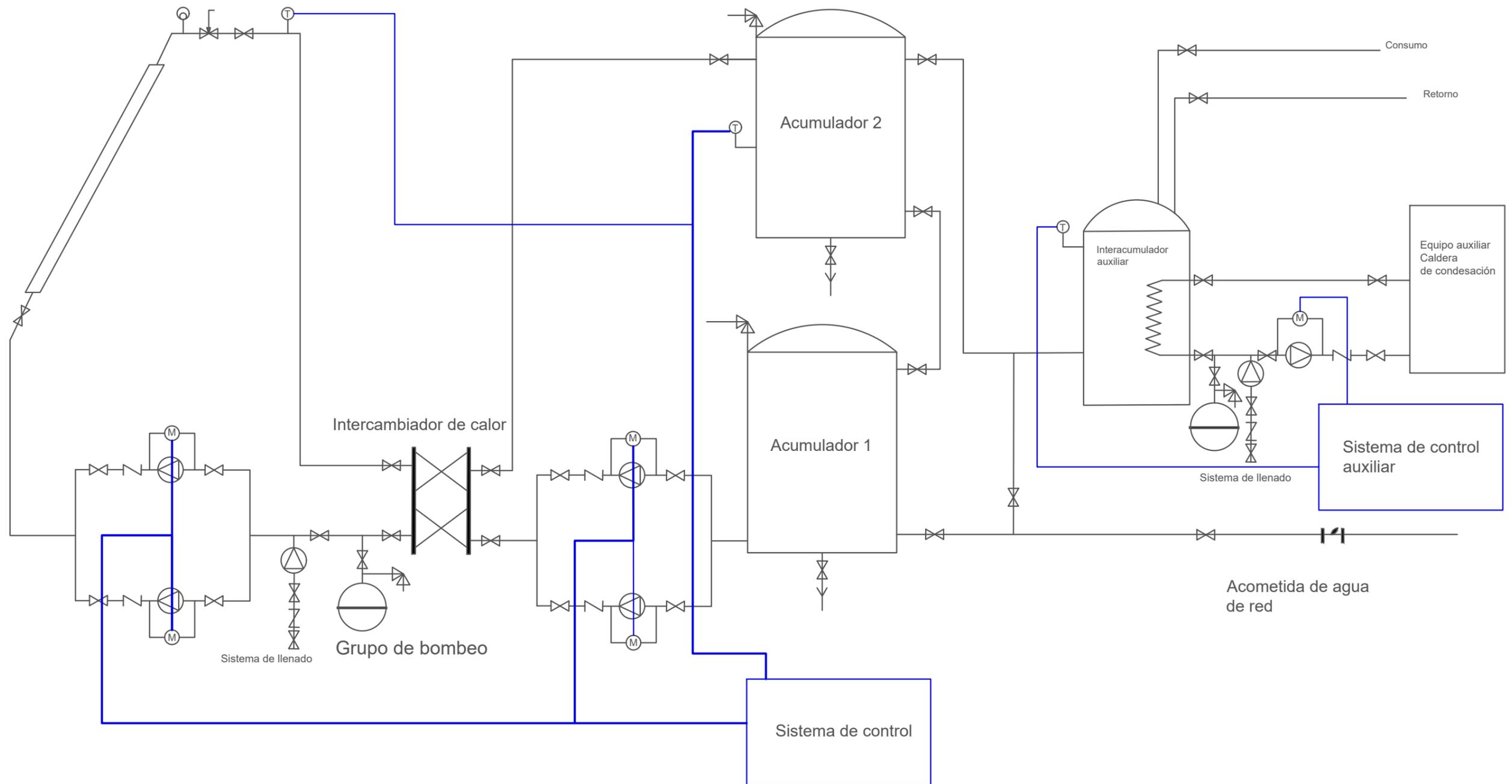
Esquema de principio de funcionamiento

Fecha:

Número de plano : 2

Trabajo Fin de Grado:

Diseño de una instalación de energía solar en una residencia de estudiantes para la producción de ACS



Leyenda:

- |  |                      |  |                      |  |                |
|--|----------------------|--|----------------------|--|----------------|
|  | Válvula de corte     |  | Válvula de vaciado   |  | Filtro         |
|  | Válvula de retención |  | Bomba                |  | Vía de desagüe |
|  | Manómetro            |  | Válvula de seguridad |  | Termómetro     |
|  |                      |  | Purgador             |  |                |



