

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

# **Instalación de energía solar térmica para producción de ACS en un hospital**

Autor:

Álvaro García de Veas Márquez

Tutor:

D. José Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

Dep. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2018

# Índice

Índice	5
Índice de Tablas	7
Índice de Figuras	9
<b>1. Memoria descriptiva</b>	<b>11</b>
1.1. Objeto del Proyecto	11
1.2. Antecedentes	11
1.3. Método de cálculo	12
1.4. Descripción del edificio	18
1.5. Descripción de la instalación	21
1.5.1. Principio de funcionamiento	21
1.5.2. Elementos principales de la instalación	24
1.6. Características técnicas	30
1.6.1. Captadores solares	30
1.6.2. Acumulador	31
1.6.3. Intercambiador de calor	32
1.6.4. Bomba de circulación	33
1.6.5. Vaso de expansión	35
1.7. Normativa	35
1.7.1. Código técnico de la Edificación HE-4	35
1.7.2. Norma UNE	36
1.7.3. Reglamento de instalaciones térmicas en la edificación (RITE)	36
1.8. Bibliografía	36
<b>2. Memoria de cálculo</b>	<b>39</b>
2.1. Introducción	39
2.2. Datos de partida	39
2.2.1. Parámetros generales del edificio	39
2.2.2. Parámetros climáticos	39
2.3. Cálculo de la demanda	42
2.3.1. Cálculo del consumo de agua	42
2.3.2. Demanda energética	43
2.4. Cálculo de la superficie de captación	44
2.4.1. Determinación de la fracción de demanda cubierta anual	44
2.4.2. Disposición de los captadores	45
2.4.3. Pérdidas debido a la orientación, a la inclinación y a las sombras	46
2.5. Cálculo del volumen de acumulación	47
2.6. Cálculos sobre la red de tuberías	48
2.6.1. Fluido del circuito primario	48
2.6.2. Caudal del circuito primario	48
2.6.3. Pérdida de carga en los captadores	49
2.6.4. Cálculo de la red de tuberías	49
2.6.5. Pérdida de carga en las tuberías	54
2.7. Dimensionado del equipo de intercambio	57
2.8. Dimensionado del grupo de bombeo	58
2.9. Dimensionado del vaso de expansión	58
2.10. Cálculo del espesor de aislamiento	59
2.10.1. Aislamiento en tuberías	60
2.10.2. Aislamiento en depósitos de acumulación	60
2.10.3. Aislamiento en intercambiador de calor	60
2.11. Selección de accesorios	61

<b>Anexo</b>	<b>63</b>
Certificado CHEQ4.	63
<b>3. Pliego de condiciones</b>	<b>65</b>
3.1. Objeto	65
3.2. Normativa aplicable	65
3.3. Condiciones de materiales y equipos.	65
3.3.1. Accesorios.	66
3.3.2. Válvulas.	67
3.3.3. Aislamiento	69
3.3.4. Vasos de expansión	69
3.3.5. Bombas	69
3.3.6. Captadores	70
3.3.7. Sistema eléctrico y de control	71
3.3.8. Aparatos de medida	71
3.3.9. Acumuladores	73
3.3.10. Intercambiadores de calor	73
3.4. Provisión del material	74
3.5. Condiciones de montaje	74
3.6. Pruebas, puesta en marcha y recepción	74
3.6.1. General	74
3.6.2. Pruebas parciales	74
3.6.3. Pruebas finales	75
3.6.4. Ajustes y equilibrado	75
3.6.5. Recepción	76
3.7. Mantenimiento	76
3.7.1. Vigilancia	77
3.7.2. Mantenimiento preventivo	77
3.7.3. Mantenimiento correctivo	77
<b>4. Presupuesto</b>	<b>79</b>
4.1. Sistema de captación.	79
4.2. Sistema de acumulación	79
4.3. Sistema de intercambio	80
4.4. Sistema hidráulico	80
4.5. Sistema de control	82
4.6. Presupuesto total de la instalación	83
<b>5. Planos</b>	<b>85</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 2.1. Datos generales del edificio.	39
Tabla 2.2. Radiación y temperatura ambiente para Jerez de la frontera según la norma UNE 94003:2077.	40
Tabla 2.3. Demanda de referencia a 60 °C.	43
Tabla 2.4. Demanda energética y temperatura del agua de red mensual en Jerez de la frontera.	44
Tabla 2.5. Contribución solar mínima anual para ACS en %.	45
Tabla 2.6. Fracción de la demanda cubierta en función del área.	45
Tabla 2.7. Fracción de la demanda cubierta en función de la configuración de los captadores.	46
Tabla 2.8. Fracción de la demanda cubierta en función del volumen de acumulación.	47
Tabla 2.9. Fracción de la demanda cubierta para un volumen de acumulación de 30000l.	48
Tabla 2.10. Dimensionado de las tuberías del bloque “a” de la instalación.	51
Tabla 2.11. Dimensionado de las tuberías del bloque “b” de la instalación.	53
Tabla 2.12. Dimensionado de las tuberías del bloque “c” de la instalación.	54
Tabla 2.13. Longitudes equivalentes de accesorios en tuberías de cobre.	54
Tabla 2.14. Pérdidas de carga asociadas a cada tramo del bloque “a”.	55
Tabla 2.15. Pérdidas de carga asociadas a cada tramo del bloque “b”.	56
Tabla 2.16. Pérdidas de carga asociadas a cada tramo del bloque “c”.	57
Tabla 2.17. Pérdidas de carga a vencer por el equipo de bombeo.	57
Tabla 2.18. Condiciones de operación del intercambiador seleccionado.	57
Tabla 2.19. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios en el interior de edificios	60
Tabla 2.20. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios en el exterior de edificios.	60
Tabla 2.21. Espesores mínimos para las tuberías presentes en la instalación.	60



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1.1. Datos climáticos de CHEQ4.	12
Figura 1.2. Configuraciones disponible CHEQ4.	13
Figura 1.3. Instalación para consumo único con sistema prefabricado.	13
Figura 1.4. Instalación para consumo único con interacumulador.	14
Figura 1.5. Instalación para consumo único con intercambiador independiente.	14
Figura 1.6. Instalación para consumo único con intercambiador independiente y piscina cubierta.	14
Figura 1.7. Instalación para consumo múltiple con todo centralizado.	14
Figura 1.8. Instalación para consumo múltiple con apoyo distribuido.	15
Figura 1.9. Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida.	15
Figura 1.10. Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido.	15
Figura 1.11. Menú de demanda CHEQ4.	16
Figura 1.12. Menú Solar/Apoyo CHEQ4.	17
Figura 1.13. Menú Otros parámetros CHEQ4.	17
Figura 1.14. Pantalla de resultados CHEQ4.	18
Figura 1.15. Localización del Hospital de Jerez de la Frontera.	19
Figura 1.16. Vista área del Hospital de Jerez de la Frontera.	19
Figura 1.17. Sistema auxiliar de producción de ACS.	20
Figura 1.18. Vista de la central térmica y del almacén colindante.	20
Figura 1.19. Diagrama de principio de la instalación.	22
Figura 1.20. Principio de funcionamiento sistema de control.	23
Figura 1.21. Captador solar plano.	24
Figura 1.22. Esquema transversal de un captador solar plano.	24
Figura 1.23. Pérdidas en un captador solar plano.	25
Figura 1.24. Conexión en serie.	26
Figura 1.25. Conexión en paralelo.	26
Figura 1.26. Conexión de dos baterías de captadores en paralelo.	26
Figura 1.27. Conexión en serie de 2 baterías de captadores de la instalación.	27
Figura 1.28. Captador solar plano TERMICOL T20US.	31
Figura 1.29. Dimensiones captador solar plano TERMICOL T20US.	31
Figura 1.30. Acumulador LAPESA MV-10-IB.	32
Figura 1.31. Intercambiador ALFA LAVAL modelo CB110-38M.	33
Figura 1.32. Bomba WILO modelo VEROTWIN DPL 32/135-1,5/2.	34
Figura 1.33. Dimensiones bomba WILO VEROTWIN DPL32/135-1,5/2.	34
Figura 1.34. Vaso de expansión IMERA SW60.	35
Figura 2.1. Desglose de las distintas componentes de la radiación.	40
Figura 2.2. Fracción de componente difusa para verano e invierno.	41
Figura 2.3. Pérdida de carga en el captador en función del caudal.	49
Figura 2.4. Tramos que conforman el bloque “a” y diámetro de los mismos.	50
Figura 2.5. Tramos que conforman el bloque “b” y diámetro de los mismos.	52

Figura 2.6. Tramos que conforman el bloque “6” y diámetro de los mismos.	52
Figura 4.1. Descomposición del presupuesto total.	83

# 1. MEMORIA DESCRIPTIVA

---

## 1.1. Objeto del Proyecto

Este proyecto tiene por objeto el dimensionado de un sistema de captación solar de baja temperatura enfocado a la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en un hospital, situado en la localidad gaditana de Jerez de la Frontera. Para ello se hará un análisis previo de las condiciones climatológicas y de la radiación solar para la localización del edificio en cuestión, así como de su consumo diario de ACS. Dicho estudio, a través del código técnico pertinente, definirá el porcentaje de aportación mínimo del consumo total de ACS que la energía solar deberá cubrir.

Cabe señalar que el desarrollo del presente proyecto es con fines puramente académicos, sirviendo como Trabajo de Fin de Grado de la titulación Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.

## 1.2. Antecedentes

Es un hecho que actualmente, en materia de energía, el principal problema de España es, sin duda alguna, la dependencia de los combustibles fósiles. Dado que España carece de yacimientos de petróleo y tampoco tiene bolsas de gas, prácticamente el 100% de combustibles quemados para generar electricidad o producir calor proceden allende sus fronteras.

En la actualidad, el sector de la edificación; el cual comprende edificios residenciales, comerciales e industriales; es responsable del 40% de la energía consumida en España. Generalmente, el consumidor principal de energía en un edificio es la climatización (45%), seguido por la producción de agua caliente sanitaria (30%). Es por ello que resulta obvia la importancia de instalaciones capaces de cubrir la demanda energética de este sector sin usar fuentes de energía convencionales procedentes de la quema de combustibles fósiles.

Las denominadas fuentes de energía renovables, aquellas que existen en la naturaleza y a las que se puede recurrir de manera permanente puesto que son inagotables, fomentan el uso de recursos naturales locales ilimitados y no contaminantes, favoreciendo así la independencia externa del sector energético. Dentro de dichas fuentes podemos diferenciar según su procedencia, las siguientes: solar, eólica, geotérmica, hidráulica, y mareomotriz.

En el presente proyecto se apuesta, para la producción de agua caliente sanitaria, por el uso de la energía solar térmica, cuyo principio elemental es el aprovechamiento de la capacidad calorífica contenida en la radiación solar. Esta capacidad calorífica se proyecta en un fluido caloportador, generalmente agua o aire, que se calienta. Este sistema de producción energética, por su naturaleza renovable, reporta una serie de ventajas a diferentes escalas:

- Aumenta eficiencia energética de los edificios tanto de nueva construcción como de edificios ya existentes.
- A nivel estatal, disminución de la dependencia de combustibles fósiles y por ende, mayor autonomía en materia de energía.
- A nivel de usuario, ahorro en las facturas de gas, gasóleo o electricidad destinadas a la producción de agua caliente sanitaria.
- Por el hecho de ser fuente de energía renovable, no está sujeta a fluctuaciones de mercado y sus precios permanecen constantes.
- Supone una reducción sustancial de emisiones contaminantes.

La apuesta por esta forma de producción energética se justifica inmediatamente observando los datos de irradiación que recibe España a lo largo de todo su territorio, que se sitúa a la cabeza de Europa en este aspecto. Si concretamos más, Andalucía en su vertiente suroccidental (Huelva-Sevilla-Cádiz), tiene más de 2500 horas de sol aseguradas al año que hacen obligatoria la apuesta por la energía solar térmica.





**(b) Configuración.**

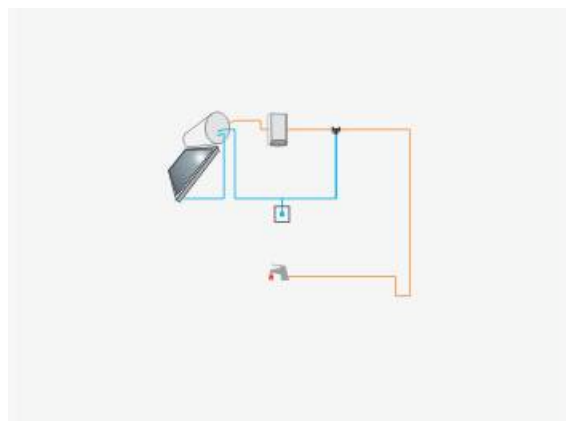
Aquí es cuando se selecciona la configuración que más se ajuste al objetivo de la instalación.



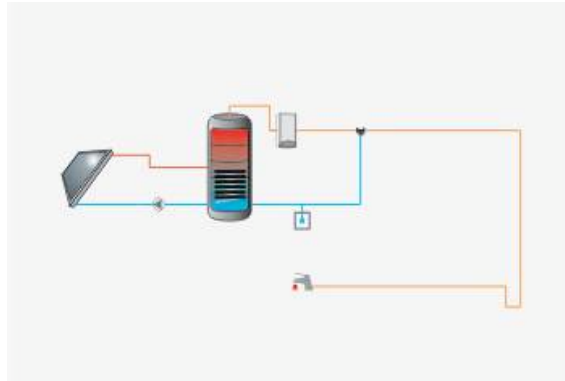
**Figura 1.2.** Configuraciones disponible CHEQ4.

Se distinguen 8 tipos de configuraciones diferentes, que se dividen en 2 grupos: consumo único y consumo múltiple.

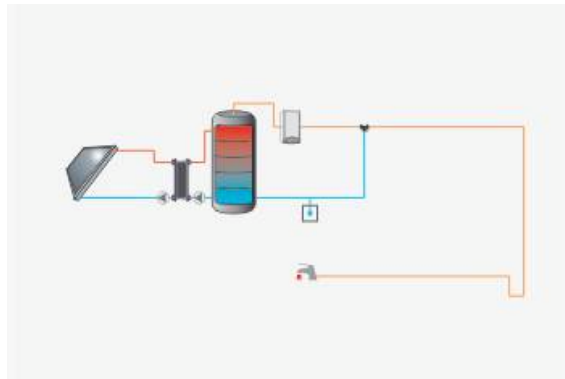
- Consumo único:



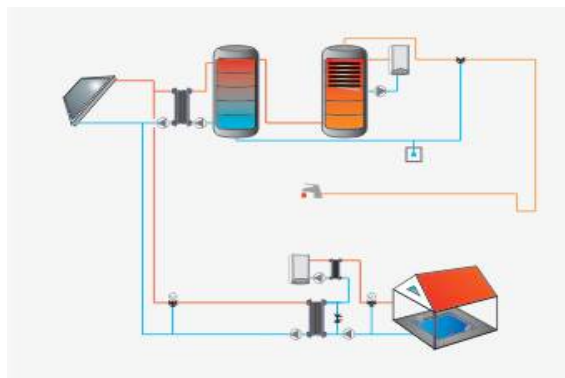
**Figura 1.3.** Instalación para consumo único con sistema prefabricado.



**Figura 1.4.** Instalación para consumo único con interacumulador.

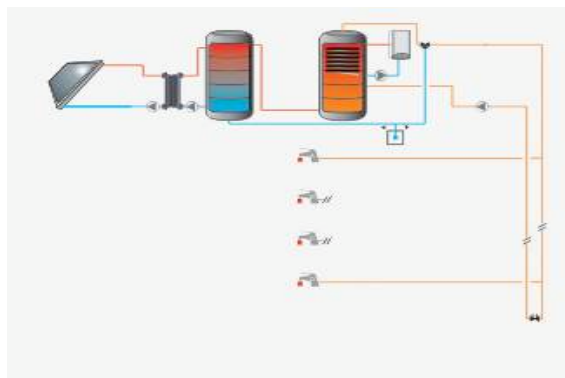


**Figura 1.5.** Instalación para consumo único con intercambiador independiente.

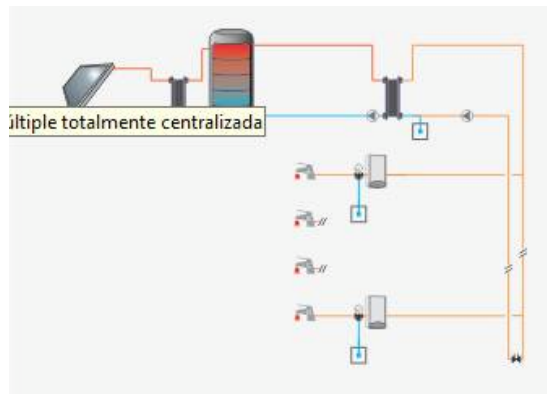


**Figura 1.6.** Instalación para consumo único con intercambiador independiente y piscina cubierta.

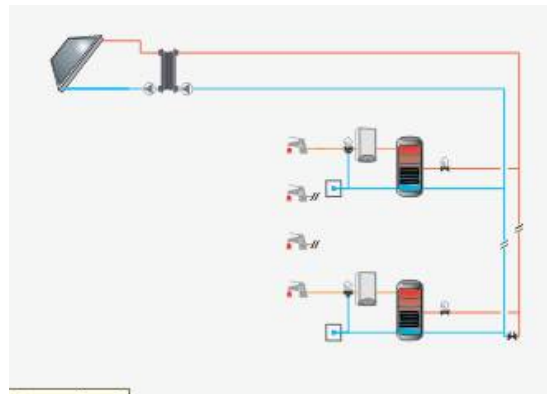
- Consumo múltiple:



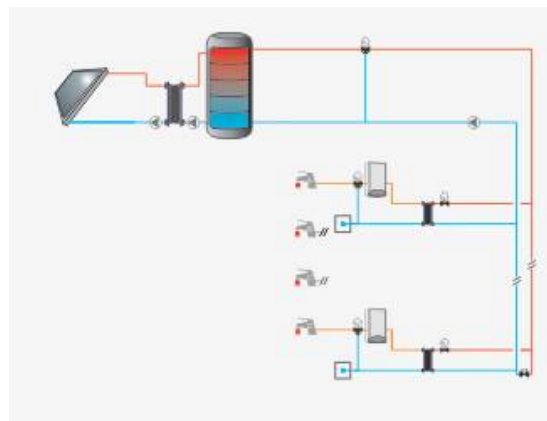
**Figura 1.7.** Instalación para consumo múltiple con todo centralizado.



**Figura 1.8.** Instalación para consumo múltiple con apoyo distribuido.



**Figura 1.9.** Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida.



**Figura 1.10.** Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido.

### (c) Demanda.

En este epígrafe se ha de especificar la demanda total de agua caliente sanitaria del edificio. Los parámetros necesarios varían en función de si se trata de consumo único o múltiple.

- Consumo único: Se ha de seleccionar el tipo de aplicación y el número de elementos de dicha aplicación.
- Consumo múltiple: Se ha de especificar número de viviendas y dormitorios. Se considera de forma automática un consumo de 28 l/día (a 60 °C), ya que el caso de consumo múltiple solo esta contemplado para viviendas.

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

**CONSUMO ÚNICO**

**Aplicación**  
Hospitales y clínicas

**Número de personas**  
400

**Demanda calculada (l/día a 60 °C)**  
22.000

**LOCALIZACIÓN**

**CONFIGURACIÓN**

**DEMANDA**

**SOLAR/APOYO**

**OTROS PARÁMETROS**

**RESULTADOS**

**CONSUMO MÚLTIPLE**

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

**Demanda calculada (l/día a 60 °C)**

**CONSUMO TOTAL**

**Otras demandas (l/día a 60°C)**  
0

**Demanda total (l/día a 60°C)**  
22.000

**OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)**

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

**CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA**

Caso general FS 70%

Caso piscina FS 70%

Figura 1.11. Menú de demanda CHEQ4.

#### (d) Solar/Apoyo.

Se definen y especifican todos aquellos parámetros que definen el sistema y que son comunes a todos los tipos de configuraciones. Estos datos son los siguientes:

- Marca y modelo de los captadores empleados. El programa accederá automáticamente a la base de datos y mostrará los datos característicos del captador seleccionado.
- Número de captadores.
- Número de captadores en serie.
- Pérdidas por sombreamiento.
- Orientación.
- Inclinación.
- Área total captadores.
- Caudal del circuito primario o caudal de campo.
- Anticongelante.
- Longitud equivalente del circuito primario.
- Espesor (mm) y tipo de aislante utilizado.
- Tipo de sistema de apoyo.
- Tipo de combustible del sistema de apoyo.

Estos campos se pueden identificar con claridad en la figura 1.12.

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

**CAPTADORES**

Empresa:

Marca/Modelo:

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

**Datos de ensayo**

Área (m2)	1,9
n0 (-)	0,8
a1 (W/m2K)	3,93
a2 (W/m2K2)	0,026
Qtest(l/hm2)	72
k50	0,82
Laboratorio	INTA
Certificación	NPS-15112

**CAMPO DE CAPTADORES**

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

Orientación (°):  Inclinação (°):  Área total captadores (m2): 380,00

**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**

Figura 1.12. Menú Solar/Apoyo CHEQ4.

(e) Otros parámetros.

En esta etapa, se ha de especificar aquellos parámetros que son propios de cada configuración.

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

**VOLUMEN DE ACUMULACIÓN**

Volumen total (l):

Vol/Área (l/m2): 78,95

**VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES**

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

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

Volumen total (l): 0 Vol/Área (l/m2): 0,00

**DISTRIBUCIÓN**

Long. circuito (m):

Diám. tubería (mm):

Esp. aislante (mm):  T. imp.(°C):

Aislante:

**DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES**

Long. total (m):

Diám. tubería (mm):

Esp. aislante (mm):

Aislante:

**PISCINA CUBIERTA**

Altura (m):  Temp. ambiente (°C):

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

Superficie lámina (m2):  Renov. volumen día (%):

Humedad relativa (%):  Ocupación (pers/m2):

**Localización**

**Configuración**

**Demanda**

**Solar/Apoyo**

**Otros parámetros**

**Resultados**

Figura 1.13. Menú Otros parámetros CHEQ4.



Los campos que en más ocasiones es preciso especificar son los siguientes:

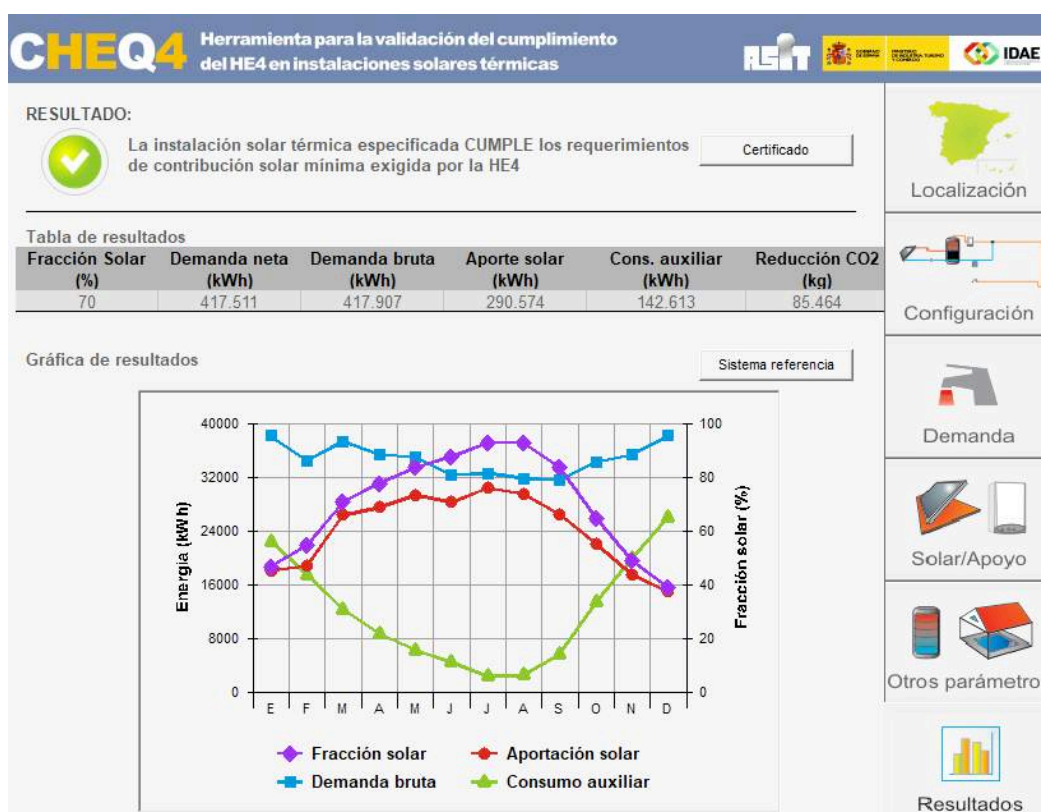
- Volumen de acumulación.
- Parámetros de circuito de distribución.

#### (f) Resultados

Esta pestaña corresponde al cálculo y visualización de los resultados. Al acceder a esta pestaña, el programa calcula las ganancias y pérdidas de la instalación especificada siguiendo la metodología de cálculo MetaSol.

Los valores anuales obtenidos son los siguientes:

- Fracción solar.
- Demanda neta y bruta.
- Aportación solar al sistema.
- Consumo de energía primaria auxiliar.
- Reducción emisión CO<sub>2</sub>.



**Figura 1.14.** Pantalla de resultados CHEQ4.

Resulta de especial interés distinguir los términos de demanda neta y demanda bruta. La demanda neta corresponde con la demanda energética anual del edificio en cuestión sin tener en cuenta las pérdidas energéticas presentes en los sistemas de acumulación y distribución, mientras que la demanda bruta si contabiliza dichas pérdidas. Es por ello que el valor de la fracción solar vendrá definido en base a esta última.

## 1.4. Descripción del edificio

El edificio sujeto a estudio en este proyecto es el Hospital de Jerez de la Frontera, situado en la localidad de Jerez de la Frontera, perteneciente a la provincia de Cádiz.

Este hospital tiene capacidad para albergar 400 camas repartidas en dos edificios principales

- Edificio I: Hospital Materno-Infantil.
- Edificio II: Hospital General.



**Figura 1.15.** Localización del Hospital de Jerez de la Frontera.



**Figura 1.16.** Vista área del Hospital de Jerez de la Frontera.

La superficie disponible para el campo de captadores no se corresponde con las cubiertas de estos edificios, pues no resulta lógico su implantación debido a diversos factores:

- Las cubiertas corresponden con las de las edificaciones originales, que datan de los años 1968-1975. Esto se traduce en dificultades de acceso, bajo aislamiento térmico y riesgo de filtraciones de agua.
- La central térmica o sala de máquinas se encuentra en un módulo aparte, dedicado exclusivamente a albergar las calderas y generadores correspondientes. La lejanía de dicho módulo con las cubiertas no es insalvable técnicamente, pero invita a explorar otras alternativas.

El sistema de producción actual de ACS está situado en la central térmica. Consta de 4 calderas de alto rendimiento de Gas Natural, tres ellas tienen una potencia de 2000 kW y la cuarta es de 440 kW. El sistema de



acumulación consiste en 3 depósitos dispuestos en serie de 4000 litros cada uno. La producción de ACS resultante de este sistema se dirige a un grupo de bombeo que se encarga de su distribución tanto al edificio I como al edificio II. Esta distribución se realiza por vía subterránea.



**Figura 1.17.** Sistema auxiliar de producción de ACS.

Es por esto que se establece como superficie de captación disponible la cubierta de la sala de máquinas, junto a un módulo almacén colindante a esta.

Por tanto se dispone de una superficie de captación efectiva de 567 m<sup>2</sup> correspondiente a la cubierta de la central térmica y 431 m<sup>2</sup> a la del almacén.



**Figura 1.18.** Vista de la central térmica y del almacén colindante.

## 1.5. Descripción de la instalación

### 1.5.1. Principio de funcionamiento

El principio en el que se fundamenta cualquier instalación solar térmica de baja temperatura es el de aprovechar la energía del Sol mediante un conjunto de captadores para transferirla después a un sistema de almacenamiento que abastecerá el consumo cuando sea necesario. Entendiendo por aprovechamiento de baja temperatura todos los sistemas de energía solar en los que la temperatura del fluido calentado no supera los 100°C. La instalación solar térmica a tratar se divide en cuatro subsistemas:

- Subsistema de captación.
- Subsistema de intercambio.
- Subsistema de acumulación.
- Subsistema de apoyo.

El presente proyecto abarca el estudio y diseño de los tres primeros subsistemas; el de captación, el de intercambio y el de acumulación. El diseño del subsistema de apoyo no se considera objeto del proyecto, puesto que lo que aquí se plantea es una adaptación de una instalación productora de ACS ya existente. Por tanto, el subsistema de apoyo será equivalente al sistema de generación de ACS convencional que emplea el edificio en cuestión, ya sea por medio de energía eléctrica o por quema de combustibles fósiles como gas o gasóleo.

A continuación en la figura 1.19, se muestra representado el esquema planteado para esta instalación solar de baja temperatura. En ella se puede distinguir claramente los subsistemas de captación, intercambio y acumulación:

- Subsistema de captación: se corresponde con el campo de captadores y el circuito primario, obviando el intercambiador de calor. Está conformado por 200 captadores solares planos agrupados en grupos de dos baterías de cinco captadores cada una, conectadas en serie. Dichos captadores están instalados con orientación sur-oeste y una inclinación de 30° con respecto a la horizontal. El fluido caloportador será una mezcla de agua y glicol al 20%, y el caudal a mover por las bombas del primario es de 13680 litros a la hora.
- Subsistema de intercambio: consiste en el intercambiador encargado de la transferencia energética entre el circuito primario y el secundario. Esta transferencia energética se da entre los 13680 litros por hora que circulan por el circuito primario y los 11566 que lo hacen por el secundario.
- Subsistema de acumulación: se corresponde con el circuito secundario, excluyendo el intercambiador. Está constituido por 3 depósitos verticales de 10000 litros de capacidad cada uno, conectados en serie. Aguas abajo de este irá localizado el subsistema de apoyo, que es el sistema de generación de ACS actual del edificio. Como se ha descrito anteriormente, este dispone de 3 calderas de Gas Natural con una capacidad 2000 kW cada una, y una cuarta caldera de menor potencia (440 kW). Del lado de la acumulación, se dispone de 3 acumuladores de 4000 litros cada uno.

El principio de funcionamiento de la instalación se basa en utilizar la radiación solar que recibe el campo de captadores para calentar un fluido caloportador, en concreto una mezcla de agua y glicol, que posteriormente transfiere esta energía calorífica a través de un intercambiador de calor a otro fluido, que en este caso corresponde con el propio agua caliente destinado al consumo.

Al ser un sistema por circulación forzada, se ha implantado un sistema de control que gobierne el funcionamiento del sistema. Tal como se puede apreciar en la figura 1.20, este consta de varias entradas que serán las temperaturas medidas en el retorno de cada una de las dos ramificaciones del sistema de captación, y la temperatura de la parte baja del acumulador que recibe el agua de red. El sistema de control procesa la diferencia de temperaturas medidas en el campo de captación y en el depósito, y actuará en consecuencia.

Las pérdidas térmicas presentes en el subsistema de acumulación es un factor determinante a la hora de dimensionar los tanques de almacenamiento. Por regla general, este volumen de acumulación es del orden de la demanda diaria estimada de ACS. En el caso que el aporte energético solar a la producción de ACS no sea suficiente para cubrir la demanda, pues tratar de cubrir el 100% de la demanda conlleva una serie de gastos en infraestructuras de acumulación insostenibles, existe un sistema de generación auxiliar capaz de cubrir ese déficit mediante el uso de fuentes de energías convencionales.

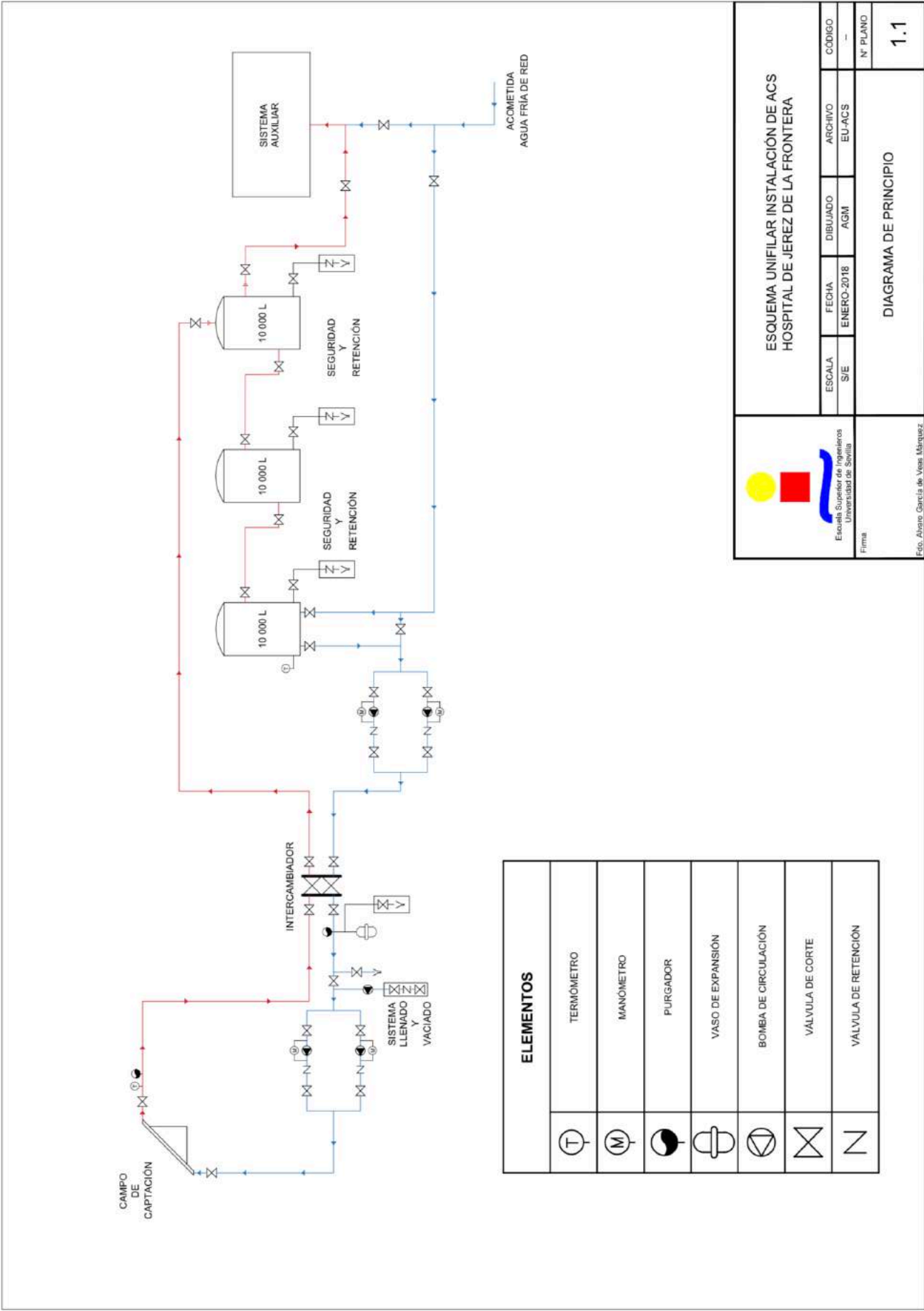


Figura 1.19. Diagrama de principio de la instalación.

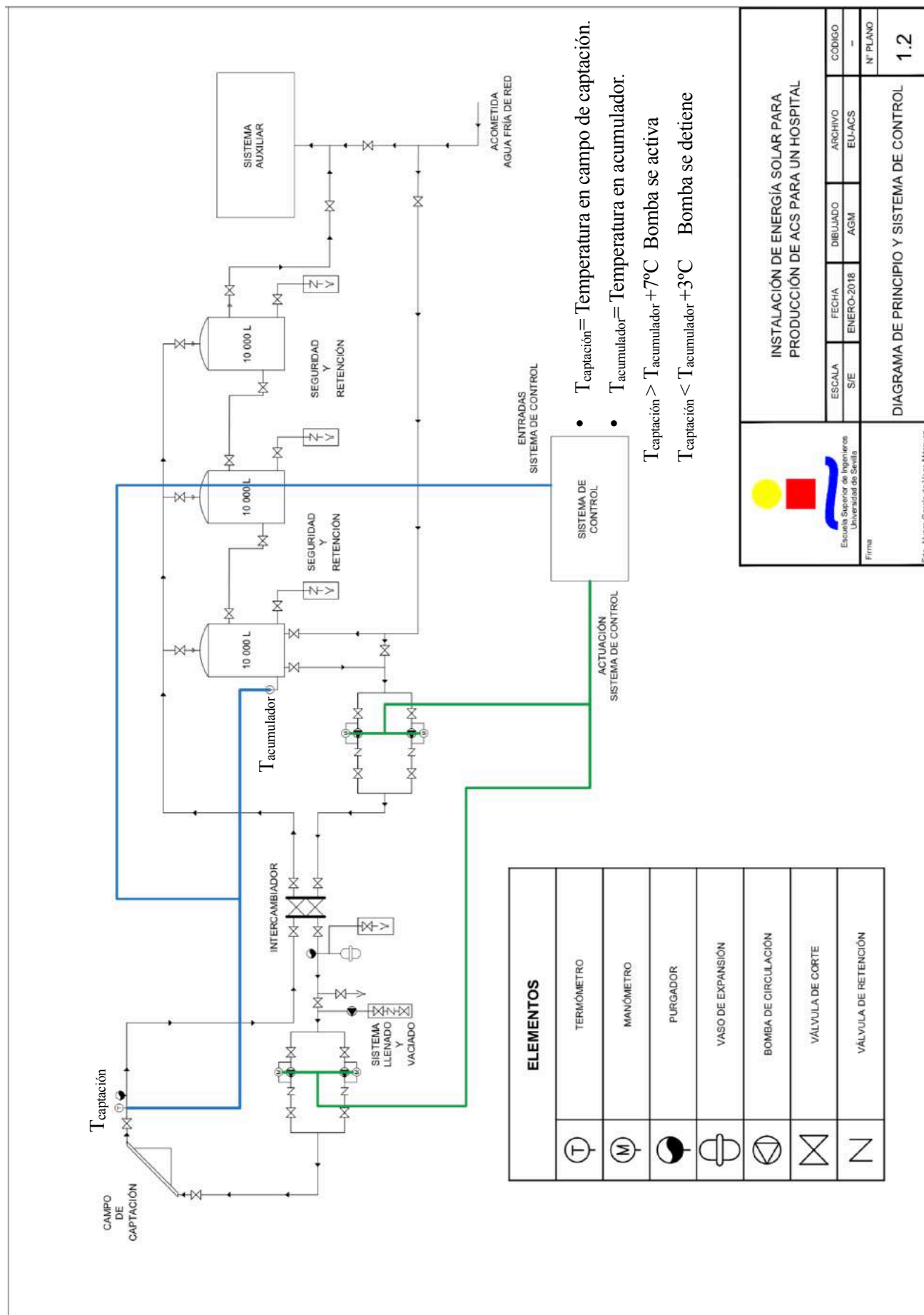


Figura 1.20. Principio de funcionamiento sistema de control.

## 1.5.2. Elementos principales de la instalación

### 1.5.2.1. Sistema de captación

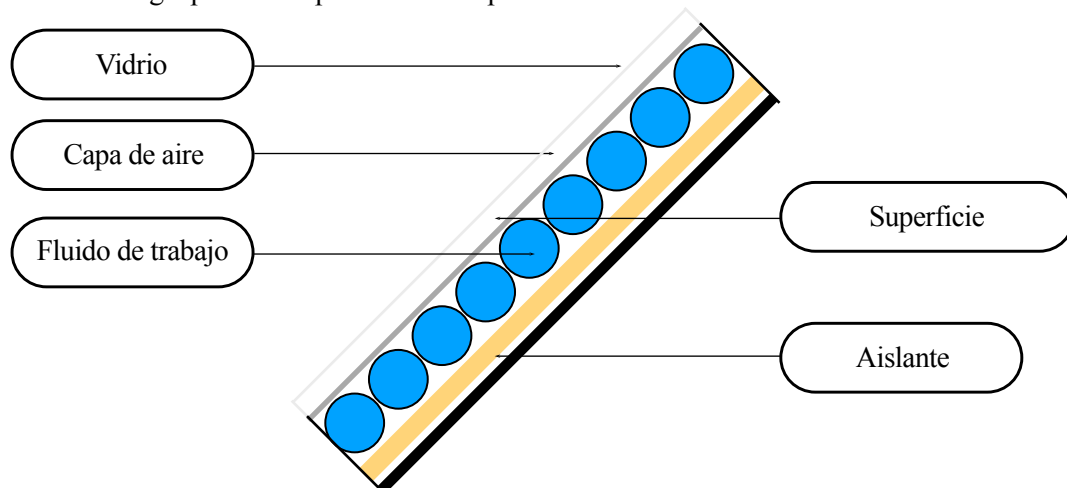
#### (a) Descripción

El captador solar plano es un intercambiador de calor que transforma energía radiante solar en energía térmica que aumenta la temperatura de un fluido de trabajo contenido en el interior del captador. Es un captador sin concentración, sin sistema de seguimiento y que capta tanto la radiación directa como difusa.



**Figura 1.21.** Captador solar plano.

Los captadores planos destinados a la producción de ACS, como se aprecia en la figura 1.20, están generalmente formados por una caja herméticamente cerrada cuyo lado superior es una superficie acristalada, que encapsula aire entre esta misma y la superficie absorbidora que se coloca a continuación. El vidrio superior conviene que sea transparente en longitudes de onda corta, propia de la radiación solar, pero actúe como un material opaco en longitudes largas, que se corresponde con la radiación reflejada por la superficie absorbidora. Se promueve así un efecto invernadero que impide la pérdida de ganancia térmica procedente de la radiación solar. La superficie absorbidora suele ser una placa de material conductivo (metal, algún plástico especial u otro material), con un espesor del orden de milímetros. Tras esta superficie se encuentran los tubos por los que circula el fluido de trabajo, y tras ellos una capa de material aislante que limite lo máximo posible la disipación de energía por la cara posterior del captador.



**Figura 1.22.** Esquema transversal de un captador solar plano.

### (b) Funcionamiento

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

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

### (c) Pérdidas energéticas

Al incidir los rayos solares sobre la superficie del captador se producen los siguientes intercambios energéticos entre los que destacan las siguientes pérdidas debido a la radiación y la convección, como se puede observar en la figura 1.21. Finalmente, solo alrededor del 60% de la radiación total es realmente aprovechada por el captador solar plano.

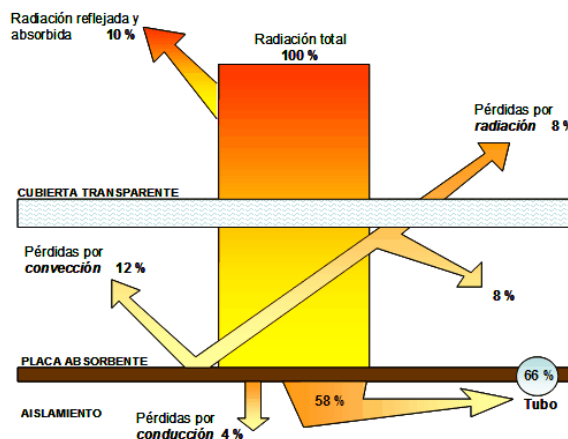


Figura 1.23. Pérdidas en un captador solar plano.

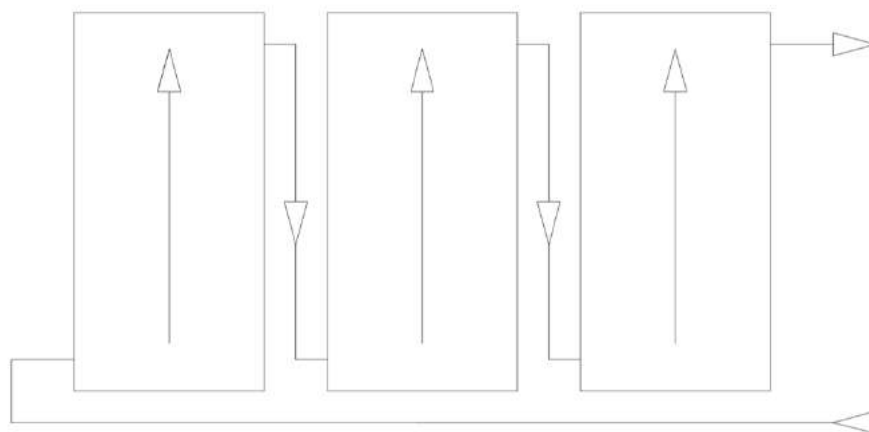
### (d) Tipo de conexiones

Los captadores en la mayoría de los casos no se instalan de forma individual, sino que se disponen en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie- paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.