Nombre:  
Esquema de principio de funcionamiento de sistema de control

Fecha: Número de plano : 3

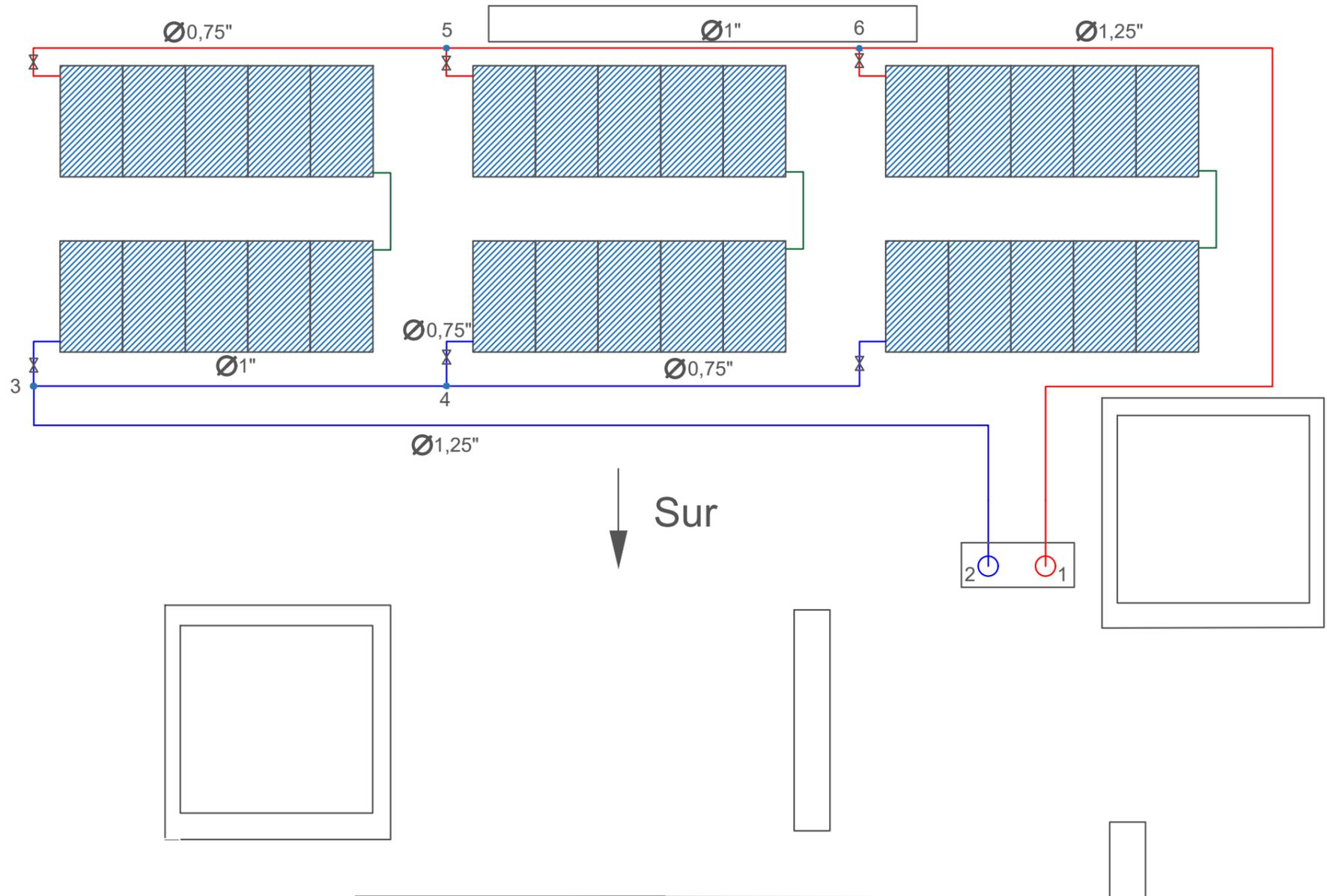
Firma:  
  
Fdo: Lorenzo Rodríguez Díaz

Trabajo Fin de Grado:  
Diseño de una instalación de energía solar en una residencia de estudiantes para la producción de ACS

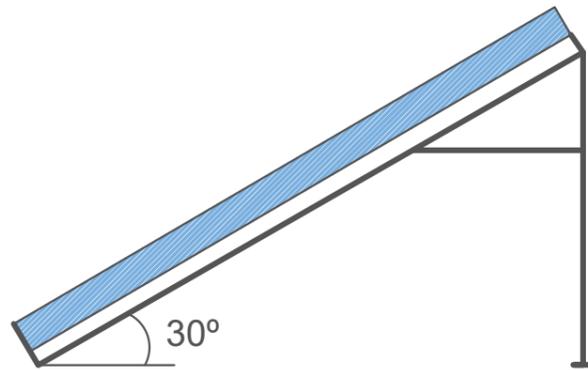
**Diámetros de tuberías**

Tramo 2-3 : 1,25 "      Tramo 4-6 : 1,00 "  
 Tramo 3-5 : 0,75 "      Tramo 5-6 : 0,75 "  
 Tramo 3-4 : 1,00 "      Tramo 6-1 : 1,25 "  
 Tramo 4-5 : 0,75 "