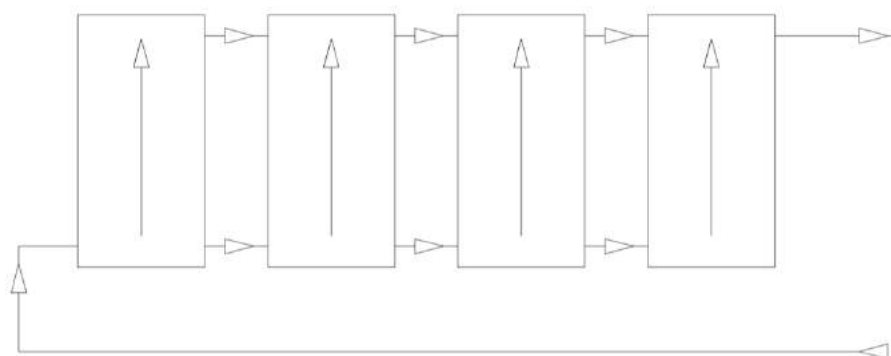
En la conexión en serie, hay que tener en cuenta que cuando un captador o conjunto de captadores se conecta en serie con otro captador o conjunto de captadores, se produce una mayor temperatura de salida del fluido de trabajo, reduciéndose los caudales totales producidos. Sin embargo, no todos los captadores trabajan con el mismo rendimiento, puesto que a medida que aumenta la temperatura de entrada de dicho fluido, el rendimiento del captador cae.

La conexión en paralelo tiene como característica principal que el rendimiento del sistema de captación es más uniforme, trabajando todas las zonas con temperaturas similares de entrada y salida. Como inconveniente se producen mayores caudales totales.

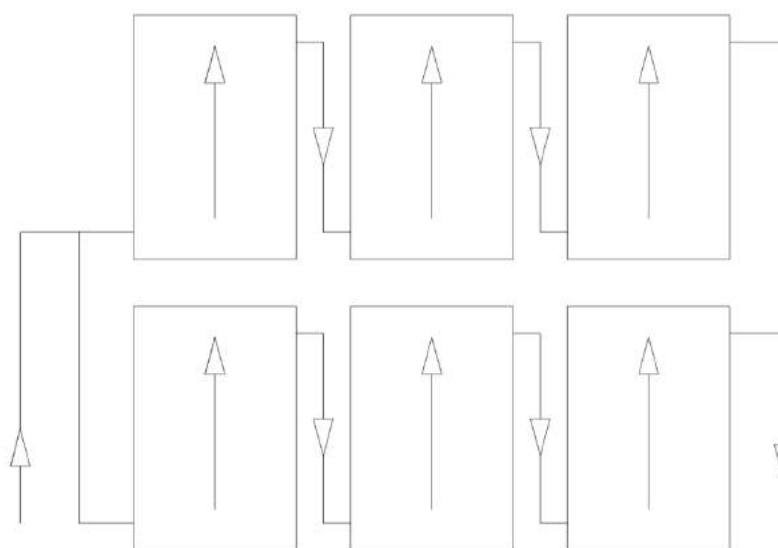
La conexión mixta serie-paralelo es adecuada para grandes instalaciones, permitiendo una reducción del caudal total a la vez de que se uniformiza parcialmente el rendimiento en distintas zonas de la instalación.



**Figura 1.24.** Conexión en serie.



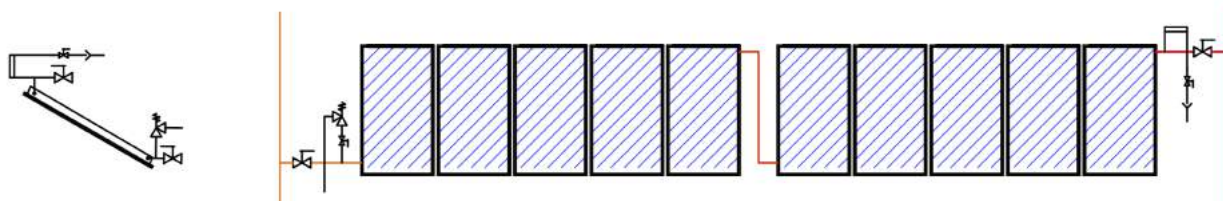
**Figura 1.25.** Conexión en paralelo.



**Figura 1.26.** Conexión de dos baterías de captadores en paralelo.



En lo referente a nuestra instalación, a efectos de minimizar las pérdidas energéticas en el circuito, se ha optado por una disposición mixta serie-paralelo, que garantiza cubrir la demanda de ACS que impone el CTE para nuestra zona geográfica, un 70%. Se instala con retorno invertido para garantizar el equilibrio hidráulico del circuito, y que la pérdida de carga unitaria por metro de tubería sea más constante en los diferentes tramos de la instalación.



**Figura 1.27.** Conexión en serie de 2 baterías de captadores de la instalación.

### (e) Orientación

La orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a unos límites establecidos. Para ello, se establece una orientación óptima que coincide con la orientación Sur geográfico y una inclinación de captadores equivalente a la latitud  $\pm 10^\circ$  del lugar. Los casos susceptibles de cambiar la disposición óptima de los captadores son la integración arquitectónica de los captadores o la superposición de los mismos, pudiendo generar sombras perjudiciales en el rendimiento del sistema.

Para esta instalación en concreto, con el criterio de aprovechar al máximo el área de captación disponible y de reducir en medida de lo posible las pérdidas de energía, los captadores tienen la misma orientación que el edificio (sur-este) y una inclinación de  $30^\circ$  con la horizontal coincidente con la latitud de la localidad en la que se encuentra  $\pm 10^\circ$ .

### 1.5.2.2. Sistema de acumulación

La energía que se recibe procedente del Sol no siempre coincide con los picos de demanda de ACS. Por ese motivo, para aprovechar lo máximo posible la energía que nos concede el Sol, es necesario acumular la energía obtenida en aquellos momentos del día en los que existe mayor radiación solar, para utilizarla posteriormente cuando se produzca la demanda.

Lo habitual es almacenar la energía en forma de calor en tanques de almacenamiento diseñados exclusivamente para ello. Según las características del depósito y los materiales con los que haya sido fabricado, podemos conseguir guardar la energía calórica ganadas durante más o menos tiempo; desde un ciclo de la noche al día has dos días máximo.

En cuanto a su forma, los depósitos dan mejores resultados cuando tienen forma cilíndrica y guardan una proporción de uno de ancho por dos de alto. Esto se debe al fenómeno de estratificación por el que el agua caliente disminuye su densidad y tiende a ascender por encima del agua fría, que pesa más. Cuanto mayor sea la altura del depósito, mayor será la diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior del tanque de almacenamiento.

También hay que tener en cuenta en relación al tamaño del depósito, que si este es demasiado pequeño se desperdiciará parte de la energía obtenida, mientras que si fuera demasiado grande no se podrán alcanzar las temperaturas requeridas para el correcto funcionamiento de la instalación. Es por esto que, a la hora de dimensionar la capacidad de acumulación del depósito a utilizar, se debe mantener un equilibrio conforme a la superficie de captación solar. Esta relación varía en función de los índices de radiación del lugar en el que se va a implantar la instalación, y en el caso de España, se establece una proporción adecuada entre los metros cuadrados de la superficie de captación y las dimensiones de los tanques de almacenamiento. Para producción de ACS, en las regiones con menos horas de sol, la relación es de 60 litros por  $m^2$  y en las regiones con más horas de sol, de 100 litros por  $m^2$ .

Los materiales de construcción de depósitos de agua caliente más adecuados y, por ende, más comunes en el



mercado son: el acero, el acero inoxidable, el aluminio y la fibra de vidrio reforzado. A la hora de la elección de un tanque de almacenamiento, este parámetro resulta crítico debido a que uno de los problemas más importantes de las instalaciones solares es la calidad del agua, ya que esta puede provocar corrosiones en dicho elemento. Por otro lado, es preferible evitar el uso de materiales de distinta naturaleza.

La instalación en cuestión dispone de un volumen total de acumulación de 30000 litros, distribuidos en 3 acumuladores idénticos dispuestos en serie de 10000 litros de capacidad cada uno, situados en el interior de la central térmica. Se ha optado por conectarlos entre sí en serie con el objeto de acentuar en medida de lo posible el fenómeno de estratificación térmica de los mismos.

#### **1.5.2.3. Sistema de intercambio**

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir el calor de un medio a otro. El medio a través del cual se produce este intercambio de calor es el que determina los distintos tipos de intercambiadores de calor que podemos encontrar.

Para la producción de agua caliente sanitaria, con el fin de conservar las características sanitarias establecidas se ha optado por la incorporación de un elemento que separe el fluido del circuito primario y secundario; esto es el intercambiador.

Las ventajas resultantes al separar los fluidos de trabajo en circuitos independientes son las siguientes:

- El circuito de agua primario se carga de un fluido que consiste en una mezcla de 80% agua y 20% glicol para evitar que este se congele, protegiendo la instalación frente a las heladas.
- Se procura utilizar un agua libre de cal. Al ser un circuito cerrado no hay que estar renovándola constantemente. Esto se traduce en un aumento de la vida útil de los captadores, puesto que la cal es uno de los agentes principales responsables de la corrosión de estos equipos.

El intercambiador de esta instalación está situado en el interior de la central térmica. Es un intercambiador de placas cuyo objeto es la transferencia de la energía calorífica del fluido del circuito primario al fluido del secundario.

#### **1.5.2.4. Sistema auxiliar**

El sistema de energía auxiliar es un elemento imprescindible en toda instalación solar si no se quieren sufrir restricciones energéticas en aquellos periodos en los que no hay suficiente radiación o el consumo es superior a lo previsto. Para prevenir estas situaciones, se cuenta con un apoyo basado en energías “convencionales”.

Con el fin de reducir al máximo posible la entrada en funcionamiento del sistema de energía de apoyo, es necesario la existencia de un mecanismo de control adecuado que gestione correctamente la instalación.

Para esta instalación en particular, se cuenta con un sistema auxiliar basado en la quema de gas como combustible.

#### **1.5.2.5. Sistema hidráulico**

El sistema hidráulico de la instalación comprende tanto el conjunto de tuberías que transportan los fluidos de trabajo, así como el resto de equipos que proporcionan la capacidad de regular el transporte de los mismos (válvulas, vasos de expansión, bombas...).

Los fluidos de trabajo son diferentes para el circuito primario y el secundario.

El fluido primario consiste en una mezcla de agua y glicol con base de glicol al 20%, pues esta mezcla previene la formación de depósitos mejorando la capacidad de transferencia térmica y ofrece protección contra las heladas.

Por otro lado, el fluido secundario es el agua potable procedente de red destinada al consumo.

##### **(a) Tuberías**

En primer lugar, conviene diferenciar las tuberías que forman parte del circuito primario y las que están destinadas al circuito secundario. El hecho de que las tuberías del circuito primario estén dispuestas en el exterior y que las del secundario en el interior, junto a que este último transporta el agua de consumo, obliga a que reciban un tratamiento diferente.

En las tuberías del circuito primario pueden utilizarse como materiales el cobre y el acero inoxidable, con

uniones roscadas, soldadas o embridadas.

En el circuito secundario, el circuito de servicio de ACS, puede utilizarse cobre y acero inoxidable. Además, también están permitidos materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito, siempre y cuando cumplan las normas UNE aplicables y las compañías de suministro de agua potable lo autoricen.

Para ambos circuitos se empleará como material el cobre por sus buenas propiedades para trabajar con mezclas de agua y glicol. A pesar de haber otras opciones en el mercado, se ha optado por el cobre puesto que es el más aconsejable para instalaciones de energía solar por ser resistente a la corrosión, económico, duradero y con una buena protección contra los contaminantes del suministro de agua doméstica.

Debido a que la red de tuberías discurre por el exterior es necesario dotarlas de un buen aislamiento que evite la mayor parte de las pérdidas térmicas.

Para realizar el dimensionado de las tuberías se realizará una división de la red en tramos cuya finalidad es seleccionar el diámetro adecuado del conjunto de tramos de tuberías y conocer la velocidad y pérdida de carga en cada uno de ellos. Comprobando si cumplen las especificaciones recogidas en el pliego de condiciones técnicas del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE).

### **(b) Bombas de circulación**

En las instalaciones de ACS se emplean bombas en el circuito primario para transferir calor desde los captadores hasta el fluido de trabajo; bombas en el secundario para transferir calor desde el circuito primario al secundario, y bombas de recirculación para la circulación del agua por todo el edificio. Este último grupo excede el alcance de este proyecto, por lo que nos centramos en los dos anteriores.

De nuevo, puesto que el circuito primario es un circuito cerrado y el secundario es abierto, los criterios de selección de estos equipos varían entre ambos circuitos.

El circuito primario, al ser cerrado, transporta agua muy poco agresiva, ya que tras las primeras purgas se elimina el oxígeno disuelto y habitualmente es un circuito que solo recibe agua nueva en las reparaciones o reposiciones,

El circuito secundario es un circuito abierto, en el que se está recibiendo de manera continua agua de consumo, la cual es mucho más agresiva con los materiales constitutivos de las instalaciones, además los materiales en contacto con dicha agua no deben modificar su potabilidad.

Siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

Para esta instalación, al tener una superficie de captación superior a 50 m<sup>2</sup>, se montan dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. Como se muestra en la figura 1.26, cada grupo de bombeo cuenta con válvulas de retención para evitar el sentido inverso de la corriente, así como válvulas de corte con el fin de poder realizar reparación o mantenimiento.

### **(c) Vasos de expansión**

Un vaso de expansión es un dispositivo de seguridad esencial en instalaciones de producción de ACS. Se instalan en los circuitos cerrados, preferentemente en las zonas más próximas a la aspiración de los grupos de bombeo, y tienen como función absorber los aumentos de presión derivados de la dilatación del fluido caloportador que se genera cuando la temperatura de dicho fluido aumenta.

El valor mínimo de la presión de trabajo de dicho dispositivo se fija procurando que ningún punto del sistema baje de la presión atmosférica, evitando la entrada de aire y favoreciendo su salida en los puntos de purga. También es importante cerciorar que no se forma vapor de agua en los puntos calientes de la red de transporte.

En el presente proyecto se ha colocado un vaso de expansión en la aspiración del grupo de bombeo del circuito primario (consultar figura 1.18). Entre las diversas opciones que ofrece el mercado se ha optado por un vaso de expansión de tipo cerrado, el cual consiste en un depósito cerrado herméticamente, cuyo interior se encuentra dividido en dos partes separadas por una membrana impermeable y elástica.

Para su diseño se ha seguido la norma UNE 1001155:2004 y como se trata de un circuito cerrado, se montará en la zona de aspiración de la bomba.

### 1.5.2.6. Sistema de regulación y control

El sistema de control y regulación de una instalación solar tiene como función asegurar el correcto funcionamiento de los elementos que conforman la instalación, que se traduce en la obtención de un buen aprovechamiento de la energía solar captada y un uso adecuado del sistema auxiliar de energía.

Comprende los siguientes sistemas:

- Control de funcionamiento del circuito primario y secundario.
- Sistemas de protección y seguridad de las instalaciones contra condiciones extremas tales como sobrecalentamientos y heladas.

El sistema de control se encarga de que no se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los diferentes materiales, componentes y tratamientos de circuitos. Para ello se emplea un módulo de control diferencial, un dispositivo electrónico que compara la temperatura de los captadores con la temperatura de la acumulación. Los sensores de temperatura del circuito primario se colocan a la salida de los captadores, mientras que los del secundario se instalan en la salida del sistema de acumulación. La actuación del sistema de control actuará sobre las bombas de ambos circuitos, determinando cuando han de estar funcionando y cuando no. Se distinguen los siguientes casos:

- Cuando la diferencia de temperaturas registrada entre el campo de captación y la acumulación o retorno sea inferior a 3 °C, el sistema asegura que las bombas no estén funcionando.
- Si la diferencia de temperaturas es superior a 7 °C, el sistema asegura que las bombas no están paradas.

El sistema de control se encarga también de que en ningún punto de la instalación el fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura 3 °C superior a la de congelación del mismo.

Otra función del sistema de control es optimizar el uso del sistema de apoyo convencional. Para ello se dispone de la información recogida por el sensor de temperatura colocado en la salida del sistema de acumulación, la cual establece cuando debe de entrar en funcionamiento el sistema auxiliar y cuando no. Si la temperatura del agua de consumo (salida del sistema de acumulación) es inferior a la temperatura de consumo más 5°C, el sistema auxiliar entrará en funcionamiento.

En la figura 1.20 se observan los principales componentes y su ubicación del sistema de control para la instalación en cuestión.

## 1.6. Características técnicas

### 1.6.1. Captadores solares

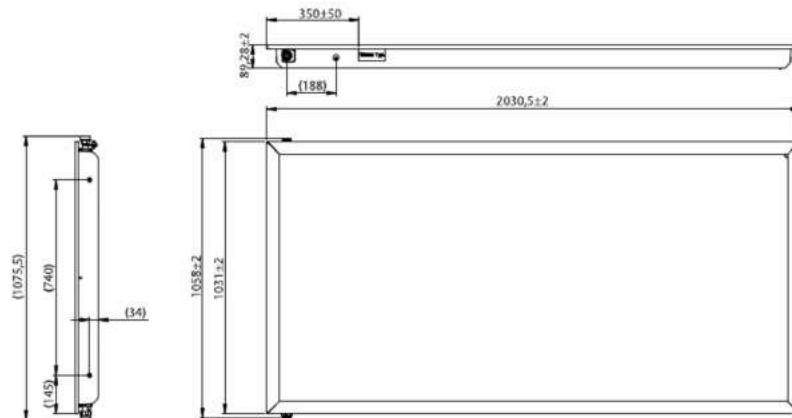
Los captadores empleados en la instalación son de la marca TERMICOL. El modelo forma parte de la gama de captadores ultraselectivos T-US, concretamente es el 20TUS.

Características técnicas del captador:

- Superficie bruta: 2,02 m<sup>2</sup>.
- Superficie neta: 1,9 m<sup>2</sup>
- Dimensiones totales: 2130 x 970 x 83 mm.
- Cubierta: Vidrio templado con bajo contenido en hierro.
- Aislamiento: Tipo manta de lana de vidrio de gran espesor.
- Absorbedor: multibanda, de aluminio con soldadura ultrasónica.
- Número de tubos: 8.
- Capacidad de fluido: 1,02 litros.
- Peso en vacío: 35 kg.



**Figura 1.28.** Captador solar plano TERMICOL T20US.



**Figura 1.29.** Dimensiones captador solar plano TERMICOL T20US.

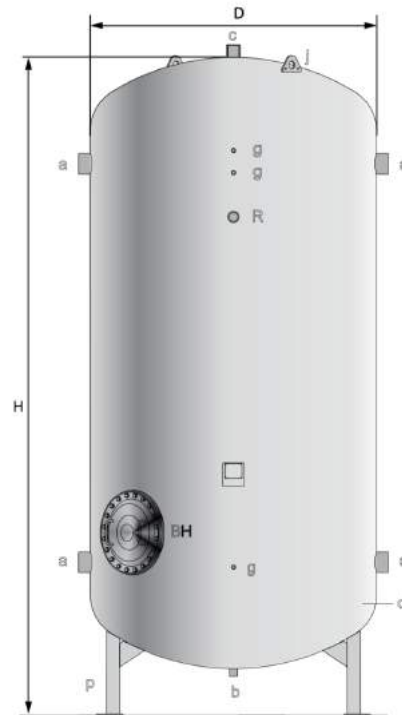
- Presión máxima de trabajo: 6 atm.
- Rendimiento óptico: 80,1 %.
- Coeficiente de pérdidas  $k_1$ : 3,93 W/m<sup>2</sup>K.
- Coeficiente de pérdidas  $k_2$ : 0,026 W/m<sup>2</sup>K.
- Sistema de fijación: Es necesario adquirir los elementos de fijación aparte

### 1.6.2. Acumulador

Hemos seleccionado un depósito de inercia de capacidad industrial, concretamente el modelo MV-10-IB del fabricante LAPESA. Dicho depósito cuenta con las siguientes características técnicas:

- Capacidad de acumulación de ACS: 1000 litros.
- Material: Acero al carbono S235JR.
- Temperatura máxima de trabajo de ACS: 110 °C.

- Presión máxima de trabajo: 6 bar.
- Presión máxima circuito de calentamiento: 25 bar.
- Boca de hombre lateral: DN400.
- Tratamiento interno: limpio de partículas.
- Tratamiento externo: imprimación antioxidante.
- Instalación: vertical.
- Diámetro exterior (D): 1750 mm.



**Figura 1.30.** Acumulador LAPESA MV-10-IB.

- Altura total (H): 5013 mm.
- Peso en vacío: 12430 kg.
- Ofrece la posibilidad de instalar resistencias eléctricas de calentamiento, aislamiento y forro flexible de PVC para trabajar a la intemperie, pero no es el caso de esta instalación.

### 1.6.3. Intercambiador de calor

Como equipo de intercambio se ha optado por un intercambiador de placa termosoldado de la marca ALFA LAVAL, modelo CB110-38M.

Estas son sus especificaciones:

- Número de placas: 38.
- Área de intercambio: 616x191 mm.
- Potencia: 200 kW.
- Material: Acero inoxidable.
- Caudal primario: 18,3 m<sup>3</sup>/h.
- Caudal secundario: 17,4 m<sup>3</sup>/h.
- Salto térmico en primario: 15 °C.

- Salto térmico en secundario: 15 °C.
- Pérdida de carga en primario: 3,5 m.c.a.
- Pérdida de carga en secundario: 2,8 m.c.a.
- Presión máxima de trabajo: 10 bar.



**Figura 1.31.** Intercambiador ALFA LAVAL modelo CB110-38M.

#### 1.6.4. Bomba de circulación

La bomba de circulación del circuito primario es de la marca WILO, modelo VEROTWIN DPL 32/135-1,5/2, en su versión de 2 polos. Es una bomba doble de construcción Inline con dos bombas centrífugas de rotor seco de una etapa en una carcasa común con clapeta de conmutación en la boca de impulsión.

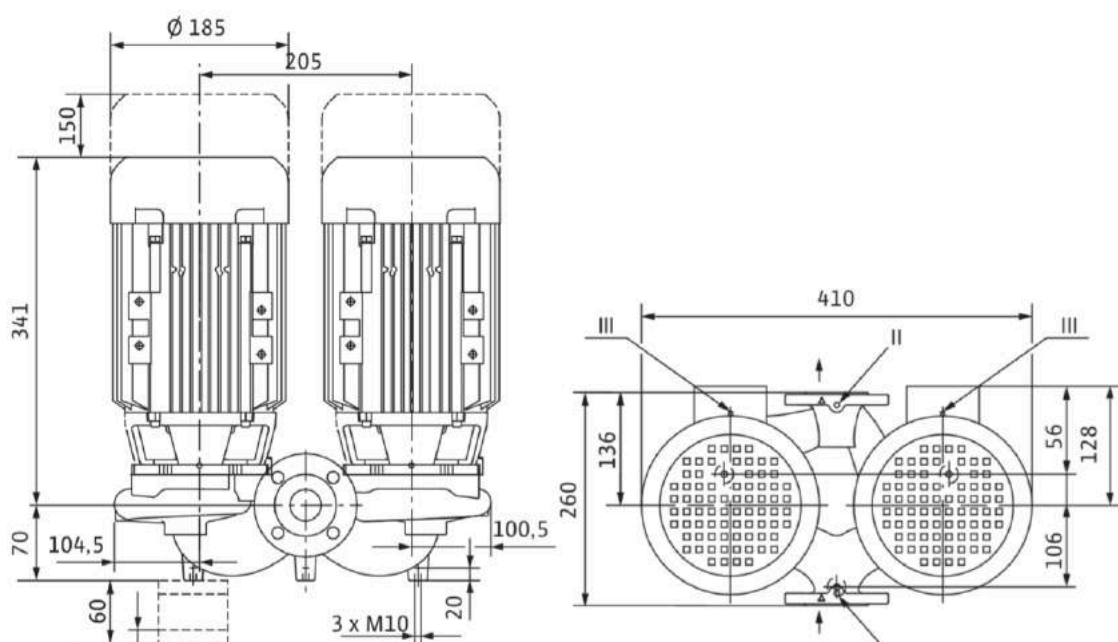
Cuenta con las siguientes especificaciones:

- Máxima presión de trabajo: 10 bar.
- Número de polos: 2
- Peso: 52,5 kg.
- Rango de temperatura: -20 °C a 120 °C.

- Temperatura ambiente máxima: 40 °C.
- Alimentación eléctrica: 1-230V, 50 HZ.
- Consumo de potencia nominal: 1,1 kW.
- Para un caudal de 16 m<sup>3</sup>/h , gradiente de presión equivalente a 14 m.c.a.
- Dimensiones: figura 1.32.



**Figura 1.32.** Bomba WILO modelo VEROTWIN DPL 32/135-1,5/2.



**Figura 1.33.** Dimensiones bomba WILO VEROTWIN DPL32/135-1,5/2.

### 1.6.5. Vaso de expansión

Para el vaso de expansión, se ha elegido el modelo SW60 de la empresa IMERA que cuenta con las siguientes características:



**Figura 1.34.** Vaso de expansión IMERA SW60.

- Presión máxima de trabajo: 8 bar.
- Presión precarga: 1,5 bar.
- Temperatura mínima: -10°C.
- Temperatura máxima: 100 °C.
- Capacidad: 60 litros.
- Conexiones:  $\frac{3}{4}$  ''
- Membrana recambiable en goma DPM.
- Diámetro: 365 mm.
- Alto: 668 mm.

## 1.7. Normativa

Se procederá a describir e indicar las normas de obligado cumplimiento que hemos seguido para diseñar nuestra instalación solar térmica.

### 1.7.1. Código técnico de la Edificación HE-4

- Contribución solar mínima

La localidad de Jerez de la Frontera está situada en una zona climática V en el mapa de irradiación de España y



por lo tanto, se debe cumplir que la vivienda tenga una demanda cubierta del 70%.

Con los cálculos realizados, podemos garantizar que la fracción solar cubierta es del 70%.

- Contribución solar máxima

La norma limita que en ningún mes se pueda superar el 110% de la instalación y no más del 100% en más de tres meses. En los cálculos realizados en el apartado 2.4, observamos que alcanzamos el 100% en tres meses, lo que no es impedimento para que cumpla la norma.

- Sistema de acumulación solar y conexión de sistema de generación auxiliar.

La norma establece que para la aplicación de ACS, el volumen de captación tendrá un valor tal que se cumpla la condición  $50 < V/A < 180$ , donde V es el volumen de acumulación solar medido en litros y A el área de los captadores. Como la instalación tiene una relación V/A de 78,95 (ver apartado 2.5) está dentro de dichos límites.

Por otro lado, se prohíbe la conexión de un sistema de generación auxiliar en el acumulador. Esto se cumple en la instalación como se puede observar en el esquema de principio de la misma (ver figura 1.19).

- Límite de pérdidas

Para el caso general las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida serán del 10%, las pérdidas máximas por sombras un 10% y las pérdidas totales permitidas serán de un 15%.

Con los cálculos obtenidos en el apartado 2.4.3 certificamos que nuestra instalación no supera el límite máximo de pérdidas que impone el RITE:

### 1.7.2. Norma UNE

- UNE 100155

Empleada para el dimensionamiento del vaso de expansión.

- UNE 94002

Describe el cálculo de la demanda de energía térmica para instalaciones solares térmicas para producción de ACS tabulando los valores a emplear de consumo de agua caliente, temperatura de referencia y de agua fría de cada provincia.

- UNE 94003

Recoge los datos climáticos para el dimensionado de instalaciones térmicas. Se ha utilizado para los cálculos de temperaturas y radiaciones en la localidad de Jerez de la Frontera realizando las distintas correcciones por altura.

### 1.7.3. Reglamento de instalaciones térmicas en la edificación (RITE)

- Aislamiento térmico (IT 1.2.3.2.1)

Para evitar pérdidas de energía, todas las tuberías, accesorios y equipos de la instalación deben estar aislados térmicamente. Esta norma recoge el cálculo del espesor mínimo de aislamiento según un proceso simplificado.

En el presente proyecto se seleccionan los espesores de aislamiento cumpliendo dicha instrucción como se detallará en el apartado correspondiente.

- Control automático (IT 2.3.4)

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 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

1. Código técnico de la edificación (CTE), sección HE 4.

2. IDAE-“Reglamento de instalaciones térmicas en edificios” 2013
3. AEONOR Norma UNE 100-155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” 2004.
4. AEONOR Norma UNE 94002 “Instalaciones solares térmicas para producción de aguacaliente sanitaria” 2005.
5. AEONOR Norma UNE 94003 “Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones térmicas” 2007.
6. <http://www.aenornor.es>
7. <http://www.idae.es>
8. <http://www.lapesa.es>
9. <http://www.termicol.es/>
10. <http://www.wilo.com>
11. <http://www.imer.it>



## 2. MEMORIA DE CÁLCULO

### 2.1. Introducción

En el presente apartado se van a detallar los cálculos necesarios para el dimensionado de una instalación solar térmica de baja temperatura, la cual tiene por objeto la producción de agua caliente sanitaria en el Hospital Jerez de la Frontera.

Se definen los equipos que conforman la instalación, así como su configuración dentro de la misma. Para ello se han seguido las directrices señaladas por la normativa española correspondiente.

### 2.2. Datos de partida

#### 2.2.1. Parámetros generales del edificio

El edificio en cuestión cuenta con los siguientes datos geográficos y climáticos generales:

Hospital Jerez de la Frontera	
Localidad	Jerez de la Frontera
Altura sobre el nivel del mar (m)	60
Latitud	36° 41'
Longitud	-6° 8'
Orientación	Sur-oeste
Número de camas	400
Zona climática	V

Tabla 2.1. Datos generales del edificio.

La norma UNE:94003:2007 diferencia hasta 5 tipos de zonas climáticas diferentes a lo largo de todo el país, según la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal (H) que reciba un emplazamiento determinado. Así, aquellas zonas que superen el valor de 18 MJ/m<sup>2</sup> en términos de H, pertenecen a la zona climática V, como es el caso de esta localidad en concreto ( $H_{\text{Jerez}} = 19,03 \text{ MJ/m}^2$ ).

#### 2.2.2. Parámetros climáticos

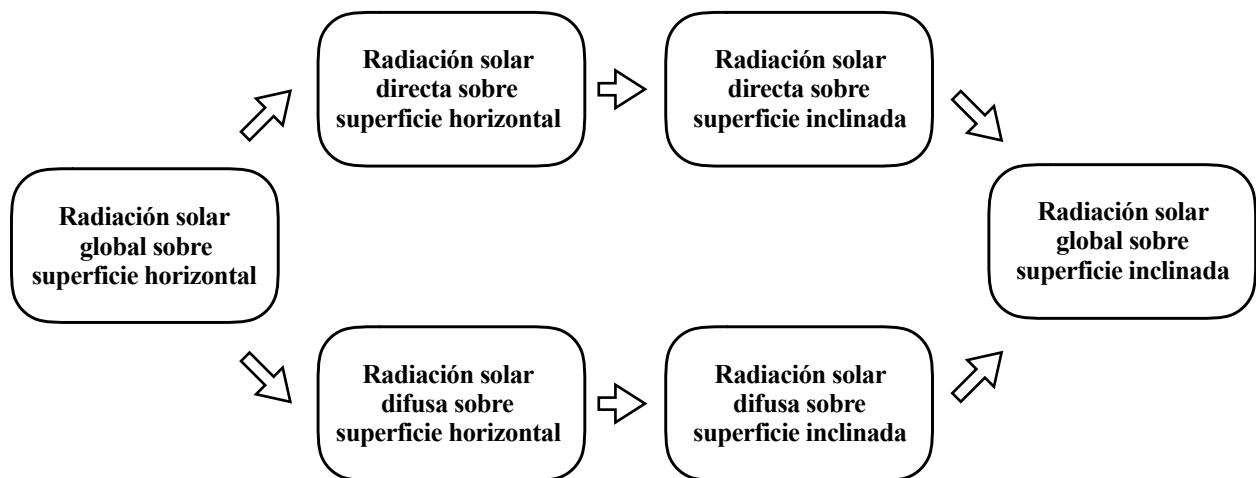
La herramienta de cálculo utilizada, el software CHEQ4, proporciona una serie de datos climáticos referentes a la localización geográfica de nuestra instalación. De este modo, los datos ambientales anuales facilitados para la localidad de Jerez de la Frontera se presentan en la siguiente tabla:

La irradiación global media mensual sobre superficie horizontal hace referencia a la potencia media de la radiación que incide en el período de un mes, sobre la superficie horizontal equivalente a un m<sup>2</sup>. Este término engloba la potencia de radiación directa y difusa. Debido a que el campo de captadores de nuestra instalación tiene una inclinación diferente a la horizontal, conviene hacer la siguiente distinción:

La radiación directa es aquella componente de la radiación solar recibida sin modificar su dirección al atravesar la atmósfera terrestre. La dirección de la misma varía en función de la situación geográfica y del la época del año. Por otro lado, la radiación difusa corresponde a la componente de radiación que se recibe después de modificar su dirección al atravesar la atmósfera como consecuencia de la dispersión atmosférica.

Mes	Irradiación global media mensual sobre superficie horizontal(MJ/m <sup>2</sup> )	Temperatura ambiental media (°C)
Enero	10,0	12,3
Febrero	13,4	13,0
Marzo	18,1	14,2
Abril	22,9	15,7
Mayo	26,2	18,2
Junio	28,4	21,0
Julio	28,7	23,5
Agosto	25,6	24,0
Septiembre	20,9	23,0
Octubre	14,9	19,6
Noviembre	10,7	15,6
Diciembre	8,6	12,8

**Tabla 2.2.** Radiación y temperatura ambiente para Jerez de la frontera según la norma UNE 94003:2077.



**Figura 2.1.** Desglose de las distintas componentes de la radiación.

Los valores de radiación global sobre una superficie horizontal difieren con los valores de radiación que recibe esa misma superficie con una cierta inclinación. En tanto en cuanto la superficie aumente su inclinación sobre la horizontal, mayor será la diferencia entre ambos valores.

Como nuestro campo de captación dispone de captadores inclinados 30° sobre la horizontal, se procede a calcular el valor de radiación solar global sobre dicha superficie. Este proceso de cálculo se va a dividir en dos pasos fundamentales, aplicándose cada uno de ellos para cada mes:

#### 2.2.2.1. Descomposición de la radiación global diaria en sus componentes directa y difusa

$$H = H_D + H_d$$

Donde:

- $H$  : Radiación solar global media mensual sobre superficie horizontal (MJ/m<sup>2</sup>·día).

- $H_D$ : Radiación solar directa media mensual sobre superficie horizontal (MJ/m<sup>2</sup>·día).
- $H_d$ : Radiación solar difusa mensual sobre superficie horizontal (MJ/m<sup>2</sup>·día).

Índice de claridad media mensual ( $k_t$ ):

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

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

Donde:

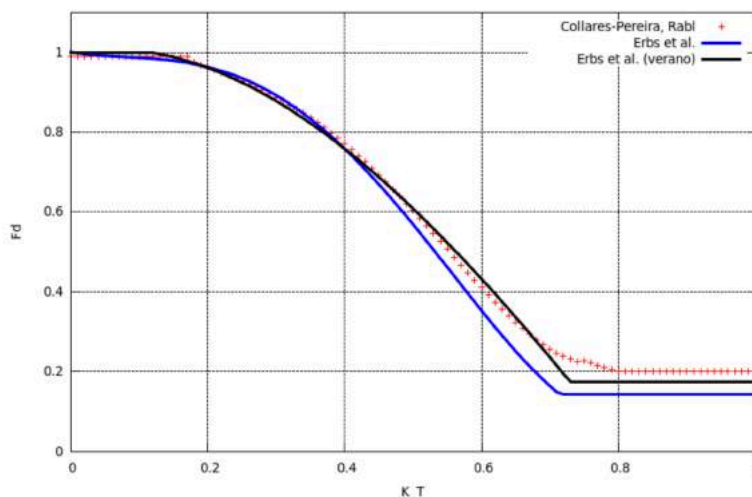
- $H_o$ : Radiación solar extraterrestre media mensual en una superficie horizontal (MJ/m<sup>2</sup>·día).
- $G_{cs}$ : Constante solar.  $G_{cs} = 1367(W/m^2)$
- $n$ : Día del año.
- $\delta$ : Declinación. Posición angular del sol en el mediodía solar con respecto al plano del ecuador. Varía en función del día del año de la siguiente manera:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(360 \cdot \frac{284 + n}{365})$$

- $\phi$ : Latitud del emplazamiento del edificio. En este caso
- $\omega_s$ : Ángulo horario.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi)$$

Mediante la correlación desarrollada por Erbs, se puede calcular la fracción de la componente difusa de la radiación diaria media mensual sobre una superficie horizontal:



**Figura 2.2.** Fracción de componente difusa para verano e invierno.

Se observa la ligera variación de la curva en función de la época del año que se trate. Por ello se ha dividido el año en dos situaciones: invierno y resto del año. Ambas divisiones tienen una curva característica asociada, y han sido ajustadas de la siguiente manera:

- $\omega_s \leq 81,4^\circ$ : caso de invierno.

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

- $\omega_s > 81,4^\circ$ : caso de primavera, verano u otoño.

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

### 2.2.2.2. Cálculo de radiación global diaria mensual sobre superficie inclinada

El valor de la componente de la radiación directa se modifica según varíe el siguiente término  $R_D$ , el cual depende de la inclinación de nuestro captador. Dicha variación queda definida por la siguiente expresión:

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

$$\omega'_s = \min[\cos^{-1}(\tan(\phi - s) \cdot \cos(\delta))]$$

Donde:

- $s$ : inclinación del captador. En nuestro caso:  $s = 30^\circ$

La radiación global diaria mensual sobre superficie inclinada viene caracterizada por la siguiente expresión:

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

Donde:

- $s$ : inclinación del captador. En nuestro caso:  $s = 30^\circ$
- $\rho$ : reflectividad del entorno del captador. Lo suponemos conocido, y con valor:  $\rho = 0,2$

## 2.3. Cálculo de la demanda

### 2.3.1 Cálculo del consumo de agua

El CTE, sección HE-4, establece unos valores de demanda unitarios que tienen como función determinar la fracción solar mínima a abastecer mediante la aplicación de la siguiente tabla. Estas demandas de ACS tienen como referencia un valor de temperatura final en el acumulador de  $60^\circ\text{C}$ .

La tabla 2.3. muestra los valores de demanda unitarios, para una temperatura de referencia de  $60^\circ\text{C}$ , establecidos por el CTE para edificios regulares. Esta demanda varía en función de la actividad que se desarrolle en el edificio.

Por tanto, la demanda media diaria de ACS, en referencia a una temperatura de  $60^\circ\text{C}$  para el Hospital de Jerez de la frontera es:

$$Q_{ACS} = 55 \frac{\text{litros}}{\text{dia} \cdot \text{persona}} \cdot 400 \text{ personas} = 22000 \frac{\text{litros}}{\text{dia}}$$

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	Unidad
Vivienda	28	Por persona
<b>Hospitales y clínicas</b>	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 2.3.** Demanda de referencia a 60 °C.

### 2.3.2. Demanda energética

A la hora de relacionar los datos de radiación recibida y demanda de ACS, se va a expresar dicha demanda en términos de energía requerida para su producción.

Dado que los datos de radiación con los que opera nuestra herramienta de cálculo tiene una base temporal mensual, los datos de demanda obtenidos en el apartado anterior han de ser referidos en una base temporal equivalente.

Por tanto, por medio de esta ecuación de balance, se determina la demanda de energía térmica mensual:

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

Donde:

- $L_{ACS}$  :Demanda de energía (J/mes).
- $Q_{ACS}$  :Consumo unitario diario medio (l/día).
- $\rho_{agua}$  :Densidad del agua, para nuestro caso, 1 kg/l.



- $c_p$ : Calor específico del agua, constante e igual a 4190 J/kg·K
- $T_{ac}$ : Temperatura de referencia del agua caliente. Según el CTE- HE4, 60 °C.
- $T_{af}$ : Temperatura del agua de red o temperatura del agua fría. Su valor medio mensual aparece tabulado por provincias en el CTE- HE4.
- $\Delta t$ : Número de días del mes correspondiente (días).

Mes	Temperatura diaria media mensual de agua fría. $T_{ac}$ (°C)	Demanda energética mensual (MJ/mes)
<b>Enero</b>	11,7	138021,11
<b>Febrero</b>	11,7	124664,23
<b>Marzo</b>	12,7	135163,53
<b>Abril</b>	13,7	128038,02
<b>Mayo</b>	15,7	126590,79
<b>Junio</b>	17,7	116976,42
<b>Julio</b>	18,7	118018,05
<b>Agosto</b>	19,7	115160,47
<b>Septiembre</b>	18,7	114211,02
<b>Octubre</b>	16,7	123733,21
<b>Noviembre</b>	13,7	128038,02
<b>Diciembre</b>	11,7	138021,11

**Tabla 2.4.** Demanda energética y temperatura del agua de red mensual en Jerez de la frontera.

## 2.4. Cálculo de la superficie de captación

### 2.4.1. Determinación de la fracción de demanda cubierta anual

La fracción de demanda cubierta anual aportada por la energía solar ( $f$ ) es el parámetro principal para caracterizar el comportamiento de la instalación de ACS. Dicho parámetro queda definido por la siguiente expresión:

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

Donde:

- $Q_{solar}$ : Potencia térmica útil captada a lo largo de un año.
- $Q_{consumida}$ : Potencia térmica consumida por la instalación de ACS durante el transcurso de un año.

El CTE sección HE-4, establece la fracción de demanda cubierta anual mínima por una instalación solar de ACS según dos factores: la zona climática en la que esté situada y la demanda de ACS del edificio al que aplique.

Demanda total de ACS del edificio (l/día)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5000	30	30	40	50	60
5000 - 10000	30	40	50	60	70
>10000	30	50	60	70	70

**Tabla 2.5.** Contribución solar mínima anual para ACS en %.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la norma UNE:94003:2007 califica a la localidad de Jerez de la Frontera como zona climática V. Esto junto a que la demanda total del edificio es superior a 10000 litros diarios, establece un valor de fracción de cobertura mínimo del 70%.

Haciendo uso del software de cálculo CHEQ4, se puede calcular los valores de  $f$  según el área de captación que consideremos oportuno utilizar. Pero antes es necesario definir los siguientes valores geométricos y técnicos de los captadores empleados:

- Inclinación de los captadores: 30° respecto a la horizontal.
- Acimut: -40°.
- Rendimiento óptico:  $\eta_0 = 0,781$
- Factor lineal de pérdidas:  $a_{01} = 3,83 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$
- Modificador del ángulo de incidencia:  $k_{50} = 0,81$
- Número de captadores en serie:  $N_s = 2$
- Curva de rendimiento del captador:

$$\eta = 0,801 - 3,93 \cdot \frac{T_{\text{entrada}} - T_{\text{ambiente}}}{G}$$

Donde:

- $T_{\text{entrada}}$  : Temperatura de entrada al captador del fluido de trabajo.
- $G$  : Radiación solar, equivalente a 1000 W/m².

Número total de captadores	150	160	170	180	190	200	210	220
Área de captación empleada (m²)	285	304	323	342	361	380	399	418
Fracción de demanda cubierta ( $f$ )	0,58	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,71	0,73

**Tabla 2.6.** Fracción de la demanda cubierta en función del área.

La norma impone para este caso un valor mínimo de fracción de demanda cubierta del 70%, por lo que será suficiente la implantación de 200 captadores. Esto se traduce en un área de captación de 380 m².

## 2.4.2. Disposición de los captadores

Se ha optado por una configuración mixta serie-paralelo, en la que los captadores se agrupan en grupos de dos baterías de cinco captadores cada una, conectadas en serie. Por tanto, se tiene conexión en paralelo con 2 captadores en serie.

Esta configuración es adecuada para la envergadura de esta instalación, ya que permite alcanzar un equilibrio

entre el caudal total de fluido empleado y el rendimiento de la instalación.