Avenida Adolfo Suárez



Esquema de inclinación del captador



**Leyenda:**

- Red de agua caliente
- Red de agua fría
- Captador solar
- Calo



Nombre:  
Esquema de la situación de captadores solares en la cubierta del edificio

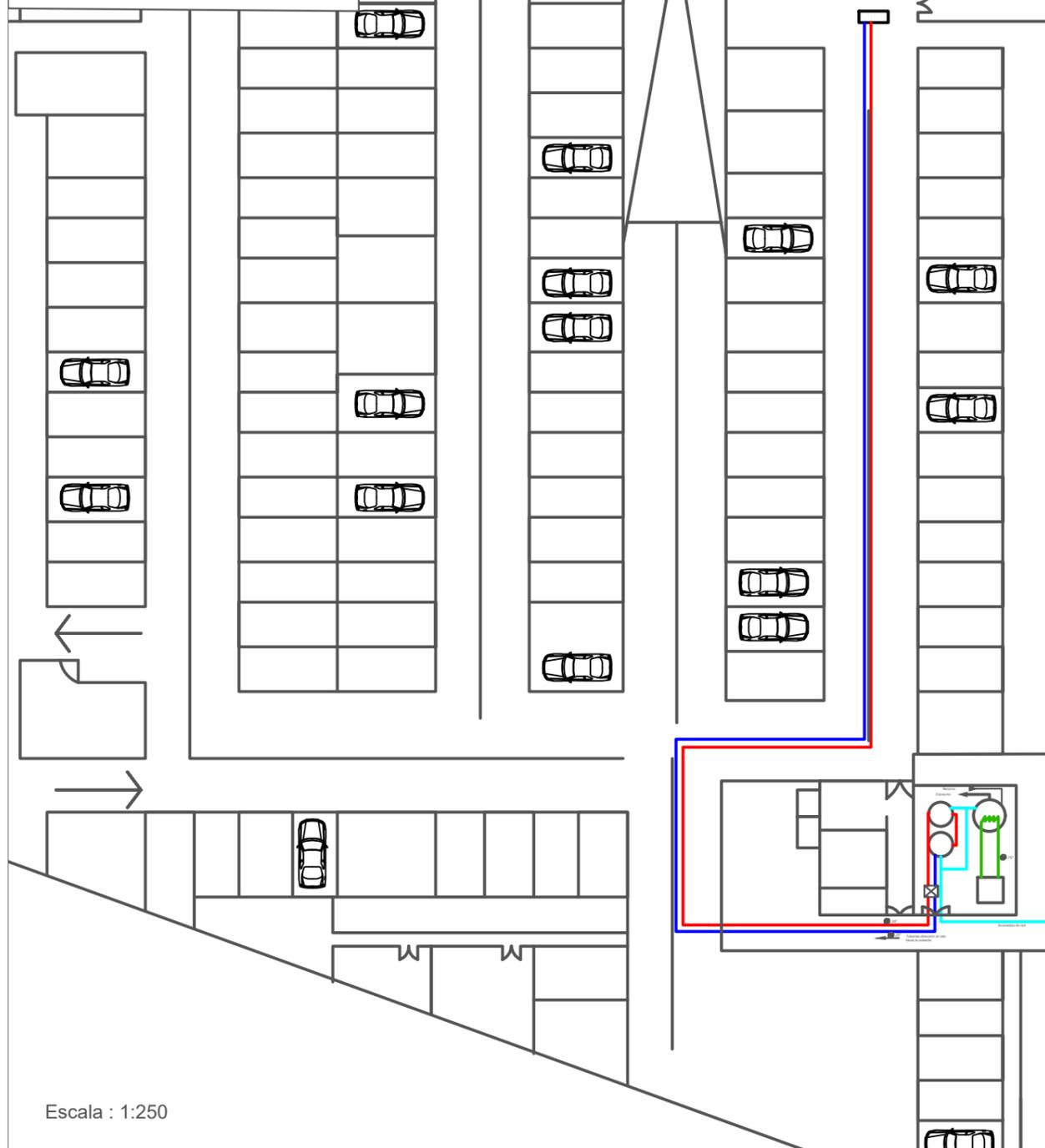
Fecha: Número de plano : 4  
Escala : 1:160

Firma:  
  