Número de captadores en serie	1	2	3	4	5
Caudal del circuito primario (l/h)	27360	13680	9120	6840	5472
Fracción de demanda cubierta (f)	0,77	0,70	0,62	0,55	0,48

**Tabla 2.7.** Fracción de la demanda cubierta en función de la configuración de los captadores.

### 2.4.3. Pérdidas debido a la orientación, a la inclinación y a las sombras

La orientación que se ha elegido para el campo de captación a sido orientación sur-oeste, con un ángulo de acimut de 40°, coincidente con la orientación del edificio. A pesar de que el CTE recomienda orientación sur (acimut equivalente a 0°), se ha optado por los 40° de acimut en vista a un máximo aprovechamiento de la superficie de captación disponible.

En cuanto a la inclinación de los captadores se ha tenido en cuenta que el CTE, para edificios cuya demanda sea constante a lo largo del año, recomienda una inclinación equivalente a la latitud del emplazamiento de la instalación con un error de  $\pm 10^\circ$ . En este caso, la latitud de Jerez de la Frontera es de 36°, por lo que se ha optado por una inclinación de 30° debido a que el sistema de sujeción de captadores se adapta únicamente a ciertos ángulos concretos, siendo 30° uno de ellos.

Una vez establecidos los valores de inclinación y orientación de los captadores, queda comprobar que estas condiciones de operación entran dentro de los límites de operación que establece el CTE. Para ello se han de corregir los límites de inclinación aceptables en función de diferencia de latitud entre la localidad en cuestión (36,698°) y la de referencia (41°).

$$\begin{aligned}\beta_{max/min} &= \beta_{(max/min)Ref} - (\beta_{Ref} - \beta_{opt}) \\ \beta_{max} &= \beta_{maxRef} - (\beta_{Ref} - \beta_{opt}) = 60^\circ - (41^\circ - 36,698^\circ) = 55,698^\circ \\ \beta_{min} &= \beta_{minRef} - (\beta_{Ref} - \beta_{opt}) = 8^\circ - (41^\circ - 36,698^\circ) = 3,698^\circ\end{aligned}$$

Donde:

- $\beta_{max/min}$  : inclinación máxima o mínima aceptable para la latitud de Jerez de la Frontera.
- $\beta_{(max/min)Ref}$  : inclinación máxima o mínima permitida para la latitud de referencia, en este caso 41°.

$$\beta_{max} = 60^\circ$$

$$\beta_{min} = 8^\circ$$

- $\beta_{ref}$  : inclinación óptima de referencia, coincidente con la latitud de referencia, 41°.
- $\beta_{opt}$  : inclinación óptima para la instalación, coincidente con la latitud de Jerez de la Frontera, 36,698°.

De manera que el rango de inclinación aceptable para el captador solar oscila entre el siguiente rango de valores: 55,698° y 3,698°. Por tanto, una inclinación de 30° cumple los requisitos establecidos por el CTE.

Las pérdidas atribuidas a los valores de inclinación y orientación, 30° y 40° de acimut respectivamente, para instalaciones generales como esta no deben superar el valor máximo establecido por el CTE del 10%. Como la inclinación de los captadores solares está comprendida entre los 15° y los 90°, estas pérdidas se estiman por medio de la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}\text{Pérdidas}(\%) &= 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2] \\ \text{Pérdidas}(\%) &= 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (30^\circ - 36,698^\circ)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot (40^\circ)^2] = < 10 \%\end{aligned}$$

Donde:

- $\alpha$ : ángulo de acimut, en esta caso 40°.

$$\text{Pérdidas}(\%) = 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (30^\circ - 36,698^\circ)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot (40^\circ)^2] = 6,14 < 10 \%$$

Queda así demostrado que la configuración seleccionada cumple con todas las exigencias mínimas impuestas en el CTE.

Respecto a las pérdidas debido a las sombras, se puede afirmar que son nulas debido a que no existe ningún obstáculo cercano al campo de captación que pueda proyectar sombras sobre el mismo.

## 2.5. Cálculo del volumen de acumulación

El CTE-HE sección 4 obliga a la instalación de un sistema de acumulación tal que cumpla la siguiente condición:

$$50 < \frac{V_{\text{acumulacion}}}{A_{\text{captacion}}} < 180$$

Donde:

- $A_{\text{captacion}}$ : suma de las áreas de los captadores ( $\text{m}^2$ ).
- $V_{\text{acumulacion}}$ : volumen de la acumulación solar (litros).

Para su diseño, mediante el uso de nuevo del software CHEQ4, se va a estudiar que volumen de acumulación nos permite mantener la fracción de demanda cubierta por encima del mínimo establecido cumpliendo la relación anterior. Contando con los siguientes datos, se procede a estudiar el impacto del volumen de acumulación en el valor del término  $f$ .

- $A_{\text{captacion}} = 380 \text{ (m}^2\text{)}$ .
- $N_s = 2$
- $\beta = 30^\circ$
- $\alpha = 40^\circ$

Relación V/A	Fracción de demanda cubierta ( $f$ )	Volumen de acumulación (l)
50	0,68	19000
60	0,68	22800
70	0,69	26600
80	0,70	30400
90	0,70	34200
100	0,71	38000

**Tabla 2.8.** Fracción de la demanda cubierta en función del volumen de acumulación.

Observamos que para un volumen de acumulación de 30400 litros, correspondiente a una relación V/A igual a 80, se cumple la fracción de demanda cubierta mínima. A efectos técnicos, un único depósito de 30400 litros tendría una dimensiones inabordables. Como solución se ha optado por la instalación de 3 depósitos conectados en serie que tengan una capacidad de acumulación equivalente.

A la hora de estudiar la oferta de mercado de depósitos, se observa que un valor de acumulación común es de 10000 litros. Es por ello que se va a estudiar el comportamiento de la instalación para un volumen de acumulación de 30000 litros, con 3 depósitos de 10000 litros dispuestos en serie.

Relación V/A	Fracción de demanda cubierta (f)	Volumen de acumulación (l)
78,95	0,70	30000

**Tabla 2.9.** Fracción de la demanda cubierta para un volumen de acumulación de 30000l.

Como se observa en la tabla anterior, la instalación sigue cubriendo los requisitos de fracción de demanda cubierta.

## 2.6. Cálculos sobre la red de tuberías

### 2.6.1. Fluido del circuito primario

A la hora de seleccionar el fluido de trabajo, el CTE establece una imposición para seleccionar el fluido más oportuno que circule por el circuito primario. Dicha imposición consiste en evaluar el comportamiento del fluido seleccionado bajo unas condiciones extremas de operación, que es la menor temperatura a la que trabajará la instalación. El objetivo es evitar congelaciones en el circuito primario. Para corroborar el correcto trabajo del fluido del lado de la seguridad, se diseña para una temperatura 5 °C menor a la mínima histórica registrada en la localidad de Jerez de la Frontera.

La temperatura mínima histórica registrada en Jerez de la Frontera es de -5,4 °C. Así, la temperatura de diseño será de -10,4 °C. Para estas condiciones de operación, una solución compuesta por glicol en un 20% y un 80% de agua es suficiente, puesto que la temperatura a la que congela dicho fluido es de -10,9 °C.

Estas son las características del fluido del circuito primario:

$$\rho_{fluido} = 1023 \frac{kg}{m^3}$$

$$Cp_{fluido} = 3,98 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

### 2.6.2. Caudal del circuito primario

El caudal de fluido que circula por el circuito de captación queda definido mediante la siguiente expresión:

$$M_B = \frac{G \cdot N_C \cdot A}{N}$$

Siendo:

- $M_B$ : Caudal del circuito de captación (kg/s). Dato proporcionado por herramienta de cálculo, tiene un valor de 13680 l/h que al convertirlo a las unidades oportunas queda:

$$M_B = 13680 \frac{l}{h} \cdot \rho_{fluido} \cdot \frac{1h}{3600s} = 3,8874 \frac{kg}{s}$$

- $G$ : Caudal específico en el captador solar (kg/s·m²).
- $N_C$ : Número de captadores, es igual a 200.
- $A$ : Área del captador, equivalente a 1,9 m².
- $N$ : Número de captadores en serie, en este caso 2.

Por tanto, el caudal específico que circula por cada captador es:

$$3,8874 = \frac{G \cdot 200 \cdot 1,9}{2}$$

$$G = 0,02 \frac{kg}{s \cdot m^2}$$

### 2.6.3. Pérdida de carga en los captadores

Para calcular la pérdida de carga producida debido a las fricciones del fluido en el captador, el fabricante (Termicol) proporciona una gráfica que relaciona pérdida de carga (mbar) con el caudal másico (kg/min) que circula por el captador. En dicha gráfica se muestra un ajuste cuadrático para poder extrapolar los valores de pérdida de carga para cualquier caudal másico.

Los valores que caracterizan este ajuste son los siguientes:

- Término cuadrático: 0,0295.
- Término lineal: 1,1567.
- Constante: -0,1994.

Para el caso particular de esta instalación, se tiene un caudal específico del captador  $G=0,02$  (kg/s·m<sup>2</sup>), lo cual corresponde a la siguiente pérdida de carga:

$$G = 0,02 \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \cdot 1,9\text{m}^2 \cdot \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = 2,28 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

$$\Delta P_{\text{captador}} = 2,59(\text{mbar})$$

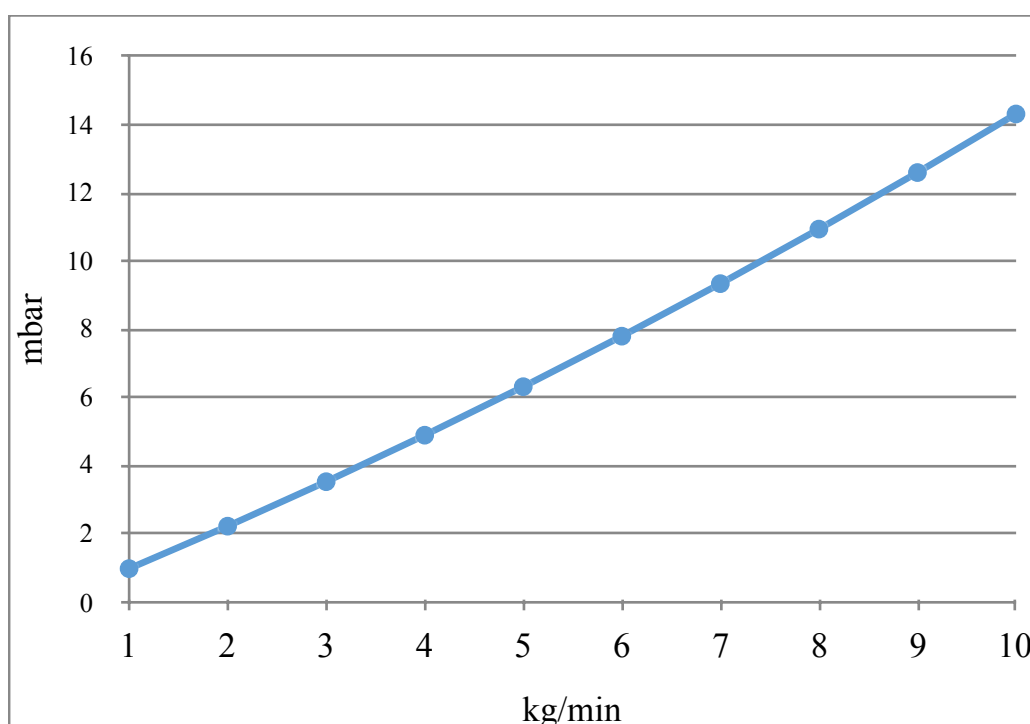


Figura 2.3. Pérdida de carga en el captador en función del caudal.

### 2.6.4. Cálculo de la red de tuberías

El dimensionado de toda la instalación de tuberías se lleva a cabo siguiendo las recomendaciones que aparecen en el pliego de condiciones técnicas facilitadas por el IDAE. Estas pautas son las siguientes:

- La velocidad de circulación del fluido debe ser inferior a 2m/s cuando están situadas en locales habitados, e inferior a 3 m/s cuando se trate de zonas exteriores. Para esta instalación, por tanto, al estar situada en cubierta de edificio habitable debe restringirse la velocidad del fluido a 3m/s o inferior.
- El dimensionado de tuberías deberá realizarse de modo que las pérdidas de carga por metro lineal no superen los 40 mm.c.a/m cuando se trate de agua. Si se tiene una mezcla de agua y anticongelante, se utiliza un factor corrector de 1.3. Para este caso el fluido es una mezcla de agua y anticongelante de manera que:

$$\Delta P_{maxlineal} \leq 1,3 \cdot 40 = 52 \frac{mm \cdot c \cdot a \cdot}{m} = 509,6 \frac{Pa}{m}$$

- El diámetro de las tuberías sea normalizado (DN).

El dimensionado de las tuberías, por tanto, se ha calculado ceñido a los valores límite que recomienda el IDAE. Para ello se ha empleado una ecuación de continuidad que permite relacionar la velocidad de circulación con la sección de paso; y la fórmula de Flamante. Esta última es una correlación aplicable a tuberías de acero, cuyo objetivo es determinar la pérdida de carga lineal por metro de tubería.

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

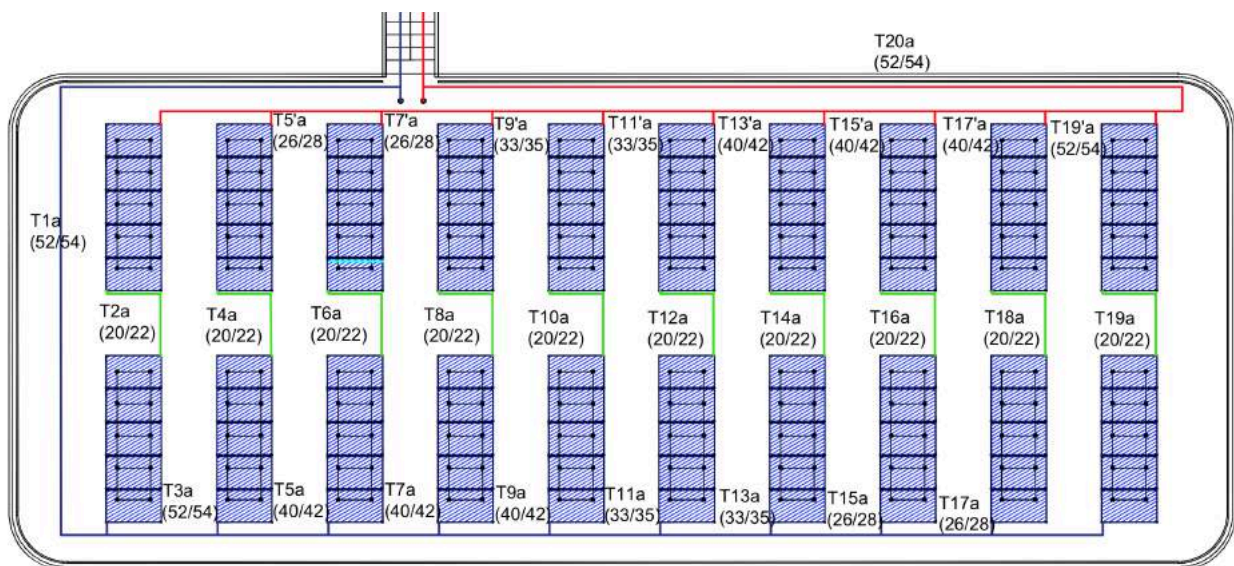
$$\Delta P = 1,3 \cdot 378 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Donde:

- $Q$ : caudal de circulación de la tubería en cuestión (l/h).
- $v$ : velocidad de circulación del fluido (m/s).
- $D$ : diámetro interior.
- $\Delta P$ : pérdida de carga lineal por metro de tubería. (mmc.a./m).

Con objeto de simplificar cálculos, se ha dividido el circuito primario en tramos. Debido al tamaño de dicho circuito, se va a realizar el estudio dividiéndolo en 3 bloques: “a”, “b” y “c”. El bloque “a” corresponde con la cubierta de la central térmica, mientras que el bloque corresponde con la cubierta del almacén.

#### (a) Bloque “a”.



**Figura 2.4.** Tramos que conforman el bloque “a” y diámetro de los mismos.

El caudal que circula por cada tramo es conocido y en función de éste, se selecciona entre los distintos diámetros normalizados aquel más adecuado para cada tramo. Así, aplicando las expresiones descritas anteriormente se obtienen los resultados que aparecen en la figura 2.4.

En la tabla 2.10 se observa que todos los tramos cumplen las recomendaciones impuestas por el CTE. Tanto la velocidad de circulación del fluido y las pérdidas de cargas lineales por metro de tubería no exceden nunca los valores máximos recomendados.

Tramo	Longitud (m)	Q(l/h)	D(mm)	v(m/s)	$\Delta P(\text{Pa/m})$
1a	26,08	6840	52	0,895	175,145
2a	19,06	684	20	0,605	293,811
3a	3,46	6156	52	0,805	145,404
4a	15,6	684	20	0,605	293,811
5a	3,46	5472	40	1,210	412,974
6a	15,6	684	20	0,605	293,811
7a	3,46	4788	40	1,058	326,130
8a	15,6	684	20	0,605	293,811
9a	3,46	4104	40	0,907	248,502
10a	15,6	684	20	0,605	293,811
11a	3,46	3420	33	1,111	450,897
12a	15,6	684	20	0,605	293,811
13a	3,46	2736	33	0,889	304,557
14a	15,6	684	20	0,605	293,811
15a	3,46	2052	26	1,074	571,857
16a	15,6	684	20	0,605	293,811
17a	3,46	1368	26	0,716	281,646
18a	15,6	684	20	0,605	293,811
19a	19,06	684	20	0,605	293,811
20a	25,3389	6840	52	0,895	175,145
5'a	3,46	1368	26	0,716	281,646
7'a	3,46	2052	26	1,074	571,857
9'a	3,46	2736	33	0,889	304,557
11'a	3,46	3420	33	1,111	450,897
13'a	3,46	4104	40	0,907	248,502
15'a	3,46	4788	40	1,058	326,130
17'a	3,46	5472	40	1,210	412,974
19'a	3,46	6156	52	0,805	145,404

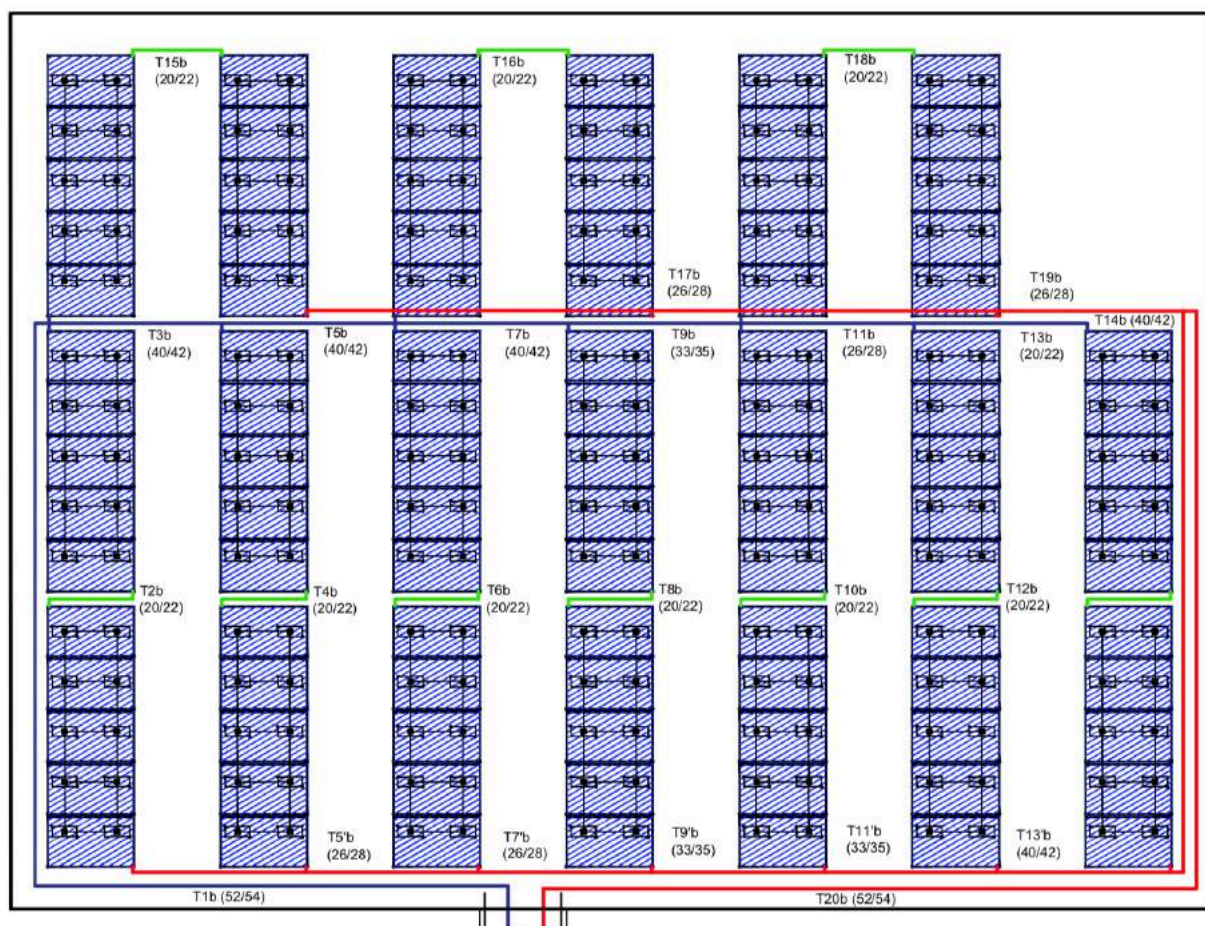
**Tabla 2.10.** Dimensionado de las tuberías del bloque “a” de la instalación.

**(b) Bloque “b”.**

El cálculo de los diferentes parámetros del bloque “b” se realizan de manera análoga al cálculo del bloque “a”. Así, se tiene como resultado la red dimensional que aparece en la figura 2.5.

La tabla 2.11, muestra que todos los tramos cumplen las recomendaciones impuestas por el CTE.

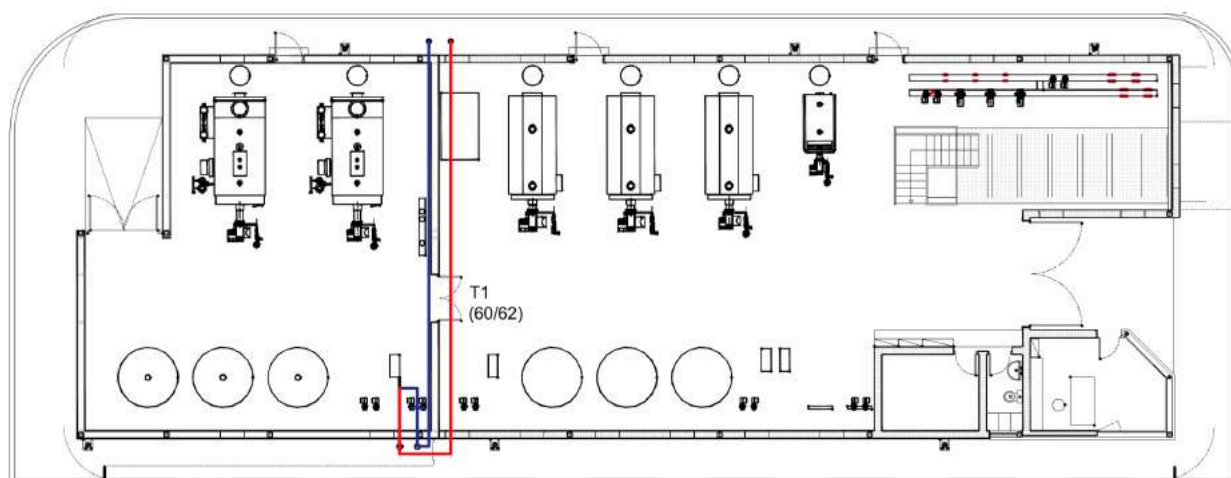




**Figura 2.5.** Tramos que conforman el bloque "b" y diámetro de los mismos.

### (c) Bloque "c".

Operando de manera análoga al cálculo de los bloques anteriores, se obtiene como resultado del dimensionado la figura 2.6.



**Figura 2.6.** Tramos que conforman el bloque "6" y diámetro de los mismos.

Tramo	Longitud (m)	Q(l/h)	D(mm)	v(m/s)	$\Delta P(\text{Pa/m})$
1b	26,698	6840	52	0,895	175,145
2b	17,13	684	20	0,605	293,811
3b	3,46	5472	40	1,210	412,974
4b	13,67	684	20	0,605	293,811
5b	3,46	4788	40	1,058	326,130
6b	13,67	684	20	0,605	293,811
7b	3,46	3420	40	0,756	180,353
8b	13,67	684	20	0,605	293,811
9b	3,46	2736	33	0,889	304,557
10b	13,67	684	20	0,605	293,811
11b	3,46	1368	26	0,716	281,646
12b	13,67	684	20	0,605	293,811
13b	17,13	684	20	0,605	293,811
14b	12,2	4788	40	1,058	326,130
15b	20,721	684	20	0,605	293,811
16b	13,793	684	20	0,605	293,811
17b	6,928	1368	26	0,716	281,646
18b	13,793	684	20	0,605	293,811
19b	3,71	2052	26	1,074	571,857
20b	31,554	6840	52	0,895	175,145
5'b	3,46	1368	26	0,716	281,646
7'b	3,46	2052	26	1,074	571,857
9'b	3,46	2736	33	0,889	304,557
11'b	3,46	3420	40	0,756	180,353
13'b	3,46	4104	40	0,907	248,502

**Tabla 2.11.** Dimensionado de las tuberías del bloque “b” de la instalación.

Tramo	Longitud (m)	Q(l/h)	D(mm)	v(m/s)	$\Delta P$ (Pa/m)
1	47,017	13680	60	1,34975075	302,58379

**Tabla 2.12.** Dimensionado de las tuberías del bloque “c” de la instalación.

## 2.6.5. Pérdida de carga en las tuberías

El dimensionamiento de la red de tuberías del circuito primario se realiza tanto para el retorno como para la impulsión teniendo en cuenta para los cálculos de los diámetros de las conducciones las pérdidas de carga en todos los accesorios que componen el circuito.

Para la pérdida de carga de las tuberías del circuito primario se ha realizado con una hoja de cálculo que facilita notablemente los cálculos. Dicha hoja Excel calcula la pérdida de carga por metro de tubería lineal en función del material de la tubería, la temperatura del fluido, el diámetro de la tubería y el caudal.

Para el cálculo de la longitud equivalente de la pérdida de carga de los accesorios perteneciente al circuito tales como codos, curvas, válvulas, etc, se ha utilizado la tabla 2.13. Esta tabla proporciona la longitud equivalente relativa a cada accesorio, en función del diámetro de la tubería.

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 2.13.** Longitudes equivalentes de accesorios en tuberías de cobre.

De manera que se ha calculado para cada tramo de la instalación de tuberías la pérdida de carga lineal por metro debido a la fricción del fluido y la pared de la propia tubería, y la longitud equivalente relativa a los distintos accesorios que se encuentran a lo largo de la red de tuberías.

No hay que olvidar la existencias de equipos que provocan una pérdida de cara adicional, tales como captadores e intercambiados. Por ello también se han tenido en cuenta a la hora de desarrollar los cálculos pertinentes.

La pérdida de carga que tendrá que vencer el grupo de bombeo del circuito primario será la del camino más desfavorable, es decir, la del camino con mayor pérdida de carga. Para ello se calculan las pérdidas de carga de todos los caminos desde la descarga de la bomba hasta cada una de las unidades terminales, en este caso las baterías de captadores, y su retorno hasta la aspiración de la bomba sumando las pérdidas de carga de los tramos que conforman cada circuito.

Para ello se han diferenciado 2 tipos diferentes de circuito:

- Circuito 1: recorrido del fluido desde la bomba hasta que alcanza una batería de captadores situada en el bloque “a”, pasa por el intercambiador y retorna de nuevo a la bomba. Debido a que este bloque está equilibrado hidráulicamente, el fluido desarrollará una pérdida de carga muy similar independientemente de la batería de captadores que atraviese.
- Circuito 2: Circuito 1: recorrido del fluido desde la bomba hasta que alcanza una batería de captadores situada en el bloque “a”, pasa por el intercambiador y retorna de nuevo a la bomba. Dentro de este circuito, el fluido puede tomar 2 caminos diferentes. Solo se tendrá en cuenta el más desfavorable, que corresponde al paso del fluido por las baterías de captadores más cercana a la plataforma de unión entre ambas cubiertas.

Tramo	L (m)	D(mm)	Accesorios	Pérdida equipo (kPa)	$\Delta P(kPa)$
1a	26,08	52	Bif derivada, 2 codo		5,219322981
2a	19,06	20	Bif derivada, 4 válvulas, 3 codos, Un alineada	0,507	8,210730078
3a	3,46	52	Bif alineada		20
4a	15,6	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	7,223524393
5a	3,46	40	Bif alineada		1,581688818
6a	15,6	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	7,223524393
7a	3,46	40	Bif alineada		1,249077055
8a	15,6	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	7,223524393
9a	3,46	40	Bif alineada		0,951761849
10a	15,6	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	7,223524393
11a	3,46	33	Bif alineada		1,699882347
12a	15,6	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	7,223524393
13a	3,46	33	Bif alineada		1,148180641
14a	15,6	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	7,223524393
15a	3,46	26	Bif alineada		2,115872146
16a	15,6	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	7,223524393
17a	3,46	26	Bif alineada		1,042090995
18a	15,6	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	7,223524393
19a	19,06	20	Bif alineada, 4 válvulas, 3 codos, Un derivada	0,507	8,325316452
20a	25,3389	52	2 codos, Unión alineada		4,828556823
5'a	3,46	26	Un alineada		1,042090995
7'a	3,46	26	Un alineada		2,115872146
9'a	3,46	33	Un alineada		1,148180641
11'a	3,46	33	Un alineada		1,699882347
13'a	3,46	40	Un alineada		0,951761849
15'a	3,46	40	Un alineada		1,249077055
17'a	3,46	40	Un alineada		1,581688818
19'a	3,46	52	Un alineada		0,574345242

**Tabla 2.14.** Pérdidas de carga asociadas a cada tramo del bloque “a”.

Tramo	L (m)	D(mm)	Accesorios	Pérdida equipo (kPa)	$\Delta P(kPa)$
1b	26,698	52	Bif alineada, 3 codos		5,21897269
2b	17,13	20	Bif derivada, 4 válvulas, 3 codos, Un alineada	0,507	7,61429331
3b	3,46	40	Bif alineada		1,581688818
4b	13,67	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	6,656468746
5b	3,46	40	Bif alineada		1,249077055
6b	13,67	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	6,656468746
7b	3,46	40	Bif alineada		0,690750608
8b	13,67	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada		6,149468746
9b	3,46	33	Bif alineada	0,507	1,655180641
10b	13,67	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada		6,149468746
11b	3,46	26	Bif alineada		1,042090995
12b	13,67	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos, Un derivada	0,507	6,656468746
13b	17,13	20	Bif alineada, 4 válvulas, 3 codos, Un derivada		7,251260806
14b	12,2	40	1 codo, Un derivada		4,660394546
15b	20,721	20	Bif derivada, 4 válvulas, 3 codos, Un alineada	0,507	8,669369386
16b	13,793	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos Un derivada		6,185607526
17b	6,928	26	Union alineada		2,018840068
18b	13,793	20	Bif derivada, 4 válvulas, 2 codos Un derivada	0,507	44,18560753
19b	3,71	26	Un alineada		2,258836481
20b	31,554	52	3 codos, Un alineada		6,069477133
5'b	3,46	26	Un alineada		1,042090995
7'b	3,46	26	Un alineada		2,115872146
9'b	3,46	33	Un alineada		1,148180641
11'b	3,46	40	Un alineada		0,690750608
13'b	3,46	40	Un alineada		0,951761849

**Tabla 2.15.** Pérdidas de carga asociadas a cada tramo del bloque “b”.



Tramo	L (m)	D(mm)	Accesorios	Pérdida equipo (kPa)	$\Delta P(kPa)$
1	47,0168	60	14 codos, 4 válvulas,	34,3	60,46042611

**Tabla 2.16.** Pérdidas de carga asociadas a cada tramo del bloque “c”.

A partir de los datos proporcionados por la tabla 2.14, la tabla 2.15, y la tabla 2.17, obtenemos las siguientes pérdidas de cargas asociadas a cada circuito. Como se observa en la tabla 2.17, ambas pérdidas de cargas son iguales. Esto es debido a que se ha diseñado la instalación para que esté hidráulicamente equilibrada.

Circuito	Tramos que incluye	$\Delta P(kPa)$
1	1,1a,2a,5'a,7'a,9'a,11'a,13'a,15'a,17'a,19'a,20a	89,08193508
2	1,1b,2b,5'b,7'b,9,b,11'b,13,b,14b,20b	89,97222002

**Tabla 2.17.** Pérdidas de carga a vencer por el equipo de bombeo.

## 2.7. Dimensionado del equipo de intercambio

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

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

Como el  $A_{captacion}$  está definida como 380 m<sup>2</sup>, tenemos que:

$$Q_{intercambiador} \geq 190kW$$

En primera instancia, la instalación se ha diseñado para un salto térmico tanto en el circuito primario como en el secundario desconocido. Es por ello que se ha de comprobar que valor mínimo de dicho salto garantiza que se cumple las exigencias del rite.

$$Q_{intercambiador} = G_{primario} \cdot C_{pfluido} \cdot \Delta T$$

Donde:

- $G_{primario}$ ,caudal másico que circula por el circuito primario. Es igual al producto del caudal volumétrico que circula por dicho circuito, y la densidad del mismo.
- $C_{pfluido}$ ,capacidad calorífica del fluido primario.

$$190kW \geq \frac{13680 \cdot 1,023}{3600} \left( \frac{kg}{s} \right) \cdot 3,98 \left( \frac{kJ}{kg \cdot K} \right) \cdot \Delta T$$

$$\Delta T \geq 12,3K$$

El intercambiador seleccionado para la instalación, es el modelo CB110-38M del fabricante ALFA LAVAL, el cual es capaz de soportar la transferencia de hasta 200 kW para saltos térmicos máximos de 15 °C en el circuito primario y secundario. Así, trabajando en régimen de 200 kW de transferencia, se tiene las siguientes condiciones de operación:

Potencia (kw)	Caudal primario (l/h)	$\Delta T_{primario}$	Caudal secundario(l/h)	$\Delta T_{secundario}$
200	13680	13	11566	15

**Tabla 2.18.** Condiciones de operación del intercambiador seleccionado.

Bajo estas condiciones de operación, se cumplen las exigencias del CTE.

## 2.8. Dimensionado del grupo de bombeo

El dimensionado del grupo de bombeo del circuito primario está sujeto a exigencias del CTE. Este establece que, para instalaciones cuyo área de captación excede los 50 m<sup>2</sup>, se han de instalar dos bombas idénticas en paralelo. La bomba redundante actuará como reserva de la bomba que esté en funcionamiento.

La instalación en cuestión cuenta con un área de captación de 380 m<sup>2</sup>, por lo que se han de instalar dos bombas idénticas dispuestas en paralelo. Cada una de las bombas ha de ser capaz de mover el caudal que circula por el circuito primario venciendo las pérdidas de carga del circuito más desfavorable calculado en el epígrafe anterior.

La pérdida de carga de diseño para el dimensionado de las bombas debe exceder, por tanto, a la suma de las pérdidas de cargas totales de los diferentes tramos que componen el circuito más desfavorable. Dichas pérdidas de cargas están asociadas a la fricción existente entre fluido y tubería, y al paso del mismo por equipos tales como intercambiador o captadores.

Por tanto, el gradiente de presión que debe proporcionar la bomba es:

$$\Delta P_{bomba} = \Delta P_{circuito} \cdot k$$

Donde:

- $\Delta P_{circuito}$ : pérdida de carga del circuito más desfavorable, igual a 119,46 kPa.
- $k$ : coeficiente de seguridad. Se utiliza para sobre dimensionar la bomba en un 5% de su capacidad.

Por tanto se tiene que:

$$\Delta P_{bomba} = 90 \cdot 1,05 = 94,5 \text{ kPa} = 10 \text{ m.c.a}$$

La bomba que se ha seleccionado es de la marca WILO, modelo VEROTWIN DPL 32/135-1,5/2. Esta bomba es capaz de vencer un gradiente de presión de 14 m.c.a. para un caudal de impulsión de 16 m<sup>3</sup>/h (nuestro caudal de impulsión es de 13,680 m<sup>3</sup>/h), por lo que es más que suficiente.

## 2.9. Dimensionado del vaso de expansión

Para el dimensionado de este elemento, la norma UNE 100155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” propone una serie de pautas a seguir que facilitan dicha tarea. Por tanto, se va a dimensionar el vaso de expansión en base a los siguientes pasos:

Primero, se ha de determinar el volumen total del fluido caloportador del circuito primario. Para ello, es preciso sumar el volumen contenido en los equipos de captación, el volumen presente en todo el circuito de tuberías y un coeficiente de seguridad.

El primer paso consiste en calcular el volumen total de fluido calotransportador del circuito primario. Esto se consigue sumando el volumen de los captadores, más el del fluido en las tuberías más un 10% de seguridad:

$$V_T = V_{captacion} + V_{tuberias} + V_{seguridad}$$

Donde:

- $V_{captacion}$ : conocemos que la capacidad de cada captador es de 1,02 litros. Esto se multiplicará por los 200 captadores de los que dispone la instalación.
- $V_{tuberias}$ : resultado de sumar el volumen de todas las tuberías de la instalación.
- $V_{seguridad}$ : es el 10% del volumen de captación y de tuberías juntos.

$$V_T = 204l + 578,56l + 78,26l = 860,82l$$

El segundo paso consiste en determinar el coeficiente de expansión del fluido primario. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

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

Sabiendo que:

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

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

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

Donde:

- $T$ : temperatura del fluido a su paso por el vaso de expansión. Se estima entorno a 50 °C.
- $f_e$ : factor de corrección debido al contenido de glicol que tiene el fluido de trabajo.
- $G=20$  debido a que el porcentaje de glicol en agua es del 20%.

Resulta:

$$C_e = 0,0147$$

El tercer paso corresponde a la determinación del coeficiente de presión. Para el caso de un vaso de expansión cerrado se tiene que:

$$C_p = \frac{P_{max}}{P_{max} - P_{min}}$$

Conociendo que:

- $P_{max}$ : presión máxima de funcionamiento. Viene determinada por la presión de tarado de la válvula de seguridad. Tomamos valor de 8 bar quedando:

$$P_{max} = 0,9 \cdot P_{vseguridad} + 1 = 8,2 bar$$

- $P_{min}$ : presión estática resultante de la diferencia entre punto más elevado de la instalación y la situación del vaso de expansión. Esta diferencia para esta instalación es de 8,02 metros que se traduce en 0,802 bar. A esta presión hay que añadir la presión atmosférica y un pequeño margen de seguridad de 0,5 bar.

$$P_{min} = 0,802 + 1 + 0,5 = 2,302 bar$$

Resulta:

$$C_p = \frac{8,2}{8,2 - 2,302} = 1,39$$

Una vez definido estos parámetros, se puede proceder a calcular el volumen del vaso de expansión de la siguiente manera:

$$V_{exp} = V_T \cdot C_e \cdot C_p = 860,82 \cdot 0,0147 \cdot 1,46 = 18,47 l$$

Por tanto, el volumen del vaso de expansión resulta igual a 18,47 litros. La norma UNE 100155 establece que dicho valor ha de ser como mínimo igual al 6% del volumen total de la instalación. Como el 6% del volumen de la instalación corresponde a 51,6 litros; tomaremos este valor como criterio de diseño.

Se selecciona por tanto un vaso de expansión del fabricante IMERA, modelo SW60. Este vaso de expansión tiene una capacidad de 60 litros, por lo que se cumplen las especificaciones de la norma UNE 100155.

## 2.10. Cálculo del espesor de aislamiento

Para instalaciones térmicas tales como la presente, se exige que todas las tuberías y accesorios, equipos, aparatos y depósitos dispongan de un aislamiento térmico suficiente que evite tanto consumos de energías superfluos como pérdidas desproporcionadas en los fluidos caloportadores.

Tales exigencias están recogidas en el RITE, documento en el que se imponen los espesores de aislamiento que se han de instalar en los componentes de la instalación que contengan fluidos a una temperatura superior a 40 °C.



### 2.10.1. Aislamiento en tuberías

El grosor mínimo de aislamiento de las tuberías se establece en función de la temperatura máxima del fluido, del diámetro interior y de la localización de las mismas, interior o exterior.

Las tuberías que estén emplazadas a la intemperie han de disponer de una protección externa con el fin de asegurar la durabilidad antes las acciones climatológicas, pudiendo ser revestidas con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas.

Las siguientes tablas muestran el espesor de aislamiento para un material cuya conductividad térmica equivale a 0,04 W/m·K. Para esta instalación, en la que la temperatura de trabajo de ambos fluidos oscila entre unos valores de 40 y 70 °C, la columna de las tablas que procede es la de temperaturas entre 60 y 100 °C.

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 2.19.** Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios en 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 2.20.** Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios en el exterior de edificios.

Dimensión ext (mm)	22	28	35	42	54	62
<b>Interior</b>	25	25	25	30	30	30
<b>Exterior</b>	35	35	35	40	40	40

**Tabla 2.21.** Espesores mínimos para las tuberías presentes en la instalación.

### 2.10.2. Aislamiento en depósitos de acumulación

Los depósitos vienen provistos de fábrica de un aislamiento desmontable de fibra de vidrio de 50 mm o 100 mm de espesor con forro en PVC.

### 2.10.3. Aislamiento en 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 0,04 W/m·K será de 30 mm.

## 2.11. Selección de accesorios

En este apartado se precisan los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento de nuestra instalación, según la norma expuesta anteriormente:

- Válvulas de retención: Se sitúa una en el grupo de bombeo primario.
- Válvulas de compuerta: Se seleccionan las de diámetro de 18 mm y se situarán en:
  - Entrada y salida del conjunto de captadores.
  - Entrada del grupo de bombeo primario.
  - Entrada de cada acumulador.
  - Entrada y salida del interacumulador.
  - 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 a la salida de nuestra batería de captadores.



## Certificado CHEQ4.



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

### Datos del proyecto

Nombre del proyecto	
Comunidad	
Localidad	
Dirección	

### Datos del autor

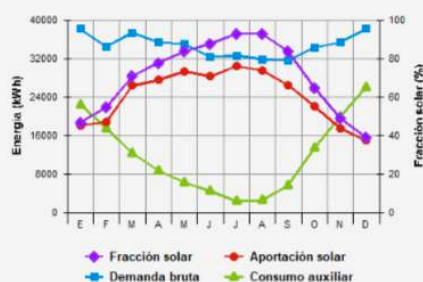
Nombre	
Empresa o institución	
Email	
Teléfono	

### Características del sistema solar



Localización de referencia	Jerez de la Frontera (Cádiz)											
Altura respecto la referencia [m]	0											
Sistema seleccionado	Instalación de consumidor único con intercambiador independiente											
Demanda [l/día a 60°C]	22.000											
Ocupación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

### Resultados



Fracción solar [%]	70
Demanda neta [kWh]	417.511
Demanda bruta [kWh]	417.907
Aporte solar [kWh]	290.574
Consumo auxiliar [kWh]	142.613
Reducción de emisiones de [kg de CO2]	85.464

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

### Cálculo del sistema de referencia

De acuerdo al apartado 2.2.1 de la sección HE4, la contribución solar mínima podrá sustituirse parcial o totalmente mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio.

Para poder realizar la sustitución se justificará documentalmente que las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía primaria no renovable, debidos a la instalación alternativa y todos sus sistemas auxiliares para cubrir completamente la demanda de ACS, o la demanda total de ACS y calefacción si se considera necesario, son iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica y el sistema de referencia (se considerará como sistema de referencia para ACS, y como sistema de referencia para calefacción, una caldera de gas con rendimiento medio estacional de 92%).