Fdo: Lorenzo Rodríguez Díaz

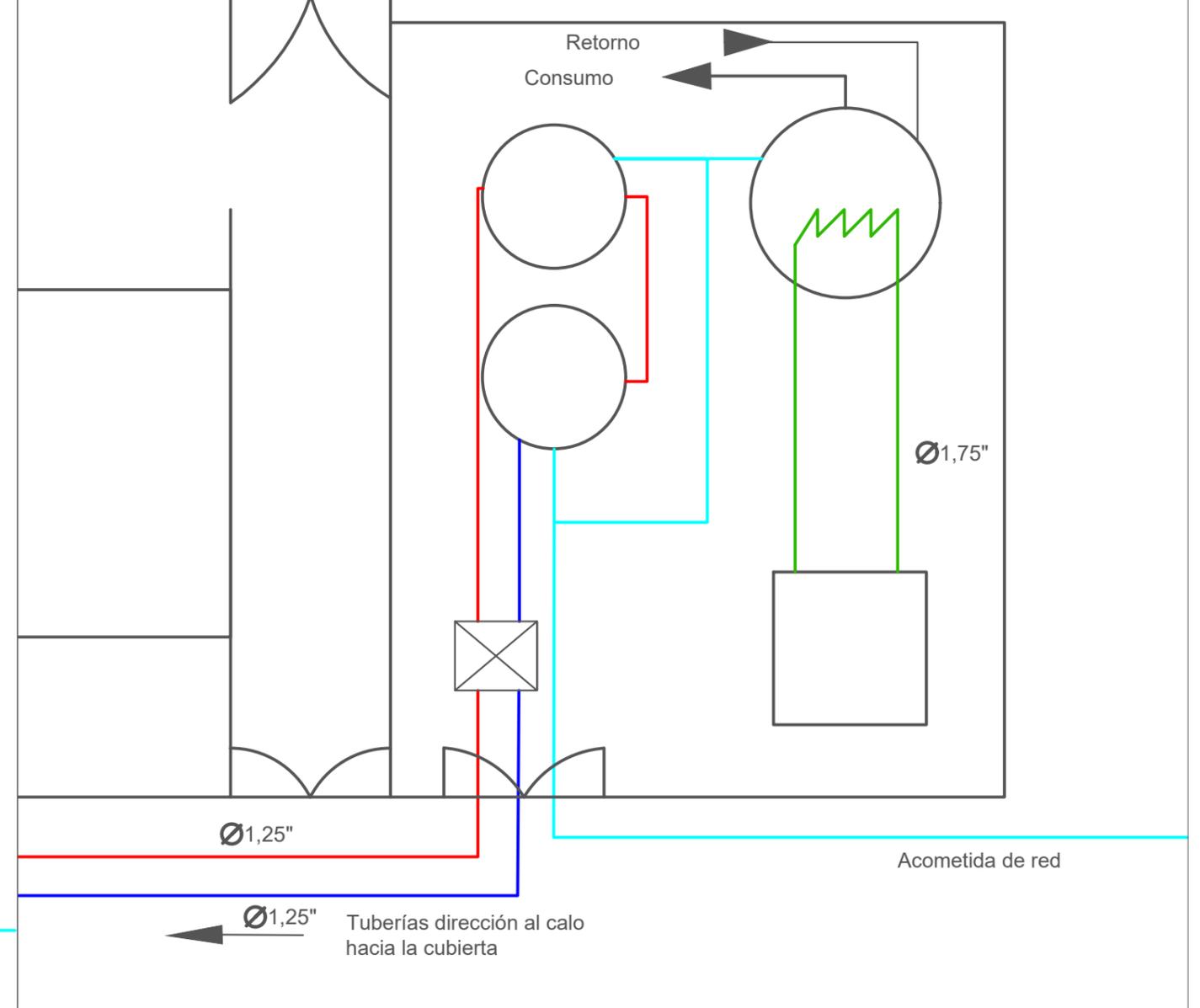
Trabajo Fin de Grado:  
Diseño de una instalación de energía solar en una residencia de estudiantes para la producción de ACS

**Diámetros de tuberías**

- Tramo agua fría : 1,25 "
- Tramo agua caliente : 1,25 "
- Tramo agua auxiliar : 1,75 "



Escala : 1:250



Escala : 1:75

**Leyenda:**

- |  |                               |  |                          |  |                         |
|--|-------------------------------|--|--------------------------|--|-------------------------|
|  | Red de agua auxiliar          |  | Acumulador               |  | Calo                    |
|  | Red de agua caliente          |  | Interacumulador auxiliar |  | Intercambiador de calor |
|  | Red de agua fría              |  | Caldera auxiliar         |  |                         |
|  | Red de agua de abastecimiento |  |                          |  |                         |



Nombre:  
Esquema situación de sala de máquinas y conexión con captadores

Fecha: Número de plano : 5

Firma:  
  
Fdo: Lorenzo Rodríguez Díaz

Trabajo Fin de Grado:  
Diseño de una instalación de energía solar en una residencia de estudiantes para la producción de ACS