Demanda ACS total [kWh]	417.511
Demanda ACS de referencia [kWh]	126.937
Demanda calefacción CALENER [kWh]	0
Consumo energía primaria [kWh]	147.633
Emisiones de CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ]	29.783

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

Parámetros del sistema		Verificación en obra
<b>Campo de captadores</b>		
Captador seleccionado	Termicol T 20 US ( Termicol )	<input type="checkbox"/>
Contraseña de certificación	NPS-15112 - Verificar vigencia	<input type="checkbox"/>
Número de captadores	200,0	<input type="checkbox"/>
Número de captadores en serie	2,0	<input type="checkbox"/>
Pérdidas por sombras (%)	0,0	<input type="checkbox"/>
Orientación [°]	-40,0	<input type="checkbox"/>
Inclinación [°]	30,0	<input type="checkbox"/>
<b>Circuito primario/secundario</b>		
Caudal circuito primario [l/h]	13.680,0	<input type="checkbox"/>
Porcentaje de anticongelante [%]	20,0	<input type="checkbox"/>
Longitud del circuito primario [m]	100,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	60,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	70,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	poliestireno	<input type="checkbox"/>
<b>Sistema de apoyo</b>		
Tipo de sistema	Caldera convencional	<input type="checkbox"/>
Tipo de combustible	Gasóleo	<input type="checkbox"/>
<b>Acumulación</b>		
Volumen [l]	30.000,0	<input type="checkbox"/>
<b>Distribución</b>		
Longitud del circuito de distribución [m]	100,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	25,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	70,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	poliestireno	<input type="checkbox"/>
Temperatura de distribución [°C]	60,0	<input type="checkbox"/>

## 3. PLIEGO DE CONDICIONES

---

### 3.1. Objeto

El presente pliego de condiciones técnicas fija los criterios generales del proyecto de instalación de captadores solares planos para la producción de agua caliente sanitaria en un hospital situado en la localidad gaditana de Jerez de la frontera.

Habrán de definirse los equipos y materiales utilizados, montajes de los equipos, además de las pruebas y ensayos parciales a realizar, detallándose también su mantenimiento.

### 3.2. Normativa aplicable

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

Pliego de Especificaciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Térmica a baja Temperatura.

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE). Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones Complementarias MI.BT, incluidas las hojas de interpretación.
- Código Técnico de la Edificación -Acciones en la Edificación (CTE-DB-AE).
- Código Técnico de la Edificación – Protección frente al ruido (CTE-DB-HR) .
- Código Técnico de la Edificación – Seguridad en caso de incendio (CTE-DB-SI).
- 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 suministradoras de energía eléctrica, etc. En ocasiones, a falta de normativa Española, podrán utilizarse de organismos internacionales, como CER, ISO, etc. En cualquier caso se seguirá la edición más reciente de toda la normativa mencionada, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.

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

### 3.3. Condiciones de materiales y equipos.

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.

### **3.3.1. Accesorios.**

#### **3.3.1.1. Compensadores de dilatación.**

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

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

Los extremos del compensador serán de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chaflán de 37o 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.

#### **3.3.1.2. Juntas.**

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

#### **3.3.1.3. Lubricante de roscas.**

General: no endurecedor, no venenoso.

#### **3.3.1.4. 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.

#### **3.3.1.5. 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.

#### **3.3.1.6. Codos en bombas.**

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

#### **3.3.1.7. 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.

#### **3.3.1.8. 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.

#### **3.3.1.9. 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.

#### **3.3.1.10. 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.

#### **3.3.1.11. 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.

#### **3.3.1.12. 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 instalaran 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.

#### **3.3.1.13. Vaciados.**

Los vaciados, purgadores, válvulas de seguridad, reboses, se dirigirán al sumidero o desagüe más cercano. En cualquier caso, se adoptaran 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.

#### **3.3.1.14. 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.

### **3.3.2. Válvulas.**

#### **3.3.2.1. 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.

### **3.3.2.2. Materiales**

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

#### **(a) Válvulas a 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.

#### **(b) 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.

#### **(c) 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.

#### **(d) Válvulas de esfera o de macho.**

- y tapa de bronce o latón.
- Asiento y capeta de bronce.
- Conexiones rosca hembra.

#### **(e) Válvulas de retención de muelle.**

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

#### **(f) 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. 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 podrá usar pinturas plásticas impermeables cuya exposición prolongada al sol no afecte a sus propiedades fundamentales.

En el caso de acumuladores e intercambiadores de calor situados a la intemperie podrán usarse forros de telas plásticas como protección del material aislante.

### 3.3.4. 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.

### 3.3.5. 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, numero 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.

### **3.3.6. Captadores**

#### **3.3.6.1. Generalidades**

El captador llevara 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 transítividad 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.

#### **3.3.6.2. 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  $\pm 5\%$  respecto del caudal original de diseño unitario.
- No suponga una disminución del rendimiento térmico del sistema de captación en las condiciones habituales de operación.
- Estéticamente sean similares.

### **3.3.6.3. 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.

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

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

Se construirá un cuadro eléctrico específico para la instalación solar. El sistema de control consistirá en un controlador digital programable e incorporará una adquisición de datos de la instalación en tiempo real, telegestionable a distancia a través de un módem 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:

- Activar la bomba de circulación en función del salto de temperatura entre la salida de la batería de captadores y la parte baja del acumulador.
- La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que detecten exactamente las temperaturas que se desean, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los colectores y las zonas de estancamiento (en el caso la piscina).
- 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  $3^{\circ}\text{C}$  ni paradas con diferencias superiores a  $7^{\circ}\text{C}$ .
- La diferencia de temperatura entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial no será inferior a  $3^{\circ}\text{C}$ .
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.

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

Los sistemas de medida de temperatura, caudales y energía proporcionan información del estado de funcionamiento de la instalación y permiten realizar la evaluación de las prestaciones energéticas de la

instalación.

#### **3.3.8.1. Medida de temperatura**

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

La diferencia 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.

#### **3.3.8.2. Medida de caudal**

Los contadores de caudal de agua estarán constituidos por un cuerpo resistente a la acción del agua conteniendo la cámara de medida, un elemento con movimiento proporcional al caudal de agua que fluye y un mecanismo de relojería para transmitir este movimiento a las esferas de lectura por medio de un acoplamiento magnético. La esfera de lectura, herméticamente sellada, será de alta resolución.

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.

La medida de caudales de líquidos se realizara mediante turbinas, medidores de flujo magnético, medidores de flujo de desplazamiento positivo o procedimientos gravimétricos, de forma que la exactitud sea igual o superior a  $\pm 3\%$  en todos los casos.

#### **3.3.8.3. 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.

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.

### **3.3.9. 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.
- Numero 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 epoxídico.
- Depósitos de acero inoxidable de cualquier tamaño.
- Depósitos de cobre de cualquier tamaño.
- Acumuladores no metálicos que, además de soportar las condiciones extremas del circuito, resistan la acción combinada de presión y temperatura más desfavorable y este autorizada su utilización por la Administración Competente.

Cuando el intercambiador está incorporado al acumulador solar, éste 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.

### **3.3.10. 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°C y serán compatibles con el fluido de trabajo.

#### **3.3.10.1. Intercambiadores externos**

El intercambiador llevara una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrita 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.

### **3.4. 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 colocaran con un Angulo 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 realizara 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.

#### **3.6.2.1. 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.

#### **3.6.2.2. 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.

#### **3.6.2.3. 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 comprobaba 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.

##### **3.6.4.1. 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 equilibrio 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.

#### **3.6.4.2. 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**

#### **3.6.5.1. 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 quedara 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.

#### **3.6.5.2. 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 entrara en vigor la garantía.

### **3.7. Mantenimiento**

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. Vigilancia**

El plan de vigilancia se refiere básicamente 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.

### **3.7.2. Mantenimiento preventivo**

El plan de mantenimiento ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento necesarias para 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 la siguiente hoja se definen las operaciones de mantenimiento preventivo que deben realizarse, la periodicidad mínima establecida (en meses) y observaciones en relación con las prevenciones a observar.

### **3.7.3. Mantenimiento correctivo**

Las actividades de mantenimiento correctivo no pueden estar sometidas a un plan, dado el carácter impredecible de estas acciones. Como su propio nombre indica, las acciones de mantenimiento correctivo se realizarán para corregir anomalías observadas durante el funcionamiento normal de la instalación.

No obstante, si es posible llevar un control de las acciones de mantenimiento correctivo realizado, mediante el uso de un parte de mantenimiento correctivo. En este parte aparecerá recogido el componente afectado, la causa aparente del problema, la acción correctiva realizada, además de la fecha y la firma del responsable de dicha acción.



## 4.PRESUPUESTO

### 4. Sistema de captación.

Nº Ord	Concepto	Cantidad	Precio/Ud(€)	Total(€)
1.1	<b>Ud. Captador solar T20US de la empresa TERMICOL o similar</b> con las siguientes características: Superficie útil: 1.9 m² Dimensiones: 2013x970x100 mm Peso del captador: 38 kg Rendimiento óptico: 0.803 Coeficiente de pérdida: 3.61	200	580,0	116000
1.2	<b>Ud. Estructura Soporte ESTA5-T20 en aluminio para 5 captadores modelo T20US</b>	40	628,0	25120
1.3	<b>Ud. BATCAPT-02 Conjunto de accesorios para batería de captadores que incluye:</b> Llaves de corte Purgador automático Válvula de seguridad	40	109,0	4360
1.4	<b>4 Ud. RACORBAT-02 Conjunto de adaptadores</b>	50	10,0	500
1.5	<b>Ud. Anticongelante “Fluidosol” concentrado 210l</b>	1	1470,0	1470
<b>Total del sistema de captación</b>				147450

### 4.2. Sistema de acumulación

Nº ord	Concepto	Cantidad	Precio/Ud (€)	Total(€)
2.1	<b>Ud. Acumulador acero revestido MV-10-IB del fabricante LAPESA o similar</b> con las siguientes características: Capacidad de ACS: 10000 l Presión máxima de ACS: 8 bar Material: acero al carbono S275JR Temperatura máxima de trabajo: 110 °C	3	9219,0	27657
<b>Total del Sistema de acumulación e intercambio</b>				27657

### 4.3. Sistema de intercambio

Nº ord	Concepto	Cantidad	Precio/Ud (€)	Total(€)
3.1	<b>Ud. intercambiador de placa termosoldado CB110-38M del fabricante ALFA LAVAL o similar con las siguientes características:</b> Número de placas:38 Presión máxima de ACS: 10 bar Potencia: 200 kW Material: acero inoxidable Caudal primario máximo: 18.3 m³/h Caudal secundario máximo: 17.4 m³/h Pérdida de carga primario: 3.5 m.c.a. Pérdida de carga secundario: 2.8 m.c.a. Salto térmico: 15°C	1	2407,0	2407
<b>Total del Sistema de acumulación e intercambio</b>				2407

### 4.4. Sistema hidráulico

Nº ord	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total(€)
4.1	<b>Ud. Bomba circuladora del circuito primario WILO modelo VeroTwin DPL o similar con las siguientes características:</b> N° de polos: 2 Altura manométrica: 14 m Caudal del circuito máximo: 16000 l/h Presión máxima de trabajo: 10 bar	1	2586,0	2586
4.2	<b>Ud. Vaso de expansión de la empresa IMERA de 60 litros modelo SW69 o similar con las siguientes características:</b> Capacidad: 60 litros Membrana recambiaba de goma DPM. Dimensiones: 365x668 mm Conexiones: ¾'' Temperatura máxima: 100°C Temperatura mínima: -10 °C	1	85,0	85
4.3	<b>m. Tubería de cobre 20 mm</b>	313,84	7,85	2463,644
4.4	<b>m. Tubería de cobre 26 mm</b>	27,94	10,38	290,0172
4.5	<b>m. Tubería de cobre 33 mm</b>	17,3	16,28	281,644
4.6	<b>m. Tubería de cobre 40 mm</b>	46,8	19,76	924,768
4.7	<b>m. Tubería de cobre 52 mm</b>	116,6	25,37	2958,142
4.8	<b>m. Tubería de cobre 60 mm</b>	47,02	43,16	2029,3832

4.9	<b>Ud. Codo cobre H-H 90CU Comercial Bastos 64 mm de diámetro exterior</b>	13	79,97	1039,61
4.10	<b>Ud. Codo cobre H-H 90CU Comercial Bastos 54 mm de diámetro exterior</b>	10	28,49	284,9
4.11	<b>Ud. Codo cobre H-H 90CU Comercial Bastos 42 mm de diámetro exterior</b>	1	14,66	14,66
4.12	<b>Ud. Codo cobre H-H 90CU Comercial Bastos 22 mm de diámetro exterior</b>	1	1,53	1,53
4.13	<b>Ud. Te cobre 130RCU 64-54-64 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	1	124,46	124,46
4.14	<b>Ud. Te cobre 130RCU 54-42-54 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	1	86,99	86,99
4.15	<b>Ud. Te cobre 130RCU 54-22-54 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	6	77,71	466,26
4.16	<b>Ud. Te cobre 130RCU 42-22-42 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	11	36,21	398,31
4.17	<b>Ud. Te cobre 130RCU 35-22-35 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	8	16,2	129,6
4.18	<b>Ud. Te cobre 130RCU 28-22-28 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	8	5,76	46,08
4.19	<b>Ud. Te cobre 130RCU 22 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	2	2,63	5,26
4.20	<b>Ud. Enlace cobre 240RCU 64-54 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	1	38,89	38,89
4.21	<b>Ud. Enlace cobre 240RCU 54-42 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	3	27,05	81,15
4.22	<b>Ud. Enlace cobre 240RCU 54-28 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	1	37,92	37,92
4.23	<b>Ud. Enlace cobre 240RCU 42-35 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	4	15,02	60,08
4.24	<b>Ud. Enlace cobre 240RCU 35-28 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	4	13,32	53,28
4.25	<b>Ud. Enlace cobre 240RCU 28-22 mm Comercial Bastos diámetro exterior</b>	5	3,09	15,45
4.26	<b>Ud. Válvula de retención SEI válvula de bola inoxidable DN65</b>	3	292,75	878,25
4.27	<b>Ud. Válvula de compuerta MASA cierre elástico PN-16 de 60 mm</b>	10	127,85	1278,5
4.28	<b>m. Aislamiento tubería de cobre 20 mm AI 04 260 SALVADOR ESCODA 0,04 W/m²K, 35 mm de espesor tubería</b>	298,237	13,55	4041,11135
4.29	<b>m. Aislamiento tubería de cobre 26 mm AI 04 260 SALVADOR ESCODA 0,04 W/m²K, 35 mm de espesor tubería</b>	34,858	15,59	543,43622

4.30	<b>m. Aislamiento tubería de cobre 33 mm AI 04 260 SALVADOR ESCODA 0,04 W/m²K, 35 mm de espesor tubería</b>	20,76	17,1	354,996
4.31	<b>m. Aislamiento tubería de cobre 42 mm AI 04 260 SALVADOR ESCODA 0,04 W/m²K, 40 mm de espesor tubería</b>	50,26	18,42	925,7892
4.32	<b>m. Aislamiento tubería de cobre 52 mm AI 04 260 SALVADOR ESCODA 0,04 W/m²K, 40 mm de espesor tubería</b>	113,1309	22,79	2578,253211
4.33	<b>m. Aislamiento tubería de cobre 60 mm AI 04 260 SALVADOR ESCODA 0,04 W/m²K, 40 mm de espesor tubería</b>	47,0168	23,52	1105,835136
<b>Total sistema hidráulico</b>				26209,200

#### 4.5. Sistema de control

Nº ord	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total(€)
5.1	<b>Ud Termómetro con vaina de 0 a 110 °C</b>	4	15,20	60,8
5.2	<b>Ud Manómetro con escala de regulación de 0 a 10 bar</b>	4	4,05	16,2
5.3	<b>Caudalímetro</b>	1	10,58	10,58
5.4	<b>Ud Centralita solar LTDC-V3 del fabricante TERMICOL o similar con las siguientes características:</b>  Entradas para sensores de temperatura: 6 Salidas de control de velocidad de bomba: 2 Variables hidráulicas preconfiguradas: 42 Entradas para medir caudal: 2	1	455,00	455
<b>Total Sistema de control</b>				542,58

#### 4.6. Presupuesto total de la instalación

Tipo de sistema	Precio (€)
Sistema de captación	147450,00
Sistema de acumulación	27657,00
Sistema de intercambio	2407,00
Sistema hidráulico	26209,20
Sistema de control	542,58

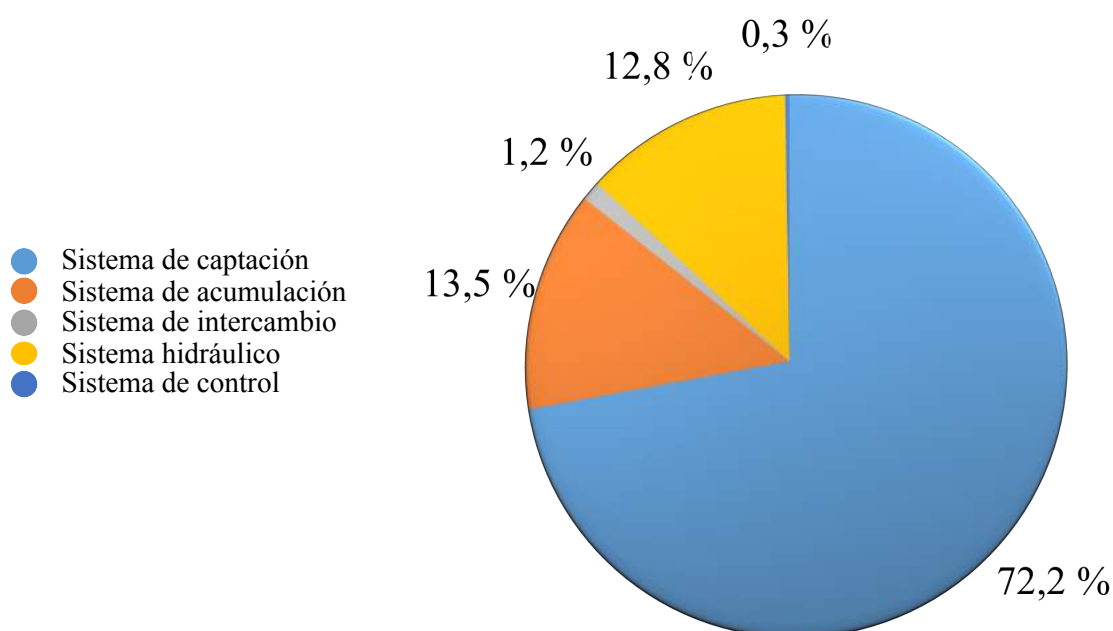
Finalmente, llegamos al costo total de la instalación:

Presupuesto sin IVA	174201,78
IVA (21%)	36582,37
Presupuesto total	210784,15

**PRESUPUESTO TOTAL:** 210 784,55 €

**RATIO €/m2 de captación:** 554,75 €

**DOSCIENTOS DIEZ MIL, OCHOCIENTOS DOS EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS.**



**Figura 4.1.** Descomposición del presupuesto total.

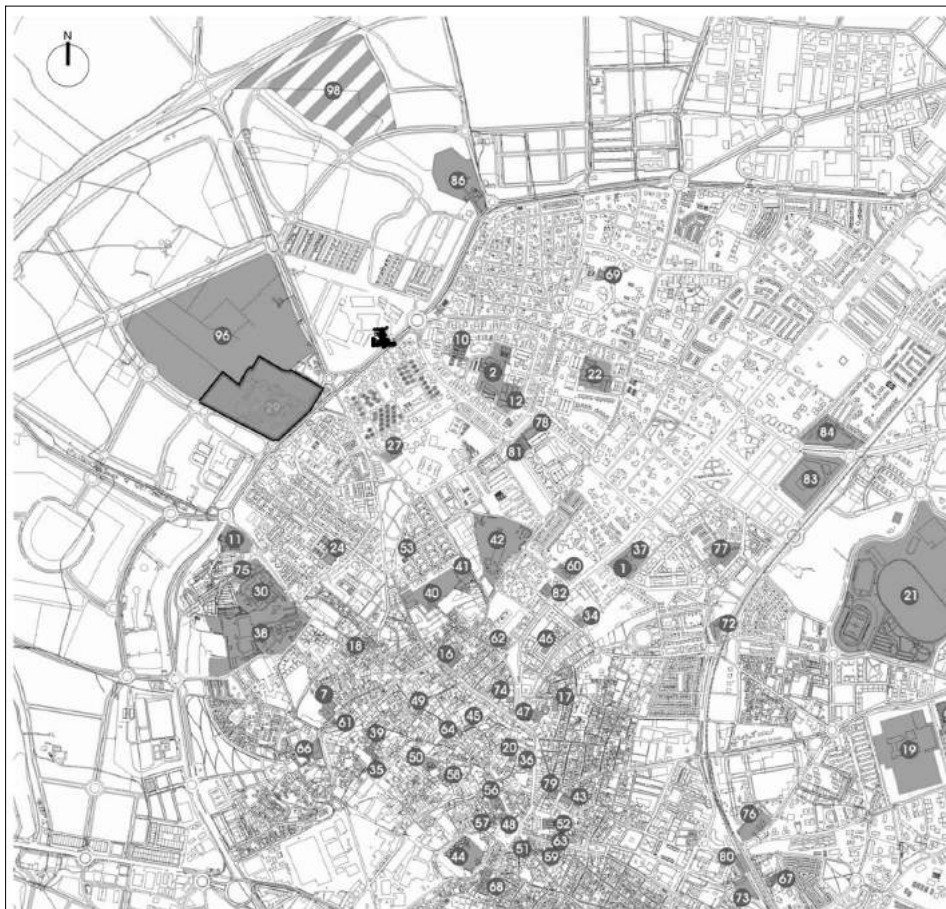




## 5.PLANOS

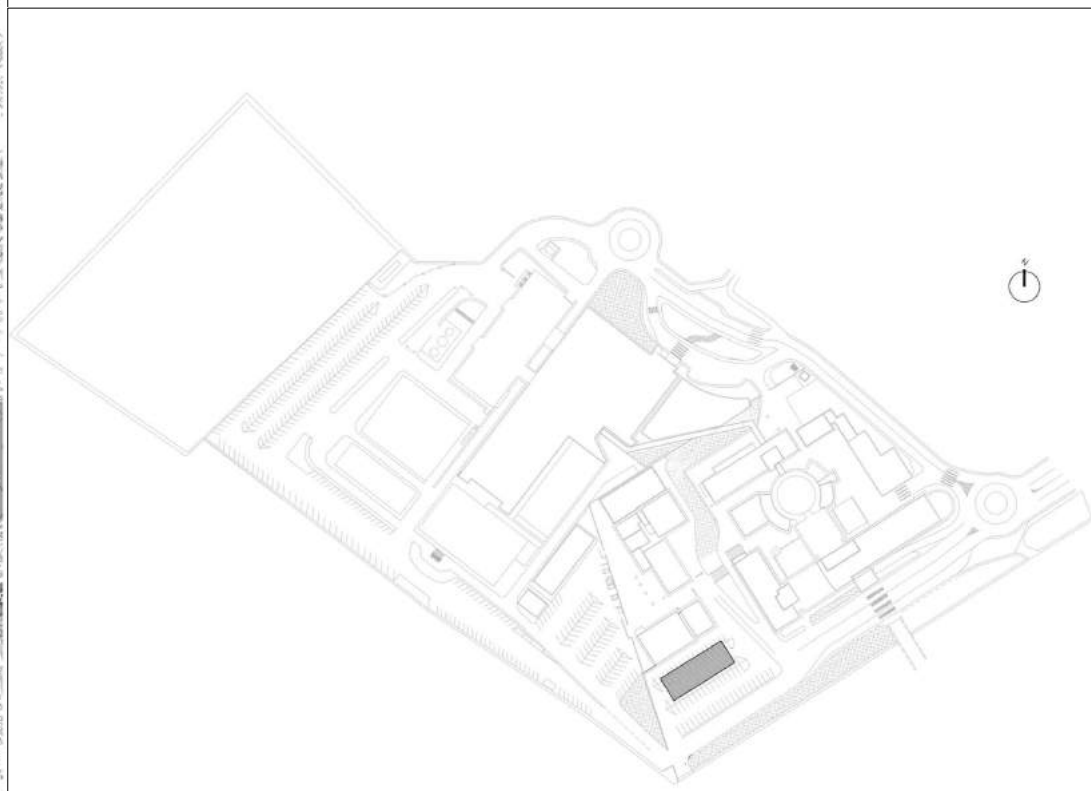
---





SITUACIÓN

E: 1/15000

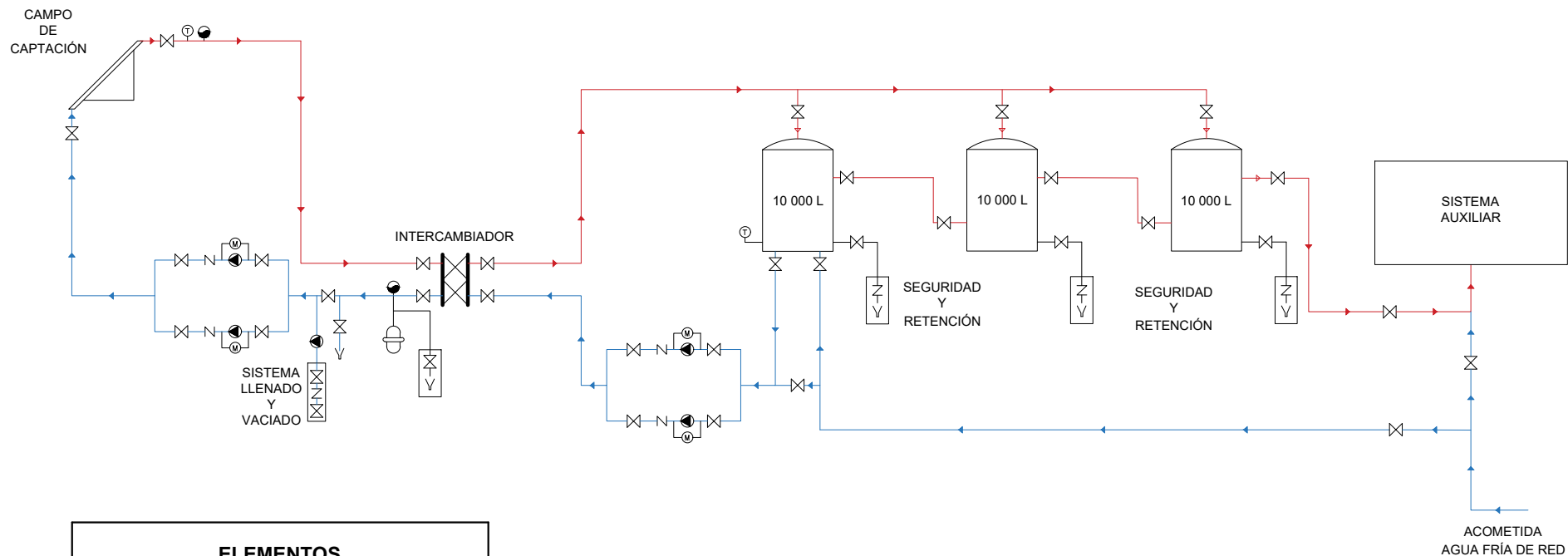


EMPLAZAMIENTO DE LA PARCELA




 <p>Escuela Superior de Ingenieros Universidad de Sevilla</p>	INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS PARA UN HOSPITAL				
	ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	-	ENERO-2018	AGM	EU-ACS	--
Firma	PLANO DE SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO				Nº PLANO
Fdo. Alvaro García de Veas Márquez					5.1

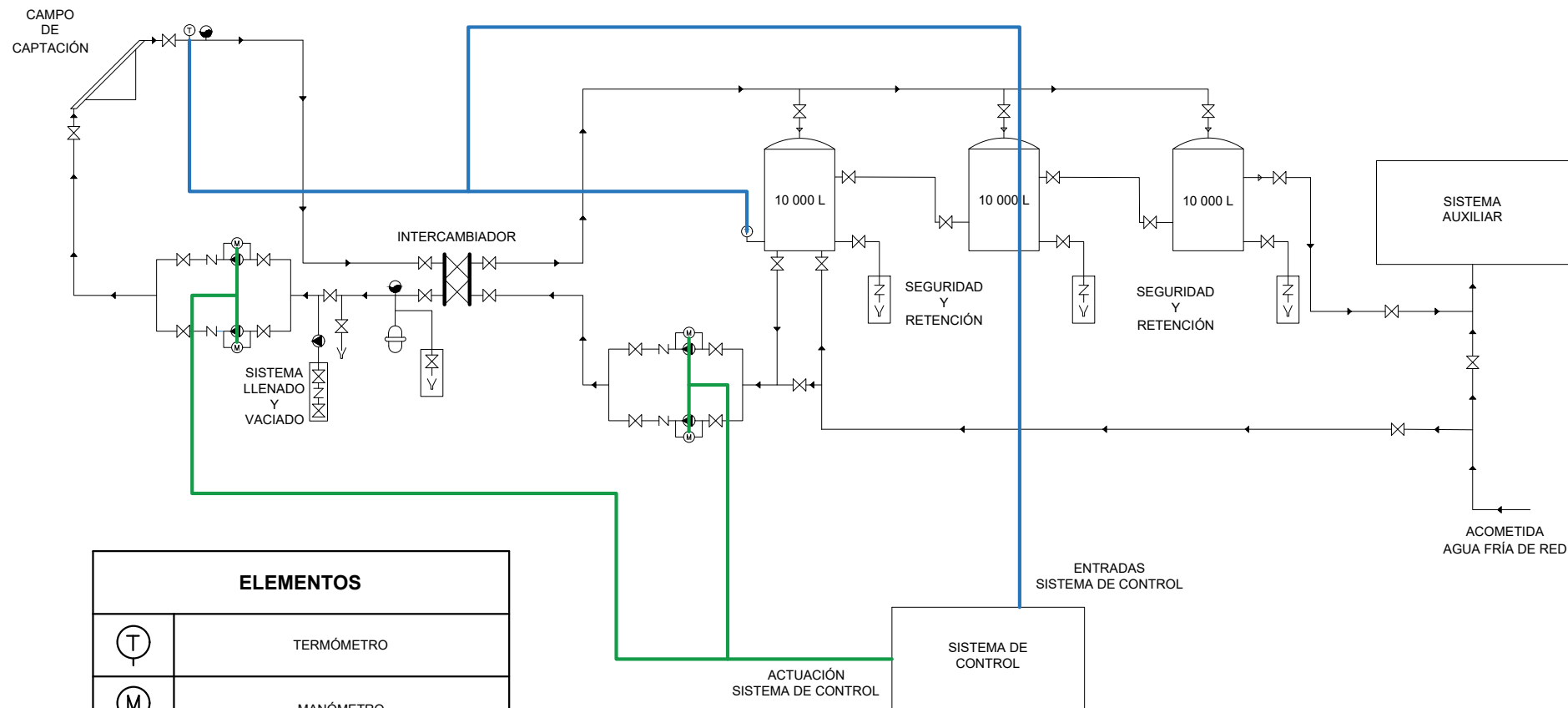




ELEMENTOS	
	TERMÓMETRO
	MANÓMETRO
	PURGADOR
	VASO DE EXPANSIÓN
	BOMBA DE CIRCULACIÓN
	VÁLVULA DE CORTE
	VÁLVULA DE RETENCIÓN

	ESQUEMA UNIFILAR INSTALACIÓN DE ACS HOSPITAL DE JEREZ DE LA FRONTERA				
	ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	S/E	ENERO-2018	AGM	EU-ACS	--
	Firma	DIAGRAMA DE PRINCIPIO			Nº PLANO
Fdo. Alvaro García de Veas Márquez				5.2	



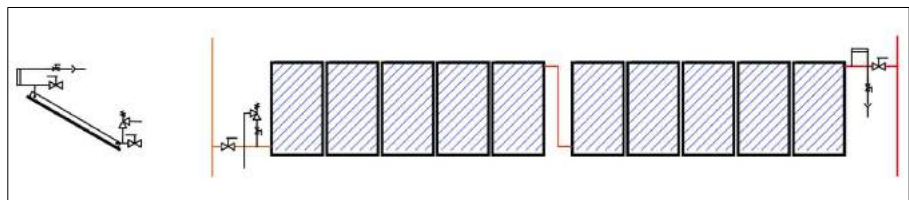
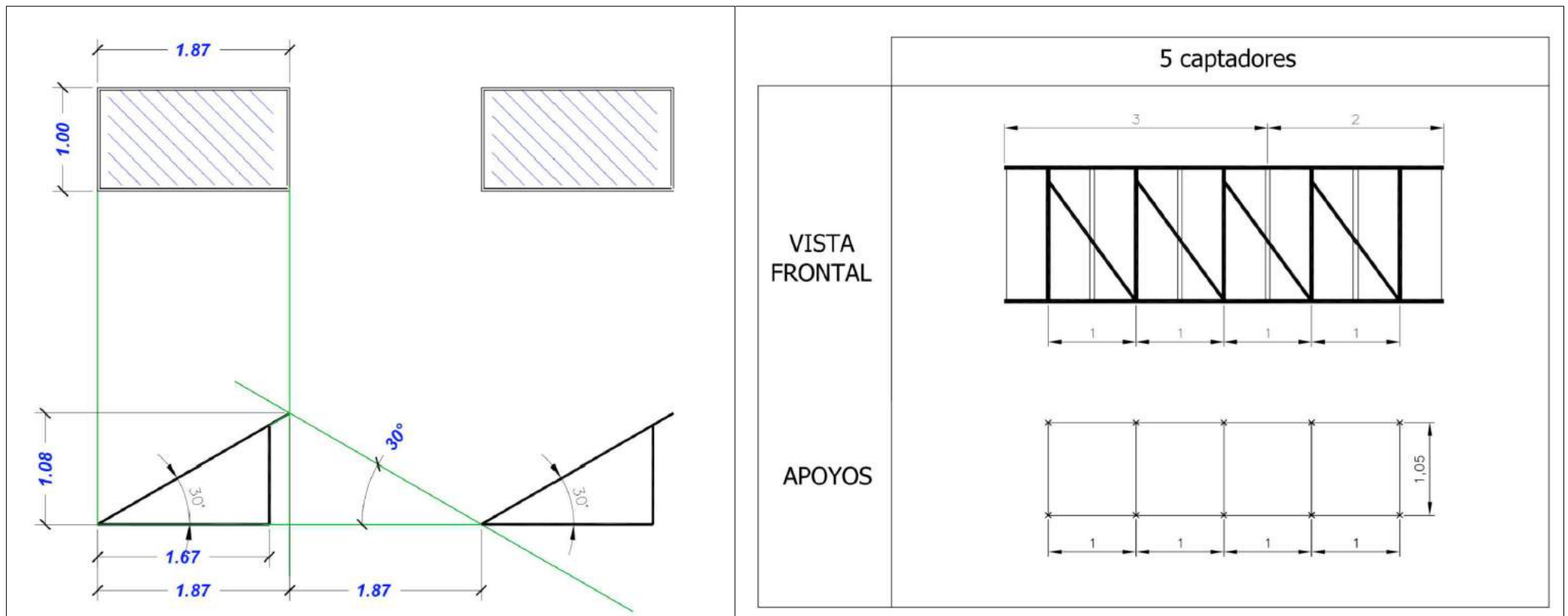


ELEMENTOS	
	TERMÓMETRO
	MANÓMETRO
	PURGADOR
	VASO DE EXPANSIÓN
	BOMBA DE CIRCULACIÓN
	VÁLVULA DE CORTE
	VÁLVULA DE RETENCIÓN

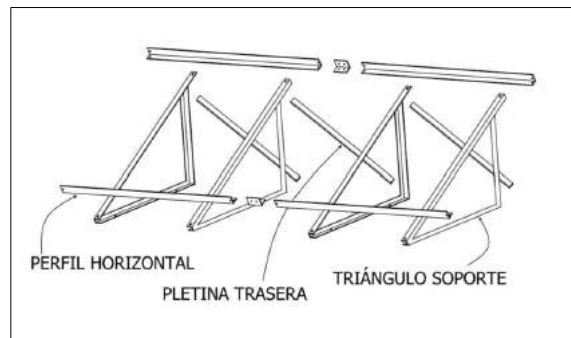
	INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS PARA UN HOSPITAL				
	ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	S/E	ENERO-2018	AGM	EU-ACS	--
	Firma	DIAGRAMA DE PRINCIPIO Y SISTEMA DE CONTROL			Nº PLANO
Fdo. Alvaro García de Veas Márquez				5.3	








DETALLE CONEXIÓN BATERÍA



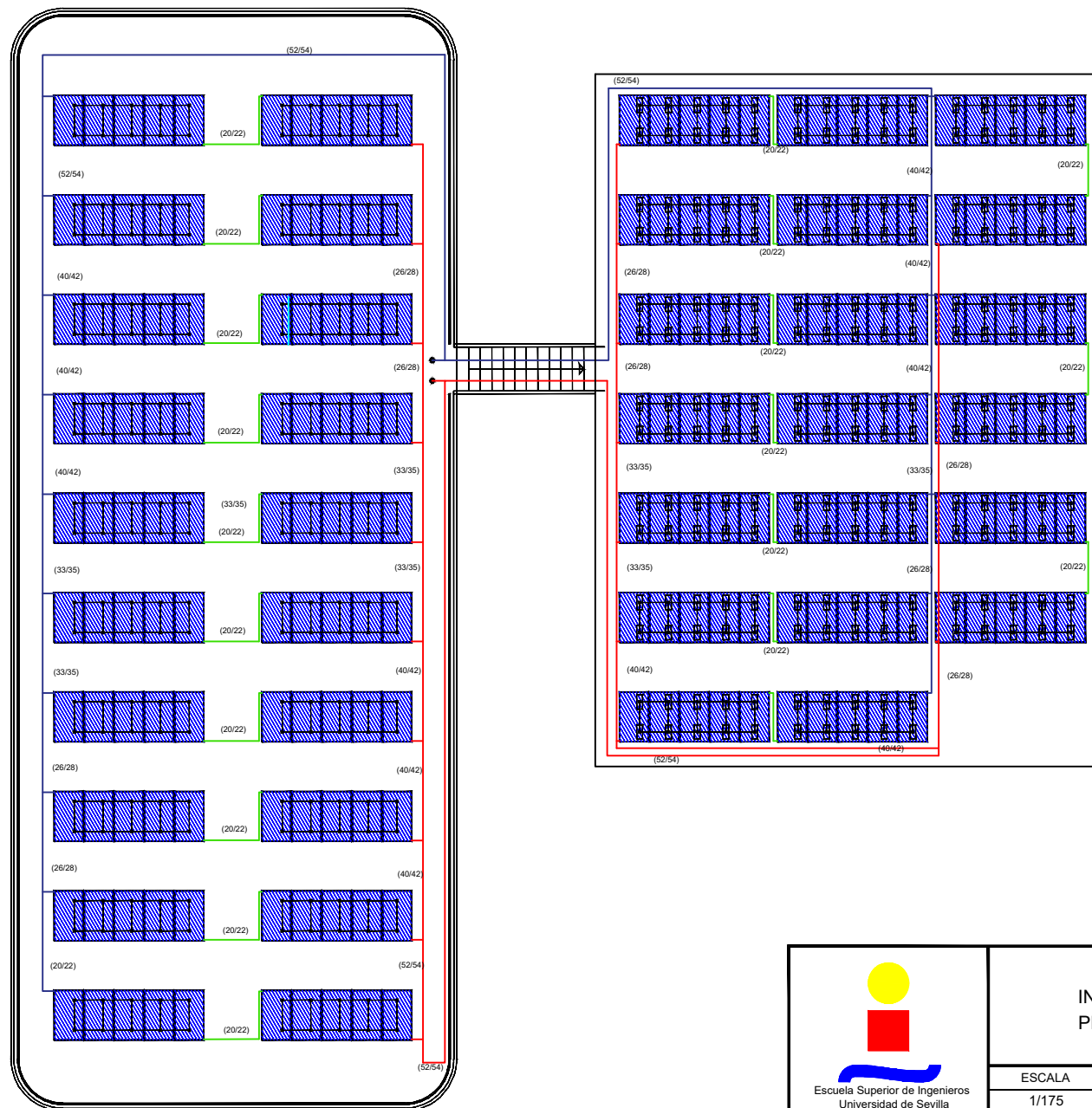
DETALLE SOPORTE

#### Estructuras de acero galvanizado en caliente

- **PERFIL HORIZONTAL**  
ALA: 30 mm.  
ESPESOR: 3 mm.
- **TRIÁNGULO SOPORTE**  
ALA: 30 mm.  
ESPESOR: 3 mm.
- **PLETINA TRASERA**  
ALA: 30 mm.  
ESPESOR: 3 mm.

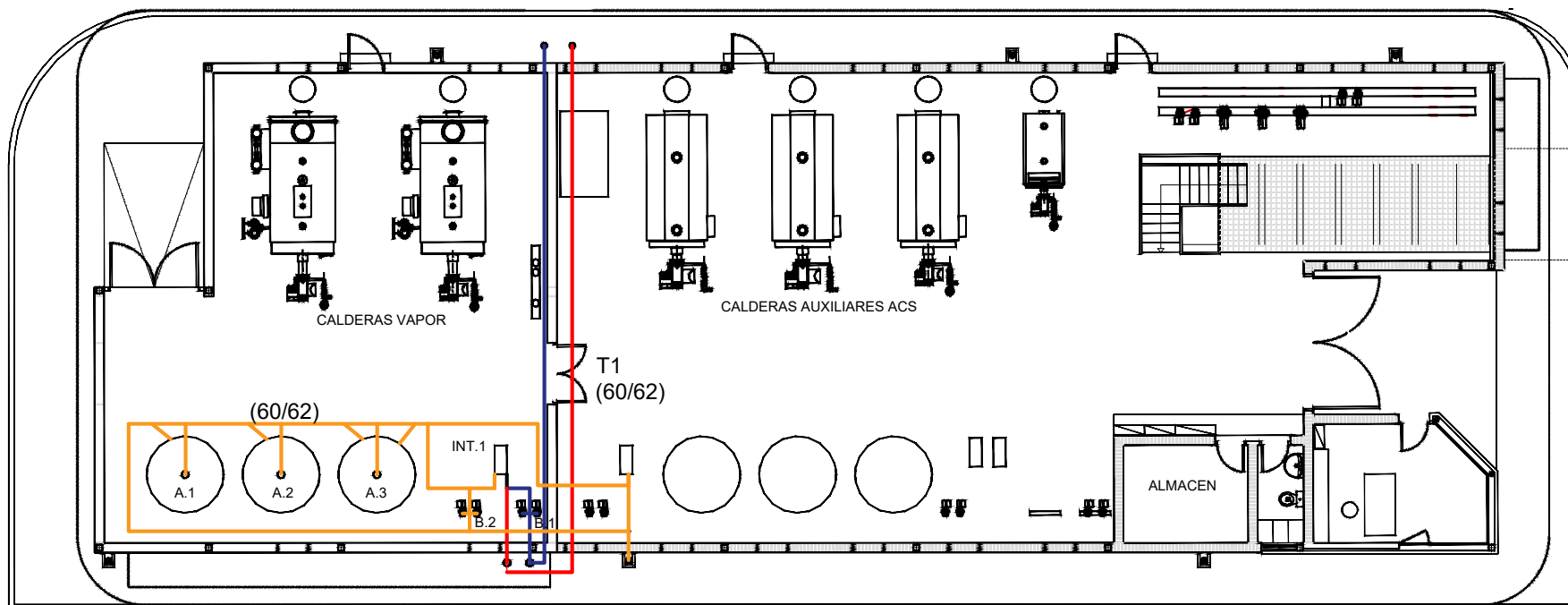
 <p>Firma</p> <p>Fdo. Alvaro García de Veas Márquez</p>	INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS PARA UN HOSPITAL				
	ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	S/E	ENERO-2018	AGM	EU-ACS	--
DETALLE DE CAPTADORES					Nº PLANO
					5.4



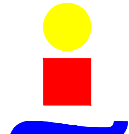


 <p>Escuela Superior de Ingenieros Universidad de Sevilla</p>	INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS PARA UN HOSPITAL				
	ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	1/175	ENERO-2018	AGM	EU-ACS	--
Firma	CUBIERTA CON CAPTADORES				Nº PLANO
Fdo. Álvaro García de Veas Márquez					5.5





B.1	BOMBA DE CIRCULACIÓN PRIMARIO
B.2	BOMBA DE CIRCULACIÓN SECUNDARIO
A.i	ACUMULADORES
INT.1	INTERCAMBIADOR DEL PRIMARIO

 Escuela Superior de Ingenieros Universidad de Sevilla	INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS PARA UN HOSPITAL				
	ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	1/150	ENERO-2018	AGM	EU-ACS	--
Firma	PLANA BAJA CENTRAL TÉRMICA Y TUBERÍAS DEL PRIMARIO				Nº PLANO
Fdo. Alvaro García de Veas Márquez					5.